

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE IPTV A TRAVÉS DE ENLACES DE INTERNET DE
BANDA ANCHA (TELEVISIÓN SOBRE IP)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

ERICK VINICIO SÁNCHEZ MEZA

ASESORADO POR LA INGENIERA INGRID SALOME RODRIGUEZ DE LOUKOTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO
GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spinola de López
VOCAL IV	Br. Milton de León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultan Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Guzmán
EXAMINADOR	Ing. Francisco González López
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

Implementación de IPTV a través de enlaces de internet de banda ancha (televisión sobre IP),

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 20 de agosto de 2007.

Erick Vinicio Sánchez Meza

ACTO QUE DEDICO A:

- DIOS** Por permitirme vivir y darme el entendimiento necesario para llegar hasta el final de este trabajo de graduación.
- MIS PADRES** Adrián Sánchez Ortiz Y Olga Lidia Meza Gómez, quienes me han brindado su apoyo y amor incondicional para que pueda alcanzar mis metas. Razón por la cual elevo una oración a Dios para que el esfuerzo que ellos han realizado sea recompensado.
- MIS HERMANOS** Mario Enrique y Virginia Jeannette. Por el apoyo brindado.
- MIS SOBRINOS** Astrid Alejandra, Christopher, Dulce, Alejandra, Bernardo y Diego, porque son parte fundamental de mi vida y un incentivo para seguir adelante.
- MIS TIOS** Carlos, Gustavo, Otto, Dora Alicia, Ovidio, Inés, Demetrio, Meregildo y Herlinda, por todo el apoyo brindado en los momentos difíciles de la vida.
- DEMÁS FAMILIARES Y AMIGOS** Con gran cariño por su apoyo incondicional y el cariño que siempre han demostrado.
- FACULTAD DE INGENIERIA, USAC** Por haberme abierto sus puertas y darme la oportunidad de estudiar una carrera universitaria, y así poder contribuir al desarrollo de Guatemala.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios y a mis padres por darme la vida y darme las herramientas necesarias para que pudiera llegar a esta meta.

La Ingeniera Ingrid Salome Rodríguez de Loukota, asesor de este trabajo de graduación. Sepa usted lo agradecido que estoy por el apoyo brindado para que completara mi formación académica.

Los Catedráticos que con sus enseñanzas fueron ayudando a mi formación académica, la cual concluye con este trabajo de graduación.

La universidad de San Carlos de Guatemala por darnos la oportunidad de tener educación superior, y muy en especial a la Facultad de Ingeniería que me alojo en sus aulas durante toda mi formación académica.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE ABREVIATURAS	XI
GLOSARIO	XV
RESUMEN	XXIII
OBJETIVOS	XXVII
INTRODUCCIÓN	XXIX
1. EVOLUCIÓN DE LA TELEVISIÓN	1
1.1 Inicio de la televisión	1
1.1.1 Primeros desarrollos y la telefotografía	2
1.1.2 El movimiento en la imagen	3
1.1.3 Televisión mecánica, el disco de Nipkow y la rueda fónica	3
1.1.4 Televisión electrónica	6
1.1.4.1 Tubo de rayos catódicos (TRC), receptor	7
1.1.4.2 El iconoscopio (en el emisor)	8
1.1.5 La señal de vídeo	10
1.2 Fundamentos de un sistema de televisión	11
1.2.1 Escaneo de líneas	12
1.2.2 Barrido entrelazado	14
1.2.3 Frecuencias de exploración horizontal y vertical.	16
1.2.4 La señal de color	16
1.2.5 Píxeles y ancho de banda	20
1.2.6 Modulación y espectro de frecuencias	22
1.3 Tipos de televisión	25
1.3.1 Televisión analógica	25
1.3.2 Televisión digital	27
1.3.3 Televisión por cable (CATV)	30

1.3.3.1 Componentes de una red de CATV	30
1.3.4 Televisión satelital	32
1.3.5 HDTV	33
2. INTERNET Y REDES	37
2.1 ¿Qué es <i>Internet</i> ?	37
2.1.1 Historia de la red de Internet	37
2.1.2 Servicios que ofrece Internet	38
2.2 Protocolo de Internet IP (Internet Protocol)	40
2.2.1 Estructura de los paquetes IP	42
2.2.2 Direcciones IP y nombres de dominio	45
2.2.3 Conexión a la red	50
2.3 El modelo OSI	52
2.3.1 Las capas del modelo OSI	54
2.4 El modelo TCP/IP	63
2.5 Tipos de Redes	69
2.5.1 Clasificación de las redes	69
2.5.2 Topologías de red	72
2.5.3 Ethernet	74
2.6 Tecnologías WAN	79
2.6.1 Dispositivos WAN	81
2.6.2 Encapsulamiento WAN	83
2.6.3 Conmutación de paquetes y circuitos	85
2.6.3.1 Conexión telefónica analógica	89
2.6.3.2 ISDN	90
2.6.3.3 <i>Frame Relay</i>	92
2.6.3.4 ATM	93
2.6.3.5 DSL	94
2.7 <i>Internet</i> de banda ancha	97
2.7.1 ¿Cómo funciona la banda ancha?	97
2.7.2 Ventajas de la banda ancha	98
2.7.3 Tipos de conexiones de banda ancha	99

2.7.3.1 Línea digital de suscriptor (DSL)	99
2.7.3.2 Cablemódem	101
2.7.3.3 Fibra óptica	102
2.7.3.4 Inalámbrica	103
2.7.3.6 Banda ancha por la línea eléctrica (BPL)	105
2.8 Voz sobre IP	105
2.8.1 Elementos de la voz sobre IP	106
2.8.2 Protocolos de voz sobre IP	107
2.8.2.1 Protocolo H.323	107
2.8.2.2 Session Initiation Protocol (SIP)	109
3. TELEVISIÓN DIGITAL	111
3.1 Imágenes digitales	112
3.1.1 Color	114
3.1.2 Principios de radiodifusión de video digital	117
3.1.3 Ventajas de la televisión digital sobre la analógica	118
3.2 Muestreo y cuantización	122
3.3 Estándar de digitalización CCIR 601 (actualmente ITU-R.BT.601)	125
3.3.1 Muestreo de la señal de horizontal y vertical	129
3.3.2 Cuantización	130
3.3.3 Digitalización del audio	131
3.3.3.1 Velocidad de muestreo para el audio.	132
3.3.3.2 Cuantización del audio.	134
3.3.3.3 Audio multicanal.	135
3.4 Compresión de video digital	136
3.4.1 La necesidad de comprimir	137
3.4.2 Formatos de compresión de video	139
3.4.3 Estándar de compresión de Video MPEG-2	142
3.4.3.1 Preparación de datos de video (submuestreo)	143
3.4.3.2 Compresión temporal	144
3.4.3.2.1 Agrupación de imágenes.	146
3.4.3.2.2 Unión de bloques	147

3.4.3.2.3 Predicción y movimiento de cuadros	148
3.4.3.3 Compresión espacial	150
3.4.3.3.1 Transformada de coseno discreto (DCT)	150
3.4.3.4 Cuantización DCT	151
3.5 Formatos de video basados en MPEG-2	153
4. MODELO DEL SISTEMA IPTV	159
4.1 Servicios <i>Broadcast</i> , servicios <i>Unicast</i> y conmutación de video digital	160
4.2 Arquitectura del sistema IPTV	163
4.2.1 Headend	167
4.2.2 El CORE de la red.	171
4.2.3 Redes de acceso telco	174
4.2.3.1 Acceso por cobre	174
4.2.3.2 Acceso por fibra óptica	176
4.2.3.3 Redes de acceso por cable	177
4.2.4 Red del usuario final (o red doméstica)	178
4.3 Aplicaciones adicionales para el modelo IPTV	179
4.3.1 Señalización digital (vallas publicitarias)	180
4.3.2 Video empresarial	181
5. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA IPTV (IPTV en el hogar)	183
5.1 Redes digitales para el hogar (DHN)	184
5.2 Medios de transmisión para redes domésticas DHN	186
5.2.1 Cableado con UTP.	189
5.2.2 Redes inalámbricas (<i>Wireless</i>)	191
5.2.3 Líneas de potencia (<i>Power Line</i>)	194
5.2.4 Líneas telefónicas	197
5.2.5 Cable coaxial	199
5.3 Dispositivos IP en la red DHN	202
5.3.1 <i>Router's/ Gateways</i>	202
5.3.2 IP STB (IP <i>Set-Top Box</i>)	203
5.3.2.1 Arquitectura de <i>Hardware</i> de IP STB	205

5.3.2.1.1	Primera generación de receptores digitales.	206
5.3.2.1.2	Segunda y tercera generación de receptores digitales.	211
5.3.2.2	Arquitectura de <i>software</i> de IP <i>Set-Top-Box</i>	214
5.3.2.2.1	Arquitectura de capas del <i>software</i> IPTV	217
5.4	Servicios avanzados	222
5.4.1	Triple <i>Play</i>	223
5.4.2	Movilidad	225
5.4.3	Juegos en red	227
5.4.4	Video conferencia	227
5.4.5	Control a distancia	228
5.4.6	Diagnósticos remotos	229
5.5	Ancho de banda necesario para IPTV	230
5.6	Transmisiones de banda ancha con tecnologías xDSL	231
5.6.1	ADSL	232
5.6.1.1	Rendimiento del sistema ADSL	233
5.6.1.2	Como funciona ADSL	234
5.6.1.3	Modulación ADSL	235
5.6.2	VDSL	239
5.6.2.1	Anchos de banda para VDSL	241
5.6.3	HDSL (<i>High Bit Rate Digital Subscriber Line</i>)	241
5.6.4	SDSL	242
5.6.5	RADSL	243
5.6.7	G.SHDSL	243
5.6.8	Ancho de banda en función de la distancia y medio de transmisión	244
5.7	DSLAMS	245
5.7.1	Tipos de DSLMA's	246
5.7.1.1	DSLAM sobre ATM	246
5.7.1.2	IP-DSLAM	247
5.8	Seguridad en el Sistema IPTV	247
5.8.1	Un modelo de capas para un sistema DRM.	248
5.8.1.1	Encriptación	249
5.8.1.2	Control de Acceso	251

5.8.1.4 Administrador de derechos DRM	252
5.9 Protección de salidas analógicas y digitales	253
5.9.1 Protección de copias en salida digital	254
5.9.1.1 HDMI	254
5.9.1.2 DTCP	255
5.9.1.2.1 Información de control de copia (CCI)	255
5.9.1.2.2 Cifrado del contenido	256
5.9.1.2.3 Autenticación del dispositivo	256
5.9.1.2.4 Sistema Renewability (SRM)	257
5.9.2 Proyección de copia en salida analógica	257
5.9.2.1 Macrovision	258
6. EVALUACIÓN ECONÓMICA	259
6.1 Equipos que se tienen que agregar partiendo de una topología de red ya establecida	259
6.2 Costos para implementación e una red existente.	261
6.3 Costos por usuario	262
6.4 Costos para los usuarios finales.	265
CONCLUSIONES	267
RECOMENDACIONES	269
BIBLIOGRAFÍA	271

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Escaneo de imagen	13
2. Forma de onda de la línea escaneada	13
3. Barrido entrelazado de imágenes	15
4. Obtención de la señal Y	18
5. Valores de luminancia relativa	18
6. Representación de los colores en NTSC	20
7. Forma de onda de píxeles blancos y negros alternados	21
8. Espectro de frecuencias de un canal de televisión	24
9. Estructura de un datagrama IP	42
10. Prefijos de clase de dirección	46
11. Modelo OSI	55
12. Los datos Bajan por la pila de la máquina emisora y suben por la pila de la máquina receptora	61
13. Comparación del Modelo TCP/IP con el modelo OSI	69
14. Topologías de red	74
15. Canales ISDN	91
16. Modelo de voz sobre IP	106
17. Sistema de radiodifusión de televisión digital (DVB)	117
18. El proceso de muestreo toma el valor de una señal continua en puntos discretos de tiempo.	123
19. Los niveles de cuantización reducen los posibles valores de señal continua a valores finitos entre 0 y $2^q - 1$, donde q es número de bits por muestra.	124
20. Tres de los formatos de toma de muestras de colores bajo el estándar 601. Como el muestreo del color disminuye, se comparten los mismos valores de color con valores de luminancia independiente.	128
21. Una simple línea de televisión analógica es muestreada y produce 720 píxeles activos por línea	129

22. El muestreo de una simple trama de televisión analógica produce 720 Píxeles en 480 líneas en la región activa.	130
23. La señal de televisión analógica es cuantizada a 8 bits, resultando en 256 posibles valores de la señal.	131
24. Los canales de audio in la señal NTSC son muestreados a una tasa que es derivada del reloj común de 27 MHz utilizado para el muestreo del video.	133
25. Número de bits de cuantización en cada tecnología.	134
26. Distribución de un sistema de audio de 5.1 canales.	135
27. Proceso generalizado para la compresión de <i>Bitstream</i> de video	137
28. Algoritmo de compresión MPEG	143
29. Dos tramas sucesivas con pequeñas variaciones entre ellas	145
30. La trama prevista es obtenida por la adición del vector de movimiento en la primera trama	145
31. La diferencia de trama es obtenida al sustraer de la trama precedida la segunda trama o trama actual.	146
32. Grupo de imagenes (GOP: <i>Group Of Pictures</i>).	147
33. Acoplamiento de bloques y vector de compensación de movimiento.	148
34. Proceso de generación de vector de movimiento	149
35. Cuantización	153
36. Modelo de un sistema de IPTV <i>broadcast</i> .	163
37. Sistema IPTV	165
38. Diagrama de bloques del súper <i>Headend</i>	168
39. Sistema para la preparación de contenido de video.	170
40. Arquitectura de alto nivel para el CORE de la red.	172
41. Análisis de ancho de banda para una central de distribución que demanda 4 Gbps de ancho de banda al <i>CORE</i> de la red.	173
42. Diagrama de bloques de una central de distribución.	174
43. Diagrama de bloques de una red de acceso	176
44. iagrama de bloques e una red de acceso por cable.	178
45. Diagrama de un sistema de video empresarial	182
46. Ejemplo de una red DHN híbrida.	186
47. Diagrama de bloques de un receptor de primera generación	206

48. Diagrama de bloques de un receptor digital de segunda generación.	212
49. Diagrama de capas de <i>software</i> para un IP STB	217
50. Ejemplo de servicios Triple Play	224
51. Ejemplos de televisión móvil	226
52. Funcionamiento del <i>Splitter</i> y separación de las señales en ADSL.	235
53. Espectro de modulación ADSL DMT	237
54. Ancho de banda en función de la longitud del cable de abonado con un calibre de 0.45 mm, sin ruido y con ruido de una fuente de -46dBm	239
55. Comparación de los espectros de frecuencia entre HDSL y T1	242
56. Diagrama de un DSLAM	245
57. Modelo de capas de un sistema DRM	249
58. Conector HDMI	255

TABLAS

I. Intervalos de direcciones IP	49
II. Detalle de imágenes digitales.	113
III. Profundidad de color y tamaño de la imagen	116
IV. Promedio de bits por píxel para los tres formatos de muestreo	128
V. Formatos de audio digital y su tasa de muestreo	132
VI. Ancho de banda total utilizado en la digitalización de audio por tecnologías.	136
VII. Formatos para imágenes en el estándar ATSC para televisión digital	156
VIII. Parámetros de tecnologías inalámbricas 802.11x	191
IX. Parámetros de la tecnología <i>Power Line</i>	195
X. Parámetros para las tecnologías de línea telefónica	198
XI. Comparación entre las dos tecnologías de Cable Coaxial.	201
XII. Ancho de banda, limitaciones de distancia para tecnologías xDSL	244
XIII. Costos a implementar en una red existente de 768 usuarios	262
XIV. Precios promedio de un servicio de Internet de banda ancha en el mercado guatemalteco	263
XV. Cálculo del TIR y del VAN para la implementación de IPTV	264
XVI. Costos finales para usuarios de IPTV	265

LISTA DE ABREVIATURAS

AC	Corriente alterna
ADSL	Línea de suscriptor digital asíncrona
AM	Amplitud modulada
ANSI	Instituto Nacional Americano de Estandarización
ATM	Modo de transferencia asíncrona
ATSC	Comité de sistemas de televisión avanzados.
ATU-C	Unidad transmisor-receptor de ADSL, externo central
ATU-R	Unidad transmisor-receptor de ADSL, externo remoto
BPL	Banda ancha por línea eléctrica
BRI	Interfaz de acceso básico
CAP	Modulación por amplitud de fase sin portadora
CATV	Televisión por cable
CCD	Dispositivo de cargas interconectadas
CCI	Información de control de copias
CCIR	Comité consultivo internacional de radiocomunicaciones
CD	Disco compacto
CPE	Equipo de usuario
CPU	Unidad central de procesamiento
CRT	Tubo de rayos catódicos
CSU	Unidad de servicio de canal
DAB	Radiodifusión digital de audio
DCT	Transformada de coseno discreto
DHN	Red domestica
DLCI	Identificador de control de enlace de datos
DMT	Modulación multi tono

DNS	Sistema de nombres de dominios
DQDB	Bus dual de cola distribuida
DRAM	Memoria volátil
DRM	Administrador de derechos digitales
DSLAM	Multiplexor de líneas de suscriptor digital
DSU	Unidad de servicio de datos
DTCP	Protección de contenido en transmisiones digitales
DTV	Televisión Digital
DVD	Disco de video digital
EMI	Indicador de modo de cifrado
EPG	Guía de programación electrónica
FCC	Comisión Federal de Comunicaciones
FDD	Duplicación por división de frecuencia
FEC	Corrección de errores sin retraso
FM	Frecuencia modulada
FTP	Protocolo de transferencia de archivos
GOP	Grupo de imágenes
GUI	Unidad de interfaz gráfica
HDLC	Control de enlace de datos de alto nivel
HDSL	Línea de suscriptor digital de alta velocidad
HDTV	Televisión digital de alta definición
HFC	Red híbrida de cobre y fibra óptica
Hz	Hertz
IGMP	Protocolo de administración de grupo de <i>Internet</i>
IP	Protocolo de <i>Internet</i>
IPTV	Televisión sobre IP
ISDN	Red digital de servicios integrados
ISO	Organización internacional para la normalización
ISP	Proveedor de servicios de <i>Internet</i>

ITSP	Proveedor de servicios de telefonía e <i>Internet</i>
JPEG	Grupo de expertos de imágenes
LAN	Red de área local
MAN	Red de área metropolitana
MPEG	Grupo de expertos de imágenes en movimiento
NIC	Tarjeta de interfase de red
NRZ	Sin retorno a cero
NTSC	Comisión Nacional de Sistemas de Televisión
OFDM	Multiplexación ortogonal por división de frecuencia
OSI	Sistema abierto de interconexión
PAL	Línea alternada de fase
PAN	Red de administración personal
PC	Computadora personal
PCM	Modulación por código de pulso
PDU	Unidad de datos de protocolo
PES	Paquetización elemental de tramas
PIXEL	Elemento de imagen
PON	Red de fibra óptica pasiva
POP	Punto de presencia
POTS	Servicio telefónico ordinario antiguo
PRI	Interfaz de acceso primario
PSTN	Telefonía pública conmutada
PVC	Circuito virtual permanente
PVR	Grabador de video personal
QAM	Modulación de amplitud en cuadratura
QoS	Calidad de servicio
QPSK	Cambio de fase en cuadratura
RADSL	Línea de abonado digital adaptable
RAM	Memoria de acceso aleatorio

RCA	Radio corporación de América
RDSI	Red digital de servicios integrados (ISDN)
RF	Radio frecuencia
RGB	Rojo, verde, azul
ROM	Memoria de solo lectura
SCN	Red de circuito conmutado
SDSL	Línea de suscriptor digital síncrona
SLA	Acuerdos de nivel de servicio
SMTP	Protocolo simple de transferencia de correo
SSB	Banda lateral suprimida
STB	Aparato que se coloca sobre el televisor
SVC	Circuito virtual conmutado
SVD	Sistema de video digital
TCP	Protocolo de control de transferencia
TDM	Multiplexación por división de tiempo
TDT	Radio corporación de América
TIR	Tasa interna de retorno
TV	Televisión
UIT	Unión internacional de telecomunicaciones
UTP	Par trenzado no brindado
VAN	Valor actual neto
VC	Circuito virtual
VDSL	Línea de suscriptor digital de muy alta velocidad
VoD	Video por demanda
VoIP	Voz sobre IP
VPN	Red privada virtual
WAN	Redes de área extensa
WDM	Multiplexación por longitud de onda

GLOSARIO

Ancho de banda	Cantidad de información que se puede transmitir por unidad de tiempo, expresado en hertz o en bits por segundo.
Backbone	Es la columna vertebral de una red, por aquí fluyen grandes cantidades de datos, ya que concentra la información de muchas computadoras.
Bidireccional	Red que transporta información en ambos sentidos
Bit	Dígito binario, es la unidad mínima de información, sus valores están comprendidos entre 0 y 1.
Broadcast	Sistema que envía la información a todos los usuarios sin restricciones, normalmente utiliza ondas de radio para su transmisión.
Byte	Agrupación de 8 bits.
Central telefónica	Sistema que agrupa un gran número de abonados.
Codec	Significa codificador-decodificador, es un equipo o software que realiza las funciones de codificar y descodificar datos.
Codificación	Conversión de un conjunto de bytes en códigos, con fines de seguridad del contenido.

Core	Es la parte de una red de proveedor que lleva tráfico de una localidad a otra a altas velocidades.
Criterio de <i>Nyquist</i>	Criterio que establece la mínima frecuencia de muestreo de una señal para ser digitalizada.
Crominancia	Señal que lleva la información de los colores en una imagen de televisión.
Cuatización	Proceso en cual se le asignan valores discretos a las muestras tomadas durante la digitalización de una señal.
Datagrama	Fragmento en que se decompone un paquete IP para poder ser transmitido.
<i>Delay</i>	Tiempo que se toma un paquete en llegar del punto de origen a su destino.
Difusión	Transmitir o enviar la señal a muchos usuarios.
Dirección IP	Grupo de cuatro octetos de Bits que identifican a un dispositivo dentro de la red.
DirecTV	Sistema de televisión por satélite que necesita suscripción.

Dúplex	Modo de transmisión en donde se envían datos en las dos direcciones pero en forma alternada, utilizando en mismo canal de comunicación.
Efecto Skin	Efecto que se da en un conductor, consistente en que la corriente eléctrica viaja por su superficie, no por el núcleo.
Encapsulamiento	Procedimiento en el cual se cargan los datos provenientes de un dispositivo de red en una estructura de protocolo, (Ejemplo IP)
Ethernet	Estándar utilizado para la transmisión de datos en redes de área local (LAN), y últimamente se ha extendido para la transmisión entre redes WAN.
Flyback	Retorno al inicio de una línea nueva para escanear, en el escaneo de imágenes para digitalizar.
Frame	Imagen o cuadro, la continua sucesión de estos cuadros da la sucesión de movimiento de la imagen.
Full dúplex	Modo de transmisión en donde se envían datos en las dos direcciones, utilizando canales independientes para cada sentido de transmisión.
Gateway o puerta de enlace	Es el punto de acceso a otras redes, por lo regular el router que da la conexión a <i>Internet</i> .

H.323	Estándares que definen, los procedimientos y componentes para la transmisión de voz y video sobre una red LAN.
Hardware	Conjunto de elementos físicos de un equipo electrónico (por ejemplo una computadora).
Headend	Punto central de un sistema de televisión por cable o IPTV, donde se concentran todos los canales de televisión para luego multiplexarlos en una red de cable o IP.
Host	Descripción en redes para una computadora o elemento de red al cual se le asigna una dirección IP.
I-Frame	Imagen que se utiliza como referencia para predecir la siguiente imagen en el proceso de compresión de video.
Interface	Parte de un sistema que interactúa con otras partes físicas distintas al propio sistema.
Internet	Red que interconecta muchas redes, es la red mundial en la que se comparte mucha información.
Internetwork	Red de trabajo interna.
iTunes	Programa de computadora que permite reproducir archivos multimedia.

<i>Jitter</i>	Variación en el retardo que tiene un paquete en llegar del punto de origen a su destino (Variación del <i>delay</i>).
Lumen	Unidad de medida de la intensidad de luz.
Luminancia	Señal que gobierna la intensidad de luz en una imagen de televisión.
Metadatos	Información que se agrega a un archivo digital cuando se modifica.
<i>Metroethernet</i>	Red <i>ethernet</i> extendida a áreas metropolitanas, que llevan datos a alta velocidad.
<i>Middleware</i>	Es un software que permite al cliente interactuar con el equipo, es la conexión entre la parte visual y la parte física del equipo.
Modem	Equipo electrónico encargado de adaptar las señales y transmitirlos.
<i>Multicast</i>	Forma de transmisión IP en la que se envía la información a un grupo seleccionado de computadoras.
Multimedia	Referente a la información de procedencia física: voz, video y datos, que demandan un ancho de banda considerable.

Multiplexación	Método utilizado para transmitir dos o más señales de información a través de un solo canal de comunicaciones.
<i>Networking</i>	Red de trabajo en la que se interconectan dos o más redes distintas.
NIC	Tarjeta que conecta una computadora a la red.
Patch Cord	Cable que se utiliza para interconectar los dispositivos de red a un switch o a la toma de red en el lugar de trabajo, dentro de una red LAN.
<i>P-Frame</i>	Imagen que se predice en el proceso de compresión de video.
Pixel	Es el elemento más pequeño de una imagen, que representa un pequeño punto de un color determinado.
<i>Power Line</i>	Sistema que utiliza el sistema de distribución eléctrica para la transmisión de datos y multimedia.
Protocolo	Es un conjunto de normas y estándares utilizados para la transmisión de datos de un punto a otro.
<i>Router</i>	Equipo encargado de enviar los paquetes IP de una dirección (origen) a otra dirección (destino)

Señal transducida	Señal que fue convertida en otra forma de energía por un transductor.
Simplex	Modo de transmisión en donde se envían datos en una sola dirección.
Software	Instrucciones escritas en lenguajes de programación y traducidas a dígitos binarios para que sean entendidas por el hardware.
Splitter	Dispositivo que separa las señales de datos y voz, formado por dos filtros, uno pasa bajo y el otro pasa altos.
Subwoofer	Alta voz que sirve para reforzar frecuencias bajas.
Teleinscriptor	Usuario final de servicios de televisión con suscripción para hacer uso del servicio.
Transformada de Fourier	Procedimiento matemático que permite trasladar una fusión matemática del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia.
Triple Play	Servicio que integra voz, video y datos sobre una sola línea telefónica.
Unicast	Forma de transmisión IP en la que se envía la información a una sola computadora.

Video Streaming

Flujo de bits que llevan información de video.

Videoconferencia

Comunicación en la cual se transmite voz y video en tiempo real, entre dos localidades.

Wireless

Red inalámbrica de datos.

RESUMEN

Desde sus inicios la televisión ha sido una fuente de entretenimiento para miles de personas en todo el mundo, ya que nos permite ver programas de entretenimiento, informativos y educativos.

Los sistemas de televisión al igual que todas las tecnologías informáticas y de telecomunicaciones han evolucionado, desde el sistema de televisión analógica hasta los sistemas de televisión sobre IP que pretenden aprovechar las conexiones de Internet existentes en los hogares de los abonados.

Los sistemas de televisión analógicos utilizan ondas electromagnéticas para llegar a todos los usuarios dentro del área de cobertura en donde estas pueden llegar, realmente este sistema llega a todos los usuarios sin discriminación alguna. Luego aparecieron los sistemas de televisión por cable (CATV); estos sistemas utilizan un cableado coaxial que es llevado al hogar de cada usuario proveendo de una cantidad de canales mayor a la que se puede obtener por medio de la televisión convencional.

Los sistemas de televisión por cable pueden ser analógicos o digitales, ya que en este sistema se puede integrar también la televisión digital.

Con el avance tecnológico apareció la televisión digital; con la cual se inició las transmisiones de televisión por satélite (Direct TV), que es un sistema por suscripción que ofrece una gran cantidad de canales dependiendo del tipo de suscripción contratado. Estas tecnologías digitales unidas con el avance en la tecnología de la *Internet* han ido preparando el escenario para el apareamiento de la televisión sobre IP (sobre enlaces de Internet de banda ancha).

Por otro lado la *Internet* pasó de ser un sistema que únicamente se utilizaba para fines educativos y militares a un sistema comercial que cada día es más popular en todo el mundo. En sus inicios la Internet se utilizaba únicamente para consultar documentos, correo electrónico y para la publicidad, pero esta tecnología al ir creciendo fue dando paso a que se integrara en ella múltiples servicios adicionales como compartir audio y video (aplicaciones multimedia), no hay que olvidar que el desarrollo de la *Internet* va de la mano con la evolución de la computación.

Las tecnologías de redes que hacen posible la *Internet* dejaron de utilizar enlaces de banda angosta (conexiones vía modem) para utilizar canales de banda ancha, que permiten compartir aplicaciones de audio y video. En la actualidad es factible contratar enlaces xDSL utilizando las líneas telefónicas de cobre o enlaces por fibra óptica para satisfacer la demanda de ancho de banda necesario para aplicaciones de voz, video y datos.

Como resultado de la liberación del mercado de las telecomunicaciones en muchos países y la evolución de la tecnología, se tiene la necesidad de migrar las redes conmutadas tradicionales a redes de transporte de paquetes (redes IP).

IPTV es la convergencia de los sistemas de televisión y los enlaces IP de banda ancha. Esta tecnología nos permite utilizar los enlaces de banda ancha que actualmente se contratan en la mayoría de países, para integrar un sistema que pueda entregar el servicio tradicional de voz, *Internet* y la televisión que actualmente es entregada por un sistema de televisión por cable. Para la transmisión e integración de voz y video en redes IP se incluye la recomendación H.323, la cual define los componentes, métodos, procedimientos y protocolos necesarios para proporcionar comunicaciones

multimedia en redes LAN. La recomendación H.323 es la mas utilizada para la implementación de conferencia multimedia basadas en conmutación de paquetes. El sistema de IPTV utiliza la transmisión de paquetes *multicast* a través de la red, es de hacer notar que *Internet* no permite la transmisión de paquetes *broadcast* (que es la forma en que transmite el sistema convencional de televisión, ya sea por ondas de radio o por cable). Los servicios que IPTV puede ofrecer incluyen: la televisión convencional, video sobre demanda (VoD), publicidad, control de alarmas remotamente y video conferencias.

La implementación de un sistema IPTV requiere la utilización de modelo de red que permita una convergencia de tecnologías existentes y las tecnologías nuevas que integran las aplicaciones de IPTV. El modelo incluye el diseño del *head end*, el transporte de datos a alta velocidad entre centrales (CORE), la red de distribución y la red de acceso.

En el *head end* es donde se hace todo el tratamiento de la señal que se enviara a los abonados, aquí se incluyen todos los sistemas de digitalización, multiplexación, y el control de derechos sobre los programas de televisión que se distribuyen. También aquí es donde se lleva el control del video por demanda y la tarificación por usuario.

En el *CORE* se hace el movimiento de datos a alta velocidad, y realmente requiere de enlaces con anchos de banda muy grandes (normalmente entre 1 y 10 Gbps). Provee la comunicación entre centrales del proveedor de servicios.

La red de distribución se encarga de comunicar las centrales de distribución con el *head end*, concentrando muchas centrales de distribución para luego integrar ese tráfico al *CORE* de la red.

Por último, se tiene la red de acceso que provee la conexión hacia el usuario final, esta red de distribución incluye los DSLAMS que se encargan de integrar decenas de usuarios en la red.

En el sistema IPTV se tiene que contar con un sistema de seguridad que pueda garantizar los derechos de autor y el derecho al acceso del contenido de televisión. Este sistema es el que se integra como sistema DRM, que garantiza la seguridad del contenido de video (para que no sea copiado ilegalmente), encriptándolo y colocando llaves de seguridad que permiten que solo las personas autorizadas pueda tener acceso.

La implementación de este sistema, se hace sobre redes de proveedores existentes actualmente en el mercado, de otra manera sería una inversión demasiado grande, lo cual provocaría que tiempo de recuperación de la inversión fuera muy grande, es por esta razón que se parte de un diseño de red existente. Teniendo la red de banda ancha ya integrada y funcionando únicamente se tienen que invertir en crear un *head end* y comprar el contenido de televisión que se desea distribuir. Haciendo un análisis con una tasa inversa de retorno y el valor actual neto se encuentra que se puede recuperar la inversión en tres años con una ocupación de la red de una 80%.

OBJETIVOS

General

Dar a conocer la tecnología de la televisión sobre IP; su evolución tecnológica desde los inicios de la televisión analógica, así como el modelo necesario para implementarse sobre redes de *Internet* de banda ancha existentes.

Específicos:

1. Dar a conocer los inicios de la televisión y sus avances tecnológicos que permitieron llegar a las técnicas de difusión actuales, así como los medios necesarios para su difusión.
2. Mostrar los avances tecnológicos de la *Internet*, así como las tecnologías de redes utilizadas desde sus inicios hasta la actualidad.
3. Realizar un estudio de las formas de transmisión de televisión a través de redes IP (*Multicas* y *Unicast*), las cuales permiten que se pueda dar este servicio sobre redes de *Internet* de banda ancha.

4. Conocer las tecnologías de acceso a banda ancha en los hogares de los usuarios.
5. Realizar un diseño que permita la integración de un sistema de televisión sobre IP (IPTV) sobre redes de *Internet* de banda ancha, y conocer también las tecnologías que hacen posible dicho diseño.
6. Analizar los sistemas que permitan hacer la red IPTV segura y confiable tanto para el proveedor de servicios, propietarios de contenido y los usuarios finales.
7. Realizar un estudio económico que permita saber si es conveniente implementar un sistema de IPTV.

INTRODUCCIÓN

La tecnología de televisión sobre IP (IPTV) va de la mano con el desarrollo de los servicios triple play, los cuales se definen como la integración y comercialización de servicios audiovisuales sobre redes de datos. El desarrollo de las tecnologías en televisión, así como el desarrollo de la *Internet* han permitido que se pueda agregar el servicio de televisión en una red de datos de banda ancha.

La evolución tecnológica permitió que se pudieran integrar servicio de voz y datos sobre líneas telefónicas utilizando tecnologías xDSL; estas tecnologías han tenido avances tecnológicos, los cuales les permite entregar anchos de banda considerables y que hacen posible que se pueda integrar a estos servicios el video que antes era posible entregándolo únicamente a través de una red distinta.

En el capítulo uno se hace un recorrido por la evolución de la televisión tradicional; desde el nacimiento de la televisión hasta su digitalización y transmisión, a través de redes IP. En el capítulo dos se hace un pequeño recorrido sobre los avances de la *Internet*, en donde se hace mención de las tecnologías que hacen posible su funcionamiento.

El capítulo tres muestra cómo se llegó a la televisión digital, todo el proceso que lleva la digitalización una señal analógica y las tecnologías utilizadas para realizar este proceso. El capítulo cuatro explica el modelo del sistema IPTV para ser implementado en una red de banda ancha existente, desde la creación del *Head end* hasta las redes de acceso a los hogares de los usuarios.

El capítulo cinco muestra las tecnologías de acceso a los hogares, así como los dispositivos que se tienen que instalar en la red doméstica, para brindar el servicio. También muestra las limitaciones de cada tecnología de acceso, sus características en distancia y ancho de banda. En este capítulo también se habla sobre los equipos de distribución (DSLAMS) y de los sistemas de seguridad que se tienen que agregar en la red para que sea funcional el sistema IPTV.

Por último, el capítulo seis es un análisis económico realizado para demostrar que la implementación del sistema puede generar muchas ganancias para un proveedor de servicios que ya cuenta con la infraestructura de enlaces de Internet de banda ancha, este estudio muestra como se recupera la inversión realizada en un período de tres años, utilizando una tasa de retorno de capital del 10%. Para llegar a esta conclusión se utilizó una fórmula en Excel que calcula el TIR (Tasa Interna de Retorno) y el VAN (Valor Actual neto).

1. EVOLUCIÓN DE LA TELEVISIÓN

1.1 Inicio de la televisión

La televisión es un sistema de telecomunicación para la transmisión y recepción de imágenes en movimiento y sonido a distancia.

Esta transmisión puede ser efectuada mediante ondas de radio o por redes especializadas de televisión por cable. El receptor de las señales es el televisor.

Desde un punto de vista técnico, el proceso de la televisión, es un sistema electrónico de grabación de imágenes y sonidos, y reproducción de los mismos a distancia. Es el medio de comunicación de masas con más influencia sobre los individuos, y con mayor poder de penetración en los hogares.

Igual que la radio, la televisión es fruto de una serie de descubrimientos en distintos campos de la ciencia y la técnica.

La palabra "televisión" es un híbrido de la voz griega "Tele" (distancia) y la latina "visio" (visión). El término televisión se refiere a todos los aspectos de transmisión y programación de televisión. A veces se dice TV. Este término fue utilizado por primera vez en 1900, por *Constantin Perski* en el Congreso Internacional de Electricidad de París.

1.1.1 Primeros desarrollos y la telefotografía

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

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

El desarrollo de la telefotografía alcanzó su cumbre con los teleinscriptores, y su sistema de transmisión. Estos aparatos permitían recibir el periódico diario en casa del cliente, mediante la impresión del mismo que se hacía desde una emisora especializada.

Hasta la década de los años 80 del siglo XX se vinieron utilizando sistemas de telefoto, para la transmisión de fotografías destinados a los medios de comunicación.

1.1.2 El movimiento en la imagen

La imagen en movimiento es lo que caracteriza a la televisión. Los primeros desarrollos los realizaron los franceses *Rionoux* y *Fournier* en 1906. Estos desarrollaron una matriz de células fotosensibles que conectaban, al principio una a una, con otra matriz de lamparillas. A cada célula del emisor le correspondía una lamparilla en el receptor.

Pronto se sustituyeron los numerosos cables por un único par. Para ello se utilizó un sistema de conmutación que iba poniendo cada célula en cada instante en contacto con cada lámpara. El problema fue la sincronización de ambos conmutadores, así como la velocidad a la que debían de girar para lograr una imagen completa que fuera percibida por el ojo como tal.

La necesidad de enviar la información de la imagen en serie, es decir utilizando solamente una vía como en el caso de la matriz fotosensible, se aceptó rápidamente. En seguida se desarrollaron sistemas de exploración, también llamados de desintegración, de la imagen. Se desarrollaron sistemas mecánicos y eléctricos.

1.1.3 Televisión mecánica, el disco de *Nipkow* y la rueda fónica

En 1884 *Paul Nipkow* diseña y patenta el llamado disco de *Nipkow*, un proyecto de televisión que no podría llevarse a la práctica. En 1910, el disco de *Nipkow* fue utilizado en el desarrollo de los sistemas de televisión de los inicios del siglo XX y en 1925, el 25 de marzo, el inventor escocés *John Logie Baird* efectúa la primera experiencia real utilizando dos discos, uno en el emisor y otro en el receptor, que estaban unidos al mismo eje para que su giro fuera síncrono

y separados 2m. Se transmitió una cabeza de un maniquí con una definición de 28 líneas y una frecuencia de cuadro de 14 cuadros por segundo.

Baird ofreció la primera demostración pública del funcionamiento de un sistema de televisión a los miembros de la *Royal Institution* y a un periodista el 26 de enero de 1926 en su laboratorio de Londres. En 1927, *Baird* transmitió una señal a 438 millas a través de una línea de teléfono entre Londres y Glasgow.

Este disco permite la realización de un barrido secuencial de la imagen mediante una serie de orificios realizados en el mismo. Cada orificio, que en teoría debiera tener un tamaño infinitesimal y en la práctica era de 1mm, barría una línea de la imagen y como éstos, los agujeros, estaban ligeramente desplazados, acababan realizando el barrido total de la misma. El número de líneas que se adoptaron fue de 30 pero esto no dio los resultados deseados, la calidad de la imagen no resultaba satisfactoria.

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

Se desarrollaron otros exploradores mecánicos como el que realizó la casa *Telefunken*, que dio buenos resultados, pero que era muy complejo y constaba de un cilindro con agujeros que tenían una lente cada uno de ellos.

La formación de la imagen en la recepción se realizaba mediante el mismo principio que utilizaba en la captación. Otro disco similar, girando de manera síncrona, era utilizado para mirar a través de él, una lámpara de neón cuya luminosidad correspondía a la luz captada en ese punto de la imagen. Este sistema, por el minúsculo tamaño del área de formación de la imagen, no tuvo mucho éxito, ya que únicamente permitía que ésta fuera vista por una persona, aun cuando se intentó agrandar la imagen mediante la utilización de lentes. Se desarrollaron sistemas basados en cinta en vez de discos y también se desarrolló, que fue lo que logró resolver el problema del tamaño de la imagen, un sistema de espejos montados en un tambor que realizaban la presentación en una pantalla. Para ello el tambor tenía los espejos ligeramente inclinados, colocados helicoidalmente. Este tambor es conocido como la rueda de *Weiller*. Para el desarrollo práctico de estos televisores fue necesaria la sustitución de la lámpara de neón, que no daba la luminosidad suficiente, por otros métodos, y entre ellos se utilizó el de poner una lámpara de descarga de gas y hacer pasar la luz de la misma por una célula de *Kerr* que regulaba el flujo luminoso en relación a la tensión que se le aplicaba en sus bornes. El desarrollo completo del sistema se obtuvo con la utilización de la rueda fónica para realizar el sincronismo entre el emisor y el receptor.

La exploración de la imagen, que se había desarrollado de forma progresiva por las experiencias de *Senlecq* y *Nipkow* se cuestiona por la exposición del principio de la exploración entrelazada desarrollado por *Belin* y *Toulón*. La exploración entrelazada solventaba el problema de la persistencia de la imagen, las primeras líneas trazadas se perdían cuando todavía no se habían trazado las últimas produciendo el conocido efecto ola. En la exploración entrelazada se exploran primero las líneas impares y luego las pares y se realiza lo mismo en la presentación de la imagen. *Brillounin* perfecciona el disco de *Nipkow* para

que realice la exploración entrelazada colocándole unas lentes en los agujeros aumentando así el brillo captado.

En 1932 se realizan las primeras emisiones en París. Estas emisiones tienen una definición de 60 líneas pero tres años después se estaría emitiendo con 180. La precariedad de las células empleadas para la captación hacía que se debiera iluminar muy intensamente las escenas produciendo muchísimo calor que impedía el desarrollo del trabajo en los platos.

La rueda fónica fue el sistema de sincronización mecánico que dio mejores resultados. Consistía en una rueda de hierro que tenía tantos dientes como agujeros que había en el tambor o disco. La rueda y el disco estaban unidos por el mismo eje. La rueda estaba en medio de dos bobinas que eran recorridas por la señal que llegaba del emisor. En el centro emisor se daba, al comienzo de cada agujero, principio de cada línea, un pulso más intenso y amplio que las variaciones habituales de las células captadoras, que cuando era recibido en el receptor al pasar por las bobinas hace que la rueda de un paso posicionando el agujero que corresponde.

1.1.4 Televisión Electrónica

La televisión electrónica se basa en el desarrollo del tubo catódico, que es el tubo del cuadro encontrado en televisiones modernas.

En 1937 comenzaron las transmisiones regulares de TV electrónica en Francia y en el Reino Unido. Esto llevó a un rápido desarrollo de la industria televisiva y a un rápido aumento de telespectadores aunque los televisores eran de pantalla pequeña y muy cara. Estas emisiones fueron posibles por el desarrollo de los siguientes elementos en cada extremo de la cadena.

1.1.4.1 Tubo de rayos catódicos (TRC), receptor

La implementación del llamado tubo de rayos catódicos o tubo de *Braum*, por *S. Thomson* en 1895 fue un precedente que tendría gran trascendencia en la televisión, si bien no se pudo integrar, debido a las deficiencias tecnológicas, hasta entrado el siglo XX y que perdura en la primera mitad del XXI.

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

Una vez resuelto el problema de la presentación de la imagen en la recepción quedaba por resolver el de la captación en el emisor. Los exploradores mecánicos frenaban el avance de la técnica de la TV. Era evidente que el progreso debía de venir de la mano de la electrónica, como en el caso de la recepción. El 27 de enero de 1926, *John Logie Baird* hizo una demostración ante la Real Institución de Inglaterra, el captador era mecánico, compuesto de tres discos y de construcción muy rudimentaria.

La primera imagen sobre un tubo de rayos catódicos se formó en 1911, en el Instituto Tecnológico de San Petersburgo y consistía en unas rayas blancas sobre fondo negro y fueron obtenidas por *Boris Rosing* en colaboración con

Zworykin. La captación se realizaba mediante dos tambores de espejos (sistema *Weiller*) y generaba una exploración entrelazada de 30 líneas y 12,5 cuadros por segundo.

Las señales de sincronismo eran generadas por potenciómetros unidos a los tambores de espejos que se aplicaban a las bobinas deflexoras del TRC, cuya intensidad de haz era proporcional a la iluminación que recibía la célula fotoeléctrica.

1.1.4.2 El Iconoscopio (en el emisor)

En 1931, *Vladimir Kosma Zworykin* desarrolló el captador electrónico que tanto se esperaba, el iconoscopio. Este tubo electrónico permitió el abandono de todos los demás sistemas que se venían utilizando y perduró, con sus modificaciones, hasta la irrupción de los captadores de *CCD's* (Dispositivos de cargas interconectadas) a finales el siglo XX.

El iconoscopio está basado en un mosaico electrónico compuesto por miles de pequeñas células fotoeléctricas independientes que se creaban mediante la construcción de un sándwich de tres capas, una muy fina de MICA que se recubría en una de sus caras de una sustancia conductora (grafito en polvo impalpable o plata) y en la otra cara una sustancia fotosensible compuesta de millares de pequeños globulitos de plata y óxido de cesio. Este mosaico, que era también conocido con el nombre de mosaico electrónico de *Zworykin* se colocaba dentro de un tubo de vacío y sobre el mismo se proyectaba, mediante un sistema de lentes, la imagen a captar. La lectura de la "imagen electrónica" generada en el mosaico se realizaba con un haz electrónico que proporcionaba a los pequeños condensadores fotoeléctricos los electrones necesarios para su neutralización. Para ello se proyecta un haz de electrones sobre el mosaico, las

intensidades generadas en cada descarga, proporcionales a la carga de cada célula y ésta a la intensidad de luz de ese punto de la imagen pasan a los circuitos amplificadores y de allí a la cadena de transmisión, después de los diferentes procesados precisos para el óptimo rendimiento del sistema de TV.

La exploración del mosaico por el haz de electrones se realizaba mediante un sistema de deflexión electromagnético, al igual que el utilizado en el tubo del receptor.

Se desarrollaron otro tipo de tubos de cámara como el disector de imagen de *Philo Taylor Farnsworth* y luego el *Icotron* y el *superemitron*, que era un híbrido de iconoscopio y disector, y al final apareció el *orticón*, desarrollado por la casa RCA y que era mucho menor, en tamaño, que el iconoscopio y mucho más sensible. Este tubo fue el que se desarrolló y perduró hasta su desaparición, aproximadamente en 1935 con la aparición del iconoscopio.

Vladimir Zworykin realizó sus estudios y experimentos del iconoscopio en la RCA, después de dejar San Petersburgo y trabajando con *Philo Taylor Farnsworth*, quien lo acusó de copiar sus trabajos sobre el disector de imagen.

Los transductores diseñados fueron la base para las cámaras de televisión. Estos equipos e integran, todo lo necesario para captar una imagen y transformarla en una señal eléctrica. La señal, que contiene la información de la imagen más los pulsos necesarios para el sincronismo de los receptores, se denomina señal de vídeo. Una vez que se haya producido dicha señal, ésta puede ser manipulada de diferentes formas, hasta su emisión por la antena, el sistema de difusión deseado.

1.1.5 La señal de vídeo

La señal transducida de la imagen contiene la información de ésta, pero es necesario para su recomposición, que haya un perfecto sincronismo entre la deflexión de exploración y la deflexión en la representación.

La exploración de una imagen se realiza mediante su descomposición, primero en fotogramas a los que se llaman cuadros y luego en líneas, leyendo cada cuadro. Para determinar el número de cuadros necesarios para que se pueda recomponer una imagen en movimiento así como el número de líneas para obtener una óptima calidad en la reproducción y la óptima percepción del color (en la TV en color) se realizaron numerosos estudios empíricos y científicos del ojo humano y su forma de percibir. Se obtuvo que el número de cuadros debía de ser al menos de 24 al segundo (luego se emplearon por otras razones 25 y 30) y que el número de líneas debía de ser superior a las 300.

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

La codificación de la imagen se realiza entre 0V para el negro y 0,7V para el blanco. Para los sincronismos se incorporan pulsos de -0,3V, lo que da una amplitud total de la forma de onda de vídeo de 1V. Los sincronismos verticales están constituidos por una serie de pulsos de -0,3V que proporcionan información sobre el tipo de campo e igualan los tiempos de cada uno de ellos.

El audio es tratado por separado en toda la cadena de producción y luego se emite junto al vídeo en una portadora situada al lado de la encargada de transportar la imagen.

1.2 Fundamentos de un sistema de televisión

La señal de televisión es una compleja onda electromagnética de variación de tensión o intensidad, compuesta por las siguientes partes:

1. Serie de fluctuaciones correspondientes a las fluctuaciones de la intensidad de luz de los elementos de la imagen a explorar.
2. Serie de impulsos de sincronización que adaptan el receptor a la misma frecuencia de barrido que el transmisor.
3. Serie adicional de los denominados impulsos de borrado, y
4. Señal de frecuencia modulada (FM) que transporta el sonido que acompaña a la imagen. Los tres primeros elementos conforman la señal de vídeo.

Las fluctuaciones de intensidad o tensión correspondientes a las variaciones de la intensidad de la luz, suelen llamarse señal de vídeo. Las frecuencias de dicha señal oscilan entre 30 millones y 40 millones de Hz, dependiendo del contenido de la imagen.

Los impulsos de sincronización son picos pequeños de energía eléctrica generados por los correspondientes osciladores en la estación emisora. Estos impulsos controlan la velocidad del barrido horizontal y vertical tanto de la cámara como del receptor. Los impulsos de sincronismo horizontal se producen a intervalos de 0,01 segundos y su duración es prácticamente la misma.

Los impulsos de borrado anulan el haz de electrones en la cámara y en el receptor durante el tiempo empleado por el haz de electrones en volver desde el final de una línea horizontal hasta el principio de la siguiente, así como desde la parte inferior del esquema vertical hasta la parte superior. La sincronización y estructura de estos impulsos resultan extremadamente complejas.

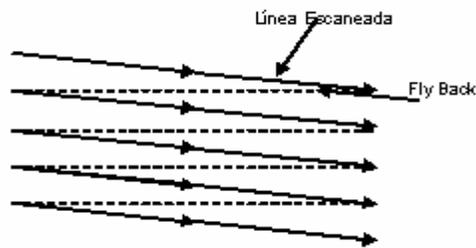
1.2.1 Escaneo de líneas

Una cámara de video está formada por una placa frontal que es una superficie sensible a la luz, también conocido como dispositivo pick-up. Este dispositivo se compone de un conjunto de cientos de miles de fotodiodos de silicio montado sobre un chip, por lo general, 7 mm en diagonal, dispuestos en líneas y columnas. Durante el período activo sobre el área, cada fotodiodo actúa como un condensador, y adquiere una carga eléctrica proporcional a la cantidad de luz que incide sobre él. La imagen es centrada en el sensor frontal por un sistema de lentes ópticas. Un haz de electrones es extraído de cada fotodiodo individualmente por un circuito controlador de modo que las cargas en cada línea es leída de izquierda a derecha. Cada línea se lee a en forma progresiva bajando hasta que el final de la línea inferior es alcanzado.

El brillo de cada uno de los elementos es examinado línea por línea, como se muestra en la figura 1, para formar lo que se conoce como una señal de video. Un gran número De las líneas se emplean para dar una representación

adecuada de los contenidos de la Imagen. En el Reino Unido, el PAL se usan 625 líneas mientras que la de Estados Unidos. NTSC utiliza 525 líneas.

Figura 1. Escaneo de Imagen



Fuente: *Televisión and Video Technology*

La forma de onda que proporciona el movimiento de barrido de los haz electrones es la forma de onda de diente de sierra se muestra en la figura 2 en el que el *Sweep* Proporciona la parte de la línea de exploración y la línea de *flyback* indica el salto al inicio de la otra línea. Al finalizar cada cuadro de barrido electrónico el haz se mueve de nuevo a la parte superior de la escena y la secuencia se repite.

Figura 2. Forma de onda de la línea escaneada



Fuente: *Television and Video Technology*

En El Reino Unido se escanean 25 imágenes completas por segundo, elegido porque coincide con los 50 Hz de frecuencia de la fuente de alimentación. Es preferible acoplar la tasa de refresco de pantalla a la fuente de alimentación para evitar la interferencia de onda que produciría barras móviles

en la pantalla. Con cada imagen que contiene 625 líneas, la frecuencia de las líneas en el Reino Unido es, por lo tanto, PAL $25 \times 625 = 15,625$ Hz o 15.625 kHz.

En los Estados Unidos, el sistema NTSC fue originalmente 30 Imágenes por segundo en el sistema de blanco y negro, elegido porque coincide con los 60 Hz de frecuencia nominal de la corriente alterna de energía utilizada en los Estados Unidos. Sin embargo, con la introducción del color en los Estados Unidos, y plantea un problema como resultado de un choque entre las frecuencias del color y la portadora de sonido, lo que podría producir un patrón de puntos en la pantalla. Para evitar ésto, la imagen original de 30 Hz fue ajustada por el factor de $1000/1001$ a 29.97Hz. Con cada imagen NTSC que contiene 525 líneas, por lo tanto la frecuencia de líneas es $29.97 \times 525 = 15,734$ Hz o 15.734 kHz.

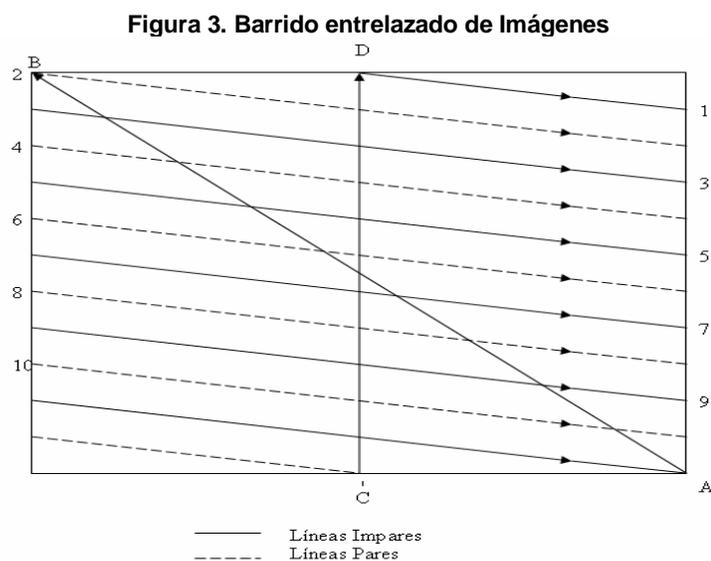
1.2.2 Barrido entrelazado

Consiste en la transmisión de un primer campo compuesto por las líneas impares de la imagen y a continuación un segundo campo formado por las líneas pares. Esta forma de barrer la imagen, permite duplicar la frecuencia de refresco de la pantalla (50 ó 60 Hz, en lugar de los 25 ó 30 Hz) sin aumentar el ancho de banda para un número de líneas dado.

Normalmente se utiliza escaneo secuencial, un cuadro se escanea por completo (625 ó 525 Líneas) a la vez seguido de otro cuadro completo de exploración, esto introduce un parpadeo (*flicker*) en la imagen cuando es reproducida en un CRT, lo cual es inaceptable; esto es debido a que una vez terminado el escaneado, el brillo de una línea se desvanece gradualmente hasta que esta es actualizada por el siguiente escaneo de línea. El parpadeo se reduce en gran medida por una técnica conocida como escaneo entrelazado.

El escaneado entrelazado implica escanear primero las líneas impares 1, 3, 5, etc., seguido por el escaneo de las líneas pares 2, 4, 6, etc. La imagen es partida en dos partes las cuales se conocen como campos, un solo campo es escaneado a la vez, una imagen completa (es decir los dos campos) es escaneada a una frecuencia de $2 \times 25 = 50$ Hz para el Reino Unido y $2 \times 30 = 60$ Hz para el sistema americano.

Al finalizar cada campo, el haz de electrones es desviado rápidamente de nuevo a comienzos de la próxima exploración. El salto termina al final de la última línea del campo de líneas impares (punto A en la Figura 3) y el haz se llevan entonces a la salida de la primera línea del campo de líneas pares (punto B), la distancia de viaje de la altura de la pantalla. Para garantizar la misma distancia vertical y, por tanto, el mismo tiempo para ambos campos, incluso el *flyback* (línea de puntos) se termina el camino a la mitad de la última línea del campo (punto C), llevándola a la mitad de la primera línea de campo de líneas pares (Punto D). Esta es la razón por la que el número total de líneas es elegido para ser un número impar.



1.2.3 Frecuencias de exploración horizontal y vertical.

La velocidad de campo de 60 Hz es la frecuencia de exploración vertical. Este es el ritmo con que el haz electrónico completa su ciclo de movimiento vertical, desde la parte superior hasta la parte inferior de la pantalla para volver nuevamente a la parte superior.

El número de líneas de exploración horizontal de un campo es la mitad del total de las 525 líneas de un cuadro completo (en el sistema NTSC), ya que un campo contiene la mitad de las líneas. Esto da por resultado 262.5 líneas horizontales para cada campo.

Como el tiempo que corresponde a un campo es 1/60s y cada campo contiene 262.5 líneas, el número de líneas por segundo es:

$$262.5 \times 60 = 15750 \text{ líneas/s}$$

Esta frecuencia de 15750 Hz es la velocidad con que el haz electrónico completa su ciclo de movimiento horizontal de izquierda a derecha y regresa nuevamente a la izquierda.

El tiempo durante el cual se realiza la exploración de una línea horizontal es:

$$1/15750 \approx 63.5 \mu\text{s}$$

1.2.4 La señal de color

El sistema para la televisión a color es el mismo que para la televisión monocromática excepto que también se utiliza la información de color. Esto se realiza considerando la información de imágenes en términos de rojo, verde y azul. Cuando es explorada la imagen en la cámara, se producen señales de video separadas para la información de rojo, verde y azul de la imagen. Filtros

de color separan los colores para la cámara. Sin embargo, para el canal estándar de 6 MHz de televisión, las señales de video de rojo, verde y azul son combinadas de modo que se forman dos señales equivalentes, una correspondiente al brillo y otra para el color. Específicamente las dos señales transmitidas son las siguientes:

- **Señal de luminancia:** Contiene solo variaciones de brillo de la información de la imagen, incluyendo los detalles finos, lo mismo que en una señal monocromática. La señal de luminancia se utiliza para reproducir la imagen en blanco y negro, o monocroma. La señal de luminancia o Y se forma combinando 30% de la señal de video roja (R), 59% de la señal de video verde (G) y 11% de la señal de video azul (B), y su expresión es:

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

Los porcentajes que se muestran en la ecuación corresponden a la brillantez relativa de los tres colores primarios. En consecuencia, una escena reproducida en blanco y negro por la señal Y tiene exactamente la misma brillantez que la imagen original. La figura 4 muestra como el voltaje de la señal Y se compone de varios valores de R, G y B. La señal Y tiene una máxima amplitud relativa de unidad, la cual es 100% blanca. Para los máximos valores de R, G y B (1V cada uno), el valor de brillantez se determina de la siguiente manera:

$$Y = 0.30 (1) + 0.59 (1) + 0.11 (1) = 1 \text{ lumen}$$

Los valores de voltaje para Y que se ilustran en la Figura 4 proporcionan los valores de luminancia relativos que corresponden a cada color como se muestra en la figura 5.

Figura 4. Obtención de la señal Y

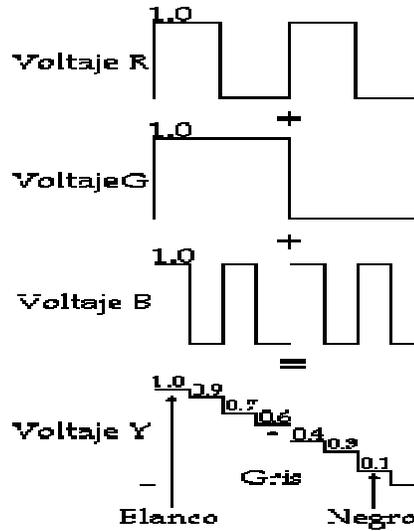
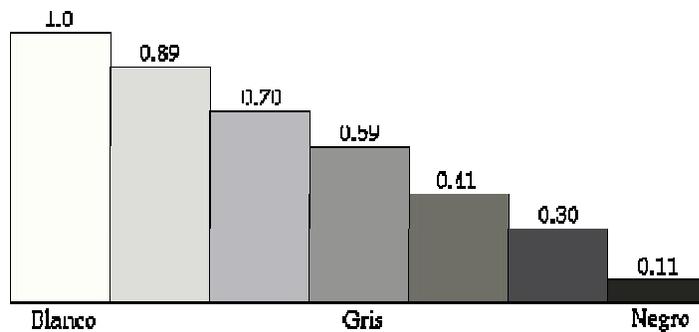


Figura 5. Valores de luminancia relativa



- **Señal de crominancia:** La señal de crominancia es una combinación de las señales de color I y Q. La señal I o señal de color en fase se genera combinando el 60% de la señal de video en rojo (R), 28% de la señal de video en verde (G) invertida y 32% de la señal de video en azul (B) invertida, y se expresa como:

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

La señal Q o señal de color en cuadratura se genera combinando el 21% de la señal de video en rojo (R), 52% de la señal de video en verde (G) invertido y 31% de la señal de video en azul (B), y su expresión es:

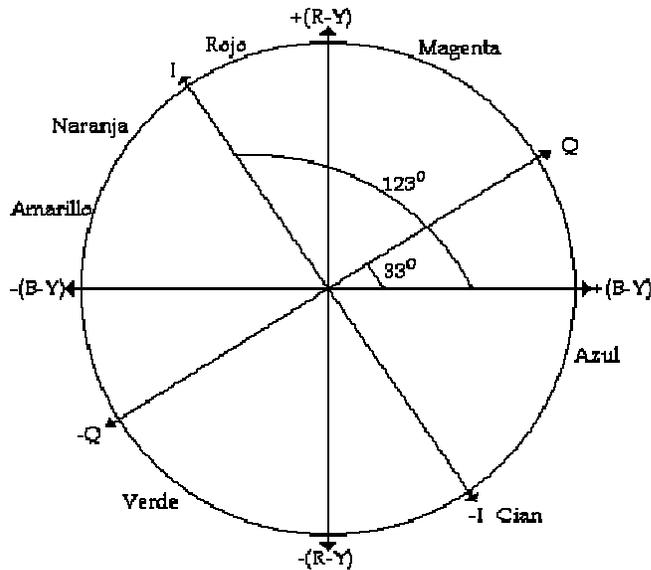
$$Q = 0.21R - 0.52G + 0.31B$$

Las señales I y Q se combinan para producir la señal C y debido a que las señales I y Q están en cuadratura, la señal C o crominancia es la suma vectorial de éstas, y su expresión es:

$$C = \sqrt{I^2 + Q^2}$$
$$\tan^{-1} \frac{Q}{I}$$

Las amplitudes de las señales I y Q son, en cambio, proporcionales a las señales de video R, G y B. La figura 6 muestra la rueda de colores para la radiodifusión de televisión. Las señales R- Y y B- Y se utilizan en la mayor parte de los receptores de televisión a color para demodular las señales de video R, G y B. En el receptor, la señal C reproduce colores en proporción a las amplitudes de las señales I y Q. El matiz (o tono del color) se determina por la fase de la señal C y la profundidad o saturación es proporcional a la magnitud de la señal C. La parte exterior del círculo corresponde al valor relativo de 1.

Figura 6. Representación de los colores en NTSC



Fuente: *Televisión and Video Technology*

Así se consigue que los sistemas de color y monocromáticos sean completamente compatibles.

1.2.5 Píxeles y ancho de banda

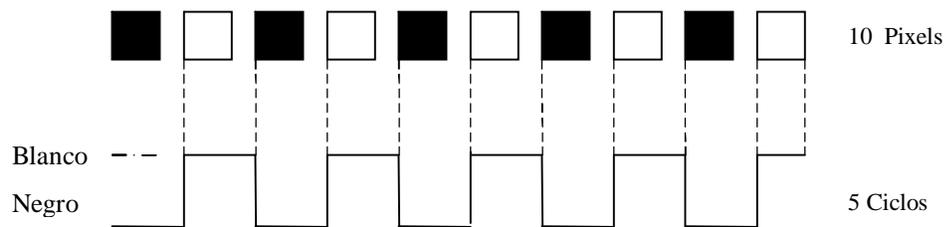
Un píxel, abreviatura de *picture element* (elemento de imagen), es el más pequeño elemento activo o punto en una imagen. Un panorama bien definido, por lo general, tienen más píxeles que una menos definidos. La resolución de una imagen se define por el número de píxeles en la dirección horizontal y vertical. El número de píxeles en la dirección vertical se establece por el número de líneas. Sin embargo, el mismo no puede decirse del número de píxeles por línea horizontal. Esto ha sido establecido internacionalmente a 720 píxeles/línea para ambos sistemas NTSC y PAL. Esto da una resolución de la televisión para SD 720 x 576. HD para televisión, las cifras son más altas, es decir, 1920 x 1080 ó 1280 x 720 (PAL) y 720 x 480 (NTSC).

Una vez determinado el número de píxeles por línea, el número total de píxeles en una sola imagen en una pantalla de televisión puede ser calculado como píxeles activos/Línea x líneas activas. Esto da:

$$720 \times 576 = 414,720 \text{ píxeles (PAL)}$$

$$720 \times 480 = 345,600 \text{ píxeles (NTSC)}$$

Figura 7. Forma de Onda de Píxeles Blancos y Negros Alternados



La frecuencia de la forma de onda de vídeo está determinada por el cambio en el brillo del haz de electrones, ya que escanea la pantalla línea por línea. La frecuencia máxima de vídeo se obtiene cuando los píxeles adyacentes son alternativamente blancos y negros, lo que representa la máxima definición de una imagen de TV. Para PAL, esto significa 414,720 alternado entre el negro y blanco; los píxeles para NTSC son 345,600. Cuando un haz de electrones escanea una línea que contiene píxeles blancos y negros alternados, la forma de onda de vídeo es la que se muestra en la Figura 7, que representa la variación de brillo a lo largo de la línea. Como puede observarse, se obtiene un ciclo completo para cualquier par de píxeles adyacentes en blanco y negro. Por lo tanto, para los 10 píxeles que se muestran, cinco ciclos completos se producen. De ello se deduce que, para una imagen completa píxeles en blanco y negro, el número de ciclos producidos viene dado por 1/2 números de píxeles:

$$= \frac{1}{2} \times 414,720 = 207,360 \text{ Ciclos/Imagen (PAL)}$$

$$= \frac{1}{2} \times 345,600 = 172,800 \text{ Ciclos/Imagen (NTSC)}$$

Debido a que hay 25 (PAL) imágenes completas por segundo, entonces el número de ciclos por segundo, es decir, la frecuencia máxima de vídeo es:

$$\text{Ciclos/Imagen} \times 25 = 207,360 \times 25 = 5,184,000 \text{ Hz} = 5.184 \text{ MHz}$$

NTSC, con 30 imágenes por segundo, tiene la misma frecuencia que la máxima de vídeo PAL:

$$\text{Ciclos/Imagen} \times 30 = 172,800 \times 30 = 5,184,000 \text{ Hz} = 5.184 \text{ MHz}$$

La frecuencia mínima de vídeo se obtiene cuando el haz de electrones escanea pixeles de brillo inalterable. Esto corresponde a la amplitud de la forma de onda de video constante, mejor dicho una frecuencia de 0 Hz ó dc. El ancho de banda de vídeo es, por lo tanto, 0-5.184 MHz, y este ancho de banda es común para ambos sistemas.

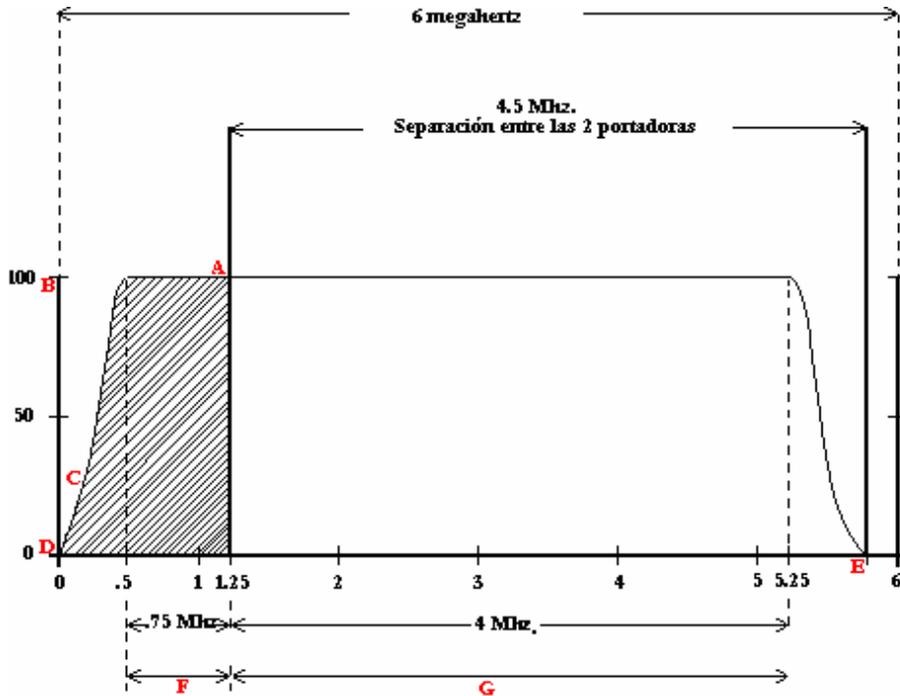
1.2.6 Modulación y espectro de frecuencias

Una variedad de técnicas de modulación se utilizan en la radiodifusión de televisión incluyendo la modulación de amplitud (AM) y frecuencia modulada (FM). Se utilizan en la radiodifusión analógica terrestre, FM y cambio de fase en cuadratura (QPSK); en la radiodifusión por satélite digital, la modulación de amplitud de cuadratura (QAM) y Multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM); en la televisión digital terrestre (TDT) y radiodifusión digital de audio (DAB) la modulación de código de pulso (PCM), también se emplea

tanto en la transmisión y recepción de extremos. Para televisión analógica monocromática, sólo se utilizan dos tipos: AM para video y FM para el sonido.

La modulación AM ordinaria da lugar a dos bandas laterales a ambos lados de la portadora, con lo que duplica los requisitos de ancho de banda para la transmisión. Sin embargo, puesto que cada banda lateral contiene la misma información de vídeo, es posible suprimir por completo una banda lateral, esto se conoce como banda lateral suprimida (SSB). Sin embargo, la transmisión pura SSB exige una sincronía más complicada en el receptor, lo que hace que sea más caro el receptor. Un canal de televisión abarca 6 MHz, en los cuales se incluye, la portadora de video (imagen) como la del sonido. En la figura 8 se nota que la portadora de la imagen está colocada 1.25 Mhz. arriba del límite inferior del canal, en tanto que la portadora del sonido está 0.25 Mhz. abajo del límite superior del canal. La distancia que resulta entre las 2 es de 4.5 Mhz. Es de notar también que las bandas laterales de los componentes de modulación de la imagen no se extienden simétricamente a ambos lados de la portadora de video, la banda lateral con más alta frecuencia se extiende aproximadamente 4 Mhz. arriba de la portadora de video, en tanto que la banda lateral inferior se extiende solamente 0.75 Mhz. abajo de la portadora de video. Notamos también que la amplitud de las portadoras es igual, por lo que se deduce que la potencia de radiación relativa de la imagen y del sonido es casi la misma. Se observa también que la porción plana de la señal de video se extiende aproximadamente 4.75 Mhz y existe una banda de resguardo de 0.5 Mhz. que se coloca arriba y abajo de los límites de las bandas laterales, con esto se evita que la señal de video se extienda más allá del límite inferior del canal, también con esto se evita que la banda lateral superior de video interfiera con la portadora de sonido.

Figura 8. Espectro de Frecuencias de un canal de Televisión



- A: Portadora de video en amplitud modulada (AM)
- B: Porcentaje relativo de la amplitud de portadoras
- C: Banda lateral Residual o Vestigial
- D: Potencia Radiada en este punto, No mayor de 0.1%
- E: Portadora de Sonido en Frecuencia Modulada (FM). Desviación de ± 25 MHz
- F: Banda interior de Video
- G: Banda superior de video

Para transmitir y reproducir una imagen de 525 líneas y obtener una buena definición se requiere una banda de 4 Mhz. aproximadamente. Si se usara el sistema convencional de transmisión con dos bandas laterales, la señal de video al modular el transmisor, ocuparía un canal de 8 Mhz. Como un canal de televisión tiene únicamente 6 Mhz. y se debe transmitir tanto la imagen como el sonido, es lógico que no se pueda usar el método de doble banda lateral. Por lo mismo, en televisión se usa la transmisión llamada "banda lateral vestigial o residual" y en la cual los componentes de modulación del lado de alta frecuencia tienen una extensión normal; en cambio la banda lateral inferior no se transmite completa, de ahí el nombre que se le ha dado puesto que se

transmite únicamente una parte o el residuo de una de las bandas laterales. Con el sistema antes descrito, el transmisor opera de la manera usual con las frecuencias de modulación hasta 0.75 Mhz., y después gradualmente se efectúa una transición y finalmente a las altas frecuencias de modulación únicamente se transmite la portadora y una sola banda lateral. Para obtener una recepción satisfactoria con el método de banda lateral vestigial o residual, la respuesta del receptor debe ser compensada de tal forma que la salida del detector de video sea la misma, tanto para las frecuencias de modulación cercanas a la portadora de video, como para las frecuencias alejadas de la portadora.

1.3 Tipos de televisión

Todos los sistemas de televisión se basan en los mismos principios de producción, lo que hace la diferencia entre uno y otro es la forma en que se transmite hacia los usuarios final; el primer sistema de transmisión de televisión fue el sistema analógico (utilizado hoy en día en la mayoría de hogares) el cual utiliza ondas de radio para llegar a los usuarios, luego se fue desarrollando la digitalización de las señales análogas, y con esto dio paso a la televisión satelital y la multiplexación de varios canales en una sola línea de transmisión; conocido como televisión por cable, y los avances tecnológicos han permitido la aparición de la televisión de alta definición (HDTV) y la televisión sobre IP (IPTV).

1.3.1 Televisión analógica

En un sistema análogo, la información se transmite mediante alguna variación infinita de un parámetro continuo como puede ser la tensión en un hilo o la intensidad de flujo de una cinta. En un equipo de grabación, la distancia a lo

largo del soporte físico es un elemento análogo continuo más del tiempo. No importa en que punto se examine una grabación a lo largo de toda su extensión; se encontrará un valor para la señal grabada. Dicho valor puede variar con una resolución infinita dentro de los límites físicos del sistema.

Dichas características suponen la debilidad principal de las señales análogas. Dentro del ancho de banda permisible, cualquier forma de onda es válida. Si la velocidad del soporte no es constante, una forma de onda que sea válida pasará a ser otra forma de onda también válida; no es posible detectar un error de base de tiempos en un sistema análogo. Además, un error de tensión tan sólo hace variar un valor de tensión válido en otro; el ruido no puede detectarse en un sistema análogo. Se puede tener la sospecha que existe ruido, pero no se sabe qué proporción de la señal recibida corresponde al ruido y cuál es la señal original. Si la función de transferencia de un sistema no es lineal, se producirán distorsiones, pero las formas de onda distorsionadas aún serán válidas; un sistema análogo es incapaz de detectar distorsiones.

Es característico de los sistemas análogos el hecho que las degradaciones no puedan ser separadas de la señal original, por lo que nada pueda hacerse al respecto. Al final de un sistema determinado la señal estará formada por la suma de todas las degradaciones introducidas en cada etapa por las que haya pasado. Esto limita el número de etapas por las que una señal puede pasar sin que quede inutilizable.

La difusión analógica por vía terrestre; está constituida de la siguiente forma: del centro emisor se hacen llegar las señales de vídeo y audio hasta los transmisores principales situados en lugares estratégicos, normalmente en lo alto de alguna montaña dominante. Estos enlaces se realizan mediante enlaces de microondas punto a punto. Los transmisores principales cubren una amplia

zona que se va rellenando, en aquellos casos que haya sombras, con reemisores. La transmisión se realiza en las bandas de UHF y VHF.

1.3.2 Televisión digital

Estas formas de difusión se han mantenido con el nacimiento de la televisión digital con la ventaja de que el tipo de señal es muy robusta a las interferencias y la norma de emisión está concebida para una buena recepción. También hay que decir que acompaña a la señal de televisión una serie de servicios extras que dan un valor añadido a la programación y que en la normativa se ha incluido todo un campo para la realización de la televisión de pago en sus diferentes modalidades.

La difusión de la televisión digital se basa en el sistema DVB digital video *Broadcasting* y es el sistema utilizado en Europa. Este sistema tiene una parte común para la difusión de satélite, cable y terrestre. Esta parte común corresponde a la ordenación del flujo de la señal y la parte no común es la que lo adapta a cada modo de transmisión. Los canales de transmisión son diferentes, mientras que el ancho de banda del satélite es grande el cable y la vía terrestre lo tienen moderado, los ecos son muy altos en la difusión vía terrestre mientras que en satélite prácticamente no existen y en el cable se pueden controlar, las potencias de recepción son muy bajas para el satélite (llega una señal muy débil) mientras que en el cable son altas y por vía terrestre son medias, la misma forma tiene la relación señal-ruido.

Los sistemas utilizados según el tipo de canal son los siguientes, para satélite el DVE-S, para cable el DVE-C y para terrestre (también llamando terrenal) DVE-T. Muchas veces se realizan captaciones de señales de satélite

que luego son medidas en cable, para ello es normal que las señales sufran una ligera modificación para su adecuación a la norma del cable.

En Estados Unidos se ha desarrollado un sistema diferente de televisión digital, el ATSC (*Advanced Television System Committee*) que mientras que en las emisiones por satélite y cable no difiere mucho del europeo, en la TDT es totalmente diferente. La deficiencia del NTSC ha hecho que se unifique lo que es televisión digital y alta definición y el peso de las compañías audiovisuales y cinematográficas han llevado a un sistema de TDT característico en el que no se ha prestado atención alguna a la inmunidad contra los ecos.

La difusión de la televisión digital vía terrestre, conocida como TDT se realiza en la misma banda de la difusión analógica. Los flujos de transmisión se han reducido hasta menos de 6Mb/s, lo que permite la incorporación de varios canales. Lo normal es realizar una agrupación de cuatro canales en un multiplexor el cual ocupa un canal de la banda (en analógico un canal es ocupado por un programa). La característica principal es la forma de modulación. La televisión terrestre digital dentro del sistema DVB-T utiliza para su transmisión la modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*) que le confiere una alta inmunidad a los ecos, aún a costa de un complicado sistema técnico. La OFDM utiliza miles de portadoras para repartir la energía de radiación, las portadoras mantienen la ortogonalidad en el dominio de la frecuencia. Se emite durante un tiempo útil al que sigue una interrupción llamada tiempo de guarda. Para ello todos los transmisores deben estar sincronizados y emitir en paralelo un *bit* del flujo de la señal. El receptor recibe la señal y espera el tiempo de guarda para procesarla, en esa espera se desprecian los ecos que se pudieran haber producido. La sincronía en los transmisores se realiza mediante un sistema de *GPS*.

La televisión digital terrestre en América, en los Estados Unidos, utiliza la norma ATSC (*Advanced Television System Comite*) que deja sentir la diferente concepción respecto al servicio que debe tener la televisión y el peso de la industria audiovisual y cinematográfica estadounidense. La televisión norteamericana se ha desarrollado a base de pequeñas emisoras locales que se unían a una retransmisión general para ciertos programas y eventos, al contrario que en Europa donde han primado las grandes cadenas nacionales. Esto hace que la ventaja del sistema europeo que puede crear redes de frecuencia única para cubrir un territorio con un solo canal no sea apreciada por los norteamericanos. El sistema americano no ha prestado atención a la eliminación del eco. La deficiencia del NTSC es una de las causas de las ansias para el desarrollo de un sistema de TV digital que ha sido asociado con el de alta definición.

EL ATSC estaba integrado por empresas privadas, asociaciones e instituciones educativas. La FCC (*Federal Communication Comision*) aprobó la norma resultante de este comité como estándar de TDT el 24 de diciembre de 1996. Plantea una convergencia con los ordenadores poniendo énfasis en el barrido progresivo y en el pixel cuadrado. Han desarrollado dos jerarquías de calidad, la estándar (se han definido dos formatos, uno entrelazado y otro progresivo, para el entrelazado usan 480 líneas activas a 720 pixeles por línea y el progresivo 480 líneas con 640 píxeles por línea, la frecuencia de cuadro es la de 59.94 y 60 Hz y el formato es de 16/9 y 3/4) y la de alta definición (en AD tienen dos tipos diferentes uno progresivo y otro entrelazado, para el primero se usan 720 líneas de 1280 píxeles, para el segundo 1080 líneas y 1920 pixeles por línea a 59.94 y 60 cuadros segundo y un formato de 16/9 para ambos). Han desarrollado dos jerarquías de calidad, la estándar y la de alta definición. Utiliza el ancho de banda de un canal de NTSC para la emisión de televisión de alta definición o cuatro en calidad estándar.

1.3.3 Televisión por cable (CATV)

La televisión por cable surge por la necesidad de llevar señales de televisión y radio, de índole diversa, hasta el domicilio de los abonados, sin necesidad de que éstos deban disponer de diferentes equipos receptores, reproductores y sobre todo de antenas.

Precisa de una red de cable que parte de una cabecera (*Headend*) en donde se van combinando, en multiplicación de frecuencias, los diferentes canales que tienen orígenes diversos. Muchos de ellos provienen de satélites y otros son creados ex profeso para la emisión por cable.

La ventaja del cable es la de disponer de un canal de retorno, que lo forma el propio cable, que permite el poder realizar una serie de servicios sin tener que utilizar otra infraestructura.

La dificultad de tender la red de cable en lugares de poca población hace que solamente los núcleos urbanos tengan acceso a estos servicios.

La transmisión digital por cable está basada en la norma DVB-C, muy similar a la de satélite, y utiliza la modulación QAM.

1.3.3.1 Componentes de una red de CATV

- **Headend.** Es el órgano central desde donde se gobierna todo el sistema. Suele disponer de una serie de antenas que reciben los canales de TV y radio de diferentes sistemas de distribución (satélite, microondas, etc.), así como de enlaces con otras cabeceras o estudios de televisión y con redes

de otro tipo que aporten información susceptible de ser distribuida a los abonados a través del sistema de cable. Las redes de CATV originalmente fueron diseñadas para la distribución unidireccional de señales de TV, por lo que la cabecera era simplemente un centro que recogía las señales de TV y las adaptaba a su transmisión por el medio cable. Actualmente, los Headend han aumentado considerablemente en complejidad para satisfacer las nuevas demandas de servicios interactivos y de datos a alta velocidad.

- **Red troncal:** Es la encargada de repartir la señal compuesta generada por el *headend* a todas las zonas de distribución que abarca la red de cable. El primer paso en la evolución de las redes clásicas todo-coaxial de CATV hacia las redes de telecomunicaciones por cable HFC consistió en sustituir las largas cascadas de amplificadores y el cable coaxial de la red troncal por enlaces punto a punto de fibra óptica. Posteriormente, la penetración de la fibra en la red de cable ha ido en aumento, y la red troncal se ha convertido, por ejemplo, en una estructura con anillos redundantes que unen nodos ópticos entre sí. En estos nodos ópticos es donde las señales descendentes (del *headend* al usuario) pasan de óptico a eléctrico para continuar su camino hacia el hogar del abonado a través de la red de distribución de coaxial. En los sistemas bidireccionales, los nodos ópticos también se encargan de recibir las señales del canal de retorno o ascendentes (del abonado a la cabecera) para convertirlas en señales ópticas y transmitir las a la cabecera.
- **Red de Distribución:** Está compuesta por una estructura tipo bus de coaxial que lleva las señales descendentes hasta la última derivación antes del hogar del abonado. En el caso de la red HFC normalmente la red de distribución contiene un máximo de 2 ó 3 amplificadores de banda ancha y abarca grupos de unas 500 viviendas. En otros casos la fibra óptica de la

red troncal llega hasta el pie de un edificio, de allí sube por la fachada del mismo para alimentar un nodo óptico que se instala en la azotea, y de éste parte el coaxial hacia el grupo de edificios a los que alimenta (para servicios de datos y telefonía suelen utilizarse cables de pares trenzados para llegar directamente hasta el abonado, desde el nodo óptico).

- **Acometida:** Esta es la que llega a los hogares de los abonados y es sencillamente el último tramo antes de la base de conexión, en el caso de los edificios es la instalación interna.
- **Cable coaxial.** Permite la conexión hasta el usuario final. Los cables coaxiales usados para CATV tiene el conductor central de aluminio recubierto de cobre (*Copper-Clad Aluminium*) y las siguientes dimensiones: La línea troncal es de 0.75; 0.875; 1.00 ó 1.15 pulgadas y este cable usualmente lleva alimentación AC. La línea de *feeder* es de 0.412; 0.50 ó 0.625 pulgadas y solo alguna vez lleva alimentación AC. La velocidad de propagación de la onda en el coaxial es el 87% de la velocidad de la luz en el vacío. El efecto *Skin* indica que el coaxial es una guía de ondas y que la corriente transportada es sobre la periferia del conductor.

1.3.4 Televisión satelital

La televisión vía satélite se inició con el desarrollo de la industria espacial que permitió poner en órbita geoestacionaria satélites con transductores que emiten señales de televisión que son recogidas por antenas parabólicas.

El alto costo de la construcción y puesta en órbita de los satélites, así como la vida limitada de los mismos, se ve aliviado por la posibilidad de la explotación de otra serie de servicios como son los enlaces punto a punto para cualquier

tipo de comunicación de datos. No es despreciable el uso militar de los mismos, aunque parte de ellos sean de aplicaciones civiles, ya que buena parte de la inversión está realizada con presupuesto militar.

La ventaja de llegar a toda la superficie de un territorio concreto, facilita el acceso a zonas muy remotas y aisladas. Esto hace que los programas de televisión lleguen a todas partes.

La transmisión vía satélite digital se realiza bajo la norma DVB-S, la energía de las señales que llegan a las antenas es muy pequeña aunque el ancho de banda suele ser muy grande.

El sistema de televisión de *DirecTV* es un servicio de difusión satelital en vivo, en el cual se transmiten canales de televisión digitales y satelitales incluido canales de audio y de radio para los Estados Unidos y América Latina.

1.3.5 HDTV

High Definition Television (Televisión de alta definición), o HDTV. Es uno de los formatos que, sumados a la televisión digital (DTV), se caracteriza por emitir las señales televisivas en una calidad digital superior a los sistemas ya existentes (PAL, NTSC y SECAM).

La pantalla HDTV utiliza una proporción del aspecto 16:9. La alta resolución de las imágenes (1920 pixeles × 1080 líneas o 1280 pixeles × 720 líneas) permite mostrar más detalle comparado con la televisión analógica o de definición estándar (720 pixeles x 576 líneas según el estándar PAL).

El códec utilizado para la compresión puede ser MPEG-2, H.264 o *wmvhd* (*Windows Media Video High Definition*), aunque el MPEG-2 se está quedando desfasado actualmente por su baja eficiencia de compresión comparado con los otros códecs. Las imágenes HDTV son hasta cinco veces más definidas que las de la televisión de definición normal, comparando el formato PAL con la resolución HDTV más alta.

La resolución 1920 x 1080 suele estar en modo entrelazado, para reducir las demandas del ancho de banda. Las líneas son rastreadas alternativamente 60 veces por segundo, de forma similar entrelazado a 60 Hz en NTSC. Este formato se denomina 1080i, o 1080i60.

En las áreas donde tradicionalmente se utiliza la norma PAL a 50 Hz se utiliza 1080i50.

También son utilizados los formatos de rastreo progresivo con una velocidad de 60 cuadros por segundo. El formato 1280x720 en la práctica siempre es progresivo (refrescando el cuadro completo cada vez) y es así denominado 720p. Varias televisoras americanas actualmente transmiten en 720p/60.

HDTV puede grabarse en D-VHS (*Data-VHS*), W-VHS, o en una grabadora de video digital que soporte HDTV como la TiVo ofrecida por *DirecTV* o las DVR 921 y DVR 942 ofrecidas por *DISH Network*. Actualmente, en los Estados Unidos la única opción de grabado es D-VHS. D-VHS graba en forma digital a una velocidad de 28.2 Mbps en una cinta VHS cualquiera, requiriendo un transporte digital *FireWire* (IEEE 1394) para acoplar la trama comprimida MPEG-2 desde el dispositivo modulador hasta la grabadora.

Desafortunadamente, la enorme capacidad de almacenamiento de datos necesaria para guardar datos sin comprimir hacen que sea poco probable que una opción de almacenamiento sin compresión aparezca en el mercado en años próximos. La compresión en tiempo real MPEG-2 de una señal de HDTV no comprimida también es extremadamente cara, lo cual la hace prohibitiva para el mercado, aunque se predice que su costo bajará en algunos años (aunque esto realmente es más del interés de los consumidores de cámaras de video HD que para los de grabadores de HDTV). Además, grabadoras de cinta analógicas con un ancho de banda suficiente para el almacenamiento de señales de HD análogas como las grabadoras W-VHS ya están descontinuadas en el mercado del consumidor y son caras y difíciles de conseguir en el mercado secundario.

2. INTERNET Y REDES

2.1 ¿Qué es *Internet*?

Algunos definen *Internet* como "La Red de Redes", y otros como "La Autopista de la Información".

Efectivamente, *Internet* es una red de redes porque está hecha a base de unir muchas redes locales de computadoras, o sea de unas pocas computadoras en un mismo edificio o empresa. Además, ésta es "la red de redes" porque es la más grande.

Por la red de *Internet* circulan constantemente cantidades increíbles de información. Por este motivo se le llama también la autopista de la información. Diariamente se conectan millones de personas que "navegan" por Internet en todo el mundo. Se dice "navegar" porque es normal el ver información que proviene de muchas partes distintas del mundo en una sola sesión.

2.1.1 Historia de la red de *Internet*

Internet nació en Estados Unidos hace unos 30 años. Un proyecto militar llamado ARPANET pretendía poner en contacto una importante cantidad de computadoras de las instalaciones del ejército de Estados Unidos. Este proyecto gastó mucho dinero y recursos en construir la red de computadoras más grande en aquella época.

Al cabo del tiempo, a esta red se fueron añadiendo otras empresas. Así se logró que creciera por todo el territorio de Estados Unidos. Hará unos 15 años se conectaron las instituciones públicas como las Universidades y también algunas personas desde sus casas. Fue entonces cuando se empezó a extender *Internet* por los demás países del Mundo, abriendo un canal de comunicaciones entre todos los usuarios del mundo.

Internet crece a un ritmo vertiginoso. Constantemente se mejoran los canales de comunicación con el fin de aumentar la rapidez de envío y recepción de datos. Cada día que pasa se publican en la Red miles de documentos nuevos, y se conectan por primera vez miles de personas. Con relativa frecuencia aparecen nuevas posibilidades de uso de *Internet*, y constantemente se están inventando nuevos términos para poder entenderse en este nuevo mundo que no para de crecer.

2.1.2 Servicios que ofrece *Internet*

Las posibilidades que ofrece Internet se denominan servicios. Cada servicio es una manera de sacarle provecho a la red independiente de las demás. Una persona podría especializarse en el manejo de sólo uno de estos servicios sin necesidad de saber nada de los otros. Sin embargo, es conveniente conocer todo lo que puede ofrecer *Internet*, para poder trabajar con lo que más nos interese.

Hoy en día, los servicios más usados en Internet son: correo electrónico, *World Wide Web*, FTP, Grupos de Noticias, IRC y Servicios de Telefonía.

El correo electrónico nos permite enviar cartas escritas con la computadora a otras personas que tengan acceso a la red. Las cartas quedan acumuladas en

Internet hasta el momento en que se piden. Es entonces cuando son enviadas a la computadora del destinatario para que pueda leerlas. El correo electrónico es casi instantáneo, a diferencia del correo normal, y además muy barato. La comunicación se puede hacer con cualquier persona alrededor del Mundo que disponga de conexión a *Internet*.

La World Wide Web, o *www* como se suele abreviar, se inventó a finales de los 80 en el CERN, el laboratorio de física de partículas más importante del mundo. Se trata de un sistema de distribución de información tipo revista. En la red quedan almacenadas lo que se llaman páginas Web, que no son más que páginas de texto con gráficos o fotos. Aquellos que se conecten a *Internet* pueden pedir acceder a dichas páginas y acto seguido éstas aparecen en la pantalla de su computadora. Este sistema de visualización de la información revolucionó el desarrollo de *Internet*. A partir de la invención de la *www*, muchas personas empezaron a conectarse a la red desde sus domicilios, como entretenimiento. *Internet* recibió un gran impulso, hasta el punto de que hoy en día casi siempre que hablamos de *Internet*, nos referimos a la *www*.

El FTP (*File Transfer Protocol*) nos permite enviar ficheros de datos por *Internet*. Ya no es necesario guardar la información en disquetes para usarla en otra computadora. Con este servicio, muchas empresas informáticas han podido enviar sus productos a personas de todo el mundo sin necesidad de gastar dinero en miles de disquetes ni envíos.

El servicio IRC (*Internet Relay Chat*) nos permite entablar una conversación en tiempo real con una o varias personas por medio de texto. Todo lo que escribimos en el teclado aparece en las pantallas de los que participan de la charla. También permite el envío de imágenes u otro tipo de ficheros mientras se dialoga.

Los Servicios de Telefonía son las últimas aplicaciones que han aparecido para *Internet*. Nos permiten establecer una conexión con voz entre dos personas conectadas a Internet desde cualquier parte del mundo sin tener que pagar el costo de una llamada internacional. Algunos de estos servicios incorporan no sólo voz, sino también imagen. A esto se le llama videoconferencia.

2.2 Protocolo de *Internet* IP (*Internet Protocol*)

El Protocolo de *Internet* (IP, de sus siglas en inglés *Internet Protocol*) es un protocolo no orientado a conexión usado tanto por el origen como por el destino para la comunicación de datos a través de una red de paquetes conmutados.

El protocolo de IP es la base fundamental de la *Internet*, transporta datagramas de la fuente al destino. El nivel de transporte parte el flujo de datos en datagramas. Durante su transmisión se puede partir un datagrama en fragmentos que se montan de nuevo en el destino. Las principales características de este protocolo son:

- Protocolo no orientado a conexión.
- Fragmenta paquetes si es necesario.
- Direccionamiento mediante direcciones lógicas IP de 32 bits.
- Si un paquete no es recibido, este permanecerá en la red durante un tiempo finito.
- Realiza el "mejor esfuerzo" para la distribución de paquetes.
- Tamaño máximo del paquete de 65535 *bytes*.
- Sólo se realiza verificación por suma al encabezado del paquete, no a los datos éste que contiene.

El Protocolo *Internet* proporciona un servicio de distribución de paquetes de información orientado a no conexión de manera no fiable. La orientación a no conexión significa que los paquetes de información, que será emitido a la red, son tratados independientemente, pudiendo viajar por diferentes trayectorias para llegar a su destino. El término no fiable significa más que nada que no se garantiza la recepción del paquete.

La unidad de información intercambiada por IP es denominada datagrama. Tomando como analogía los marcos intercambiados por una red física los datagramas contienen un encabezado y un área de datos. IP no especifica el contenido del área de datos, ésta será utilizada arbitrariamente por el protocolo de transporte.

Un router envía los paquetes desde la red origen a la red destino utilizando el protocolo IP. Los paquetes deben incluir un identificador tanto para la red origen como para la red destino. Utilizando la dirección IP de una red destino, un Router puede enviar un paquete a la red correcta. Cuando un paquete llega a un Router conectado a la red destino, este utiliza la dirección IP para localizar el computador en particular conectado a la red.

2.2.1 Estructura de los Paquetes IP

Los campos de datagrama IP se muestran en la figura 9.

Figura 9. Estructura de un Datagrama IP

Bits 0 - 3	4 - 7	8 - 15	16 - 18	19 - 31
Versión	Longitud Encabezado IP (HLEN)	Tipo de servicio	Longitud Total	
Identificación		Banderas	Desplazamiento del fragmento	
Tiempo de vida	Protocolo	Verificación de encabezado		
Dirección de origen				
Dirección de destino				
Opciones (En caso de Existir)				
Datos				

Fuente: CCNA INTRO, Cisco Press. 2004, Wendell Odon

Los campos del datagrama IP que se muestran en la figura 9 se describen a continuación:

- El campo versión es de 4 bits y contiene la versión del protocolo IP que se utilizó para crear el datagrama.
- El campo HLEN es un campo de 4 bits, que proporciona la longitud del encabezado del datagrama medida en palabras de 32 bits. El encabezado común, que no contiene opciones ni rellenos, mide 20 bytes y tiene un campo de longitud igual a 5.
- El tipo de servicio es un campo de 8 bits que está subdividido en 5 campos, tres bits para especificar la prioridad del datagrama, los siguientes tres D, T y R especifican el tipo de transporte deseado para el datagrama, y los dos últimos no se utilizan.

- El campo longitud total proporciona la longitud del datagrama medido en *bytes*, incluyendo los *bytes* del encabezado y los datos.
- El campo identificación contiene un entero único para identificar el datagrama.
- Banderas es un campo de tres bits que controlan la fragmentación, el primer bit no se utiliza, y el segundo es llamado DF que quiere decir no fragmentación y el tercero MF que significa más fragmentos.
- El campo desplazamiento de fragmento especifica el desplazamiento en el datagrama original de los datos que se están acarreado en el fragmento.
- El campo tiempo de vida especifica la duración en segundos del tiempo que el datagrama tiene permitido permanecer en la red.
- El campo protocolo contiene un valor que especifica qué protocolo se utilizó para crear el mensaje que se está transportando en el área de datos.
- El campo verificación de encabezado asegura la integridad de los valores del encabezado.
- Los campos dirección IP fuente y dirección IP destino contienen la dirección IP del emisor y del receptor respectivamente.

- El campo OPCIONES se incluye en principio para pruebas de red o depuración.
- En el campo de datos se encapsulan los datagramas IP en forma física cuando son enviados por la red. En una red Ethernet, las tramas que transportan *datagramas* IP tienen un campo de tipo cuyo valor hexadecimal es 0800.

Dado que la longitud de la trama de la red se define con independencia del protocolo IP, mediante requisitos técnicos de la red física, un datagrama IP puede no ajustarse a una trama de red. Además, durante el camino que recorre hasta su destino, un datagrama puede pasar a través de diferentes tipos de redes con diferentes longitudes de trama de red. Por lo tanto, puede suceder que un router reciba datagramas IP demasiado extensos para reenviarlos a la siguiente red. Para solucionar este aspecto de la transmisión de paquetes, IP especifica un método para romper los datagramas en fragmentos, estos fragmentos vuelven a unirse cuando llegan a su destino final para reconstruir el datagrama por completo. El protocolo IP realiza también una clase de detección de error haciendo una validación del encabezado del paquete y verificando que la longitud del paquete coincida con el valor especificado en el encabezado, también asegura que el paquete no se encuentre indefinidamente ciclado en una red tratando de alcanzar su destino. Esto lo realiza decrementando un contador de tiempo de vida en el encabezado, cada vez que el paquete pasa por un router, y descarta el paquete una vez que este contador ha llegado a cero. El protocolo IP manda un paquete especial de error a la fuente cada vez que se detecta alguno de estos errores y lo hace por medio del protocolo ICMP.

El Protocolo de Mensajes de Control de *Internet* o ICMP (*Internet Control Message Protocol*) es el subprotocolo de control y notificación de errores del Protocolo de *Internet* (IP). Como tal, se usa para enviar mensajes de error,

indicando por ejemplo que un servicio determinado no está disponible o que un router o *host* no puede ser localizado.

2.2.2 Direcciones IP y Nombres de Dominio

Cada computadora que se conecta a Internet se identifica por medio de una dirección IP. Cada dirección IP consta de dos partes. Una parte identifica la red donde se conecta el sistema y la segunda identifica el sistema en particular de esa red. Cada octeto varía de 0 a 255. Cada uno de los octetos se divide en 256 subgrupos y éstos, a su vez, se dividen en otros 256 subgrupos con 256 direcciones cada uno. Al referirse a una dirección de grupo inmediatamente arriba de un grupo en la jerarquía, se puede hacer referencia a todos los grupos que se ramifican a partir de dicha dirección como si fueran una sola unidad.

Este tipo de direccionamiento recibe el nombre de direccionamiento jerárquico porque contiene diferentes niveles. Una dirección IP combina estos dos identificadores en un solo número. Este número debe ser un número exclusivo, porque las direcciones repetidas harían imposible el enrutamiento. La primera parte identifica la dirección de la red del sistema. La segunda parte, la parte del *host*, identifica qué máquina en particular de la red.

Esta distribución jerárquica de la red, permite enviar y recibir rápidamente paquetes de información entre dos computadoras conectadas en cualquier parte del mundo a Internet, y desde cualquier sub-red a la que pertenezcan.

Figura 10. Prefijos de clase de dirección

Clase A	Red		Host	
Octeto	1	2	3	4

Clase B	Red		Host	
Octeto	1	2	3	4

Clase C	Red			Host
Octeto	1	2	3	4

Clase D	Host			
Octeto	1	2	3	4

Fuente: CCNA INTRO, *Wendell Odon*, Cisco Press. 2004

Para adaptarse a redes de distintos tamaños y para ayudar a clasificarlas, las direcciones IP se dividen en grupos llamados clases. Esto se conoce como direccionamiento *classful*. Cada dirección IP completa de 32 bits se divide en la parte de la red y parte del *host*. Un bit o una secuencia de bits al inicio de cada dirección determinan su clase.

La dirección clase A se diseñó para admitir redes de tamaño extremadamente grande, de más de 16 millones de direcciones de *host* disponibles. Las direcciones IP clase A utilizan sólo el primer octeto para indicar la dirección de la red. Los tres octetos restantes son para las direcciones *host*.

El primer bit de la dirección clase A siempre es 0. Con dicho primer bit, que es un 0, el menor número que se puede representar es 00000000 (0 decimal). El valor más alto que se puede representar es 01111111 (127 decimal). Estos

números 0 y 127 quedan reservados y no se pueden utilizar como direcciones de red. Cualquier dirección que comience con un valor entre 1 y 126 en el primer octeto es una dirección clase A.

La red 127.0.0.0 se reserva para las pruebas de *loopback*. Los *routers* o las máquinas locales pueden utilizar esta dirección para enviar paquetes nuevamente hacia ellos mismos. Por lo tanto, no se puede asignar este número a una red.

La dirección clase B se diseñó para cumplir las necesidades de redes de tamaño moderado a grande. Una dirección IP clase B utiliza los primeros dos de los cuatro octetos para indicar la dirección de la red. Los dos octetos restantes especifican las direcciones del *host*.

Los primeros dos bits del primer octeto de la dirección clase B siempre son 10. Los seis bits restantes pueden poblarse con unos o ceros. Por lo tanto, el menor número que puede representarse en una dirección clase B es 10000000 (128 decimal). El número más alto que puede representarse es 10111111 (191 decimal). Cualquier dirección que comience con un valor entre 128 y 191 en el primer octeto es una dirección clase B.

El espacio de direccionamiento clase C es el que se utiliza más frecuentemente en las clases de direcciones originales. Este espacio de direccionamiento tiene el propósito de admitir redes pequeñas con un máximo de 254 *hosts*.

Una dirección clase C comienza con el binario 110. Por lo tanto, el menor número que puede representarse es 11000000 (192 decimal). El número más alto que puede representarse es 11011111 (223 decimal). Si una dirección

contiene un número entre 192 y 223 en el primer octeto, es una dirección de clase C.

La dirección clase D se creó para permitir *multicast* en una dirección IP. Una dirección *multicast* es una dirección exclusiva de red que dirige los paquetes con esa dirección destino hacia grupos predefinidos de direcciones IP. Por lo tanto, una sola estación puede transmitir de forma simultánea una sola corriente de datos a múltiples receptores.

El espacio de direccionamiento clase D, en forma similar a otros espacios de direccionamiento, se encuentra limitado matemáticamente. Los primeros cuatro bits de una dirección clase D deben ser 1110. Por lo tanto, el primer rango de octeto para las direcciones clase D es 11100000 a 11101111 (224 a 239 decimal). Una dirección IP que comienza con un valor entre 224 y 239 en el primer octeto es una dirección clase D.

Se ha definido una dirección clase E. Sin embargo, la Fuerza de Tareas de Ingeniería de *Internet* (IETF) ha reservado estas direcciones para su propia investigación. Por lo tanto, no se han emitido direcciones clase E para ser utilizadas en Internet. Los primeros cuatro bits de una dirección clase E siempre son 1's. Por lo tanto, el rango del primer octeto para las direcciones clase E es 11110000 a 11111111 (240 a 255 decimal).

La tabla I muestra el rango de las direcciones IP del primer octeto tanto en decimales como en binarios para cada clase de dirección IP.

Tabla I. Intervalos de direcciones IP

Clase de Dirección IP	Intervalo de Dirección IP
Clase A	1 – 126 (00000001 – 01111110)
Clase B	128 – 191 (10000000 – 10111111)
Clase C	192 – 223 (11000000 – 11011111)
Clase D	224 – 239 (11100000 – 11101111)
Clase E	240 – 255 (11110000 – 11110111)

Fuente: CCNA INTRO, *Wendell Odon*, Cisco Press. 2004

Un usuario de *Internet* no necesita conocer ninguna de estas direcciones IP. Las manejan las computadoras en sus comunicaciones por medio del Protocolo TCP/IP de manera invisible para el usuario. Sin embargo, necesitamos nombrar de alguna manera los ordenadores de *Internet*, para poder elegir a quien pedir información. Esto se logra por medio de los Nombres de dominio.

Los nombres de dominio son la traducción para las personas de las direcciones IP, las cuales son útiles sólo para las computadoras.

No todas las computadoras conectadas a *Internet* tienen un nombre de dominio. Sólo suelen tenerlo, las computadoras que reciben numerosas solicitudes de información, o sea, los servidores.

El número de palabras en el nombre de dominio no es fijo. Pueden ser dos, tres, cuatro, etc. Normalmente son sólo dos. La última palabra del nombre de dominio representa que tipo de organización posee la computadora a la que nos referimos:

- com Empresas (compañías).
- edu Instituciones de carácter educativo, mayormente universidades.
- org Organizaciones no gubernamentales.
- gob Entidades del gobierno.
- mil Instalaciones militares.

En el resto de los países, que se unieron a *Internet* posteriormente, se ha establecido otra nomenclatura. La última palabra indica el país:

- es España
- fr Francia
- uk Reino Unido (*United Kingdom*)
- it Italia
- gt Guatemala, etc.

Por lo tanto, con sólo ver la última palabra del nombre de dominio, podemos averiguar donde está localizada la computadora a la que nos referimos.

2.2.3 Conexión a la Red

Las computadoras domésticas acceden a Internet a través de la línea telefónica. Se puede aprovechar la línea que casi todos tienen en casa. Normalmente, esta línea telefónica tiene un conector en la pared, al que se suele enchufar el teléfono. Para poder enchufar la computadora a este conector debemos disponer de un módem, que viene con un cable de teléfono.

Este aparato sirve para que la computadora pueda comunicarse a través del teléfono con otras computadoras.

Con el fin de evitar enchufar y desenchufar el módem y el teléfono cada vez que se conecta a *Internet*, casi todos los módems tienen dos conectores: "*Phone*" y "*Line-In*". Se tiene que conectar el cable que viene con el módem al conector "*Line-In*" (entrada de la línea), y por el otro extremo, se conecta a la línea telefónica.

Así ya se tiene el módem conectado directamente a la línea telefónica. Para poder enchufar también el teléfono a la línea telefónica, se tiene el otro conector del módem, el de "*Phone*". Aquí se enchufa el cable del teléfono. De este modo, los dos estarán conectados a la misma línea telefónica. No es necesario que esté encendida la computadora para que funcione el teléfono. El único inconveniente de esta configuración es que cuando se llama por teléfono no podemos conectarnos a *Internet*, y cuando nos conectamos a la red, no se puede llamar por teléfono.

Puede que no nos interese conectar el teléfono a la computadora, por ejemplo en el caso en que tengamos la computadora en una habitación y el teléfono en otra. Para estos casos, se venden unos duplicadores de la línea telefónica, que funcionan como un enchufe múltiple. Se conectan en la salida de la línea telefónica. La computadora se enchufa en uno de los conectores y el teléfono en el otro.

En cualquiera de estas dos configuraciones, se puede usar el teléfono o el módem de la computadora sin necesidad de enchufar o desenchufar ningún cable. Ahora bien, lo que no se puede hacer en ninguna de las configuraciones es efectuar o recibir una llamada telefónica mientras se está conectado a *Internet*, puesto que es nuestra computadora quien está utilizando la línea de teléfono.

Para conectarse a *Internet* se necesitan cuatro cosas: una computadora, un módem, un programa que efectúe la llamada telefónica, y otro programa para navegar por la Red.

Con las nuevas tecnologías xDSL se puede tener acceso a *Internet*, y hacer llamadas telefónicas al mismo tiempo, gracias a las técnicas de multiplexación utilizadas por estas tecnologías. Además, hoy en día se hacen instalaciones de fibra óptica que hacen que las conexiones a *Internet* sean a altas velocidades y de una manera más dedicada.

2.3 El modelo OSI

A finales de la década de los setenta, la Organización Internacional para la Normalización (ISO) empezó a desarrollar un modelo conceptual para la conexión en red al que bautizó con el nombre de *Open Systems Interconnection Reference Model* o Modelo de Referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos. En los entornos de trabajo con redes se le conoce más comúnmente como el modelo OSI. En 1984, este modelo pasó a ser el estándar internacional para las comunicaciones en red al ofrecer un marco de trabajo conceptual que permitía explicar el modo en que los datos se desplazaban dentro de una red.

El modelo OSI divide en siete capas el proceso de transmisión de la información entre equipos informáticos, donde cada capa se encarga de ejecutar una determinada parte del proceso global. Este marco de trabajo estructurado en capas, aun siendo puramente conceptual, puede utilizarse para describir y explicar el conjunto de protocolos reales que se utilizan para la conexión de sistemas. Por ejemplo, TCP/IP y *Apple Talk* son dos de las pilas de protocolos que se utilizan en el mundo real para transmitir datos; los protocolos que, de hecho, sirven como capas o niveles dentro de un conjunto de

protocolos como TCP/IP pueden, por tanto, explicarse de acuerdo con su correlación con el modelo teórico de capas ó niveles de red que conforma OSI.

Las capas de protocolos no son más que una jerarquía de pequeños protocolos que trabajan juntos para llevar a cabo la transmisión de los datos de un nodo a otro de la red. Las capas de protocolos se asemejan mucho a las carreras de relevos, pero, en vez de pasarse un testigo, se transmiten paquetes de datos de un protocolo a otro hasta que éstos revisten la forma adecuada (una secuencia única de bits) para transmitirse por el entorno físico de la red.

El modelo OSI abarca una serie de eventos importantes que se producen durante la comunicación entre sistemas. Proporciona las normas básicas empíricas para una serie de procesos distintos de conexión en red:

- El modo en que los datos se traducen a un formato apropiado para la arquitectura de red que se está utilizando. Cuando se envía un mensaje de correo electrónico o un archivo a otra computadora, se está trabajando, en realidad, con una determinada aplicación, como un cliente de correo electrónico o un cliente FTP. Los datos que se transmiten utilizando dicha aplicación tienen que convertirse a un formato más genérico si van a viajar por la red hasta llegar a su destino.
- El modo en que las computadoras u otro tipo de dispositivos de la red se comunican. Cuando se envían datos desde una computadora, tiene que existir algún tipo de mecanismo que proporcione un canal de comunicación entre el remitente y el destinatario. Lo mismo que cuando se desea hablar por teléfono, para lo cual hay que descolgar el teléfono y marcar el número.

- El modo en que los datos se transmiten entre los distintos dispositivos y la forma en que se resuelve la secuenciación y comprobación de errores. Una vez establecida la sesión de comunicación entre dos computadoras, tiene que existir un conjunto de reglas que controlen la forma en que los datos van de una a otra.
- El modo en que el direccionamiento lógico de los paquetes pasa a convertirse en el direccionamiento físico que proporciona la red. Las redes informáticas utilizan esquemas de direccionamiento lógico, como direcciones IP. Por tanto, dichas direcciones lógicas tienen que convertirse en las direcciones reales de hardware que determinan las NIC instaladas en las distintas computadoras. La NIC no es más que la tarjeta de red que se conoce comúnmente (*Network Interface Card*).
- El modelo OSI ofrece los mecanismos y reglas que permiten resolver todas las cuestiones que acabamos de referir.

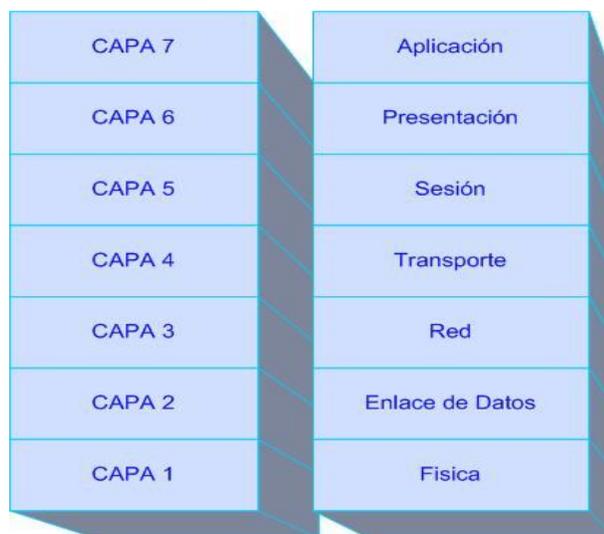
Comprender las distintas capas del modelo OSI no sólo permite internarse en los conjuntos de protocolos de red que actualmente se utilizan, sino que también proporciona un marco de trabajo conceptual del que puede servirse cualquiera para comprender el funcionamiento de dispositivos de red complejos, como conmutadores, puentes y *routers*.

2.3.1 Las capas del modelo OSI

En el modelo de referencia OSI, hay siete capas numeradas, cada una de las cuales ilustra una función de red específica. La división de la red en siete capas permite obtener las siguientes ventajas:

- Divide la comunicación de red en partes más pequeñas y fáciles de manejar.
- Normaliza los componentes de red para permitir el desarrollo y el soporte de los productos por diferentes fabricantes.
- Permite a los distintos tipos de hardware y software de red comunicarse entre sí.
- Evita que los cambios en una capa afecten las otras capas.
- Divide la comunicación de red en partes más pequeñas para simplificar el aprendizaje.

Figura 11. Modelo OSI



Capa física (capa 1)

Es la encargada de transmitir los bits de información por la línea o medio utilizado para la transmisión. Se ocupa de las propiedades físicas y características eléctricas de los diversos componentes, de la velocidad de transmisión, si esta es unidireccional o bidireccional (*simplex*, *duplex* o *full-*

duplex). También de aspectos mecánicos de las conexiones y terminales, incluyendo la interpretación de las señales eléctricas. Como resumen de los cometidos de esta capa, podemos decir que se encarga de transformar un paquete de información binaria en una sucesión de impulsos adecuados al medio físico utilizado en la transmisión. Estos impulsos pueden ser eléctricos (transmisión por cable), electromagnéticos (transmisión *Wireless*) ó luminosos (transmisión óptica). Cuando actúa en modo recepción el trabajo es inverso, se encarga de transformar estos impulsos en paquetes de datos binarios que serán entregados a la capa de enlace.

Capa de enlace de datos (capa 2)

Cuando los paquetes de datos llegan a la capa de enlace de datos, éstos pasan a ubicarse en tramas (unidades de datos), que vienen definidas por la arquitectura de red que se está utilizando (como *Ethernet, Token Ring, etc.*). La capa de enlace de datos se encarga de desplazar los datos por el enlace físico de comunicación hasta el nodo receptor, e identifica cada computadora incluida en la red de acuerdo con su dirección de hardware, que viene codificada en la NIC.

La información de encabezamiento se añade a cada trama que contenga las direcciones de envío y recepción. La capa de enlace de datos también se asegura de que las trama enviadas por el enlace físico se reciben sin error alguno. Por ello, los protocolos que operan en esta capa adjuntarán un Chequeo de Redundancia Cíclica (*Cyclical Redundancy Check* ó CRC) al final de cada trama. El CRC es básicamente un valor que se calcula tanto en la computadora emisora como en la receptora. Si los dos valores CRC coinciden, significa que la trama se recibió correcta e íntegramente, y no sufrió error alguno durante su transferencia. Una vez más, y tal y como dijimos

anteriormente, el tipo de trama que genera la capa de enlace de datos dependerá de la arquitectura de red que se esté utilizando, como *Ethernet*, *Token Ring* de IBM o FDDI.

Capa de red (capa 3)

La capa de red encamina los paquetes además de ocuparse de entregarlos. La determinación de la ruta que deben seguir los datos se produce en esta capa, lo mismo que el intercambio efectivo de los mismos dentro de dicha ruta. La capa 3 es donde las direcciones lógicas (como las direcciones IP de una computadora de red) pasan a convertirse en direcciones físicas (las direcciones de *hardware* de la NIC, la Tarjeta de Interfaz para Red, para esa computadora específica).

Los *routers* operan precisamente en la capa de red y utilizan los protocolos de encaminamiento de la capa tres para determinar la ruta que deben seguir los paquetes de datos.

Capa de transporte (capa 4)

La capa de transporte es la encargada de controlar el flujo de datos entre los nodos que establecen una comunicación; los datos no sólo deben entregarse sin errores, sino además en la secuencia que proceda. La capa de transporte se ocupa también de evaluar el tamaño de los paquetes con el fin de que éstos tengan el tamaño requerido por las capas inferiores del conjunto de protocolos. El tamaño de los paquetes lo dicta la arquitectura de red que se utilice.

La comunicación también se establece entre computadoras del mismo nivel (el emisor y el receptor); la aceptación por parte del nodo receptor se recibe

cuando el nodo emisor ha enviado el número acordado de paquetes. Por ejemplo, el nodo emisor puede enviar de un solo golpe tres paquetes al nodo receptor y después recibir la aceptación por parte del nodo receptor. El emisor puede entonces volver a enviar otros tres paquetes de datos de una sola vez.

Esta comunicación en la capa de transporte resulta muy útil cuando la computadora emisora manda demasiados datos a la computadora receptora. En este caso, el nodo receptor tomará todos los datos que pueda aceptar de una sola vez y pasará a enviar una señal de “ocupado” si se envían más datos. Una vez que la computadora receptora procesa los datos y esta lista para recibir más paquetes, enviará a la computadora emisora un mensaje para que envíe los restantes.

Capa de sesión (capa 5)

La capa de sesión es la encargada de establecer el enlace de comunicación o sesión entre las computadoras emisora y receptora. Esta capa también gestiona la sesión que se establece entre ambos nodos.

Una vez establecida la sesión entre los nodos participantes, la capa de sesión pasa a encargarse de ubicar puntos de control en la secuencia de datos. De esta forma, se proporciona cierta tolerancia a fallos dentro de la sesión de comunicación. Si una sesión falla y se pierde la comunicación entre los nodos, cuando después se restablezca la sesión sólo tendrán que volver a enviarse los datos situados detrás del último punto de control recibido.

Así se evita tener que enviar de nuevo todos los paquetes que incluía la sesión. Los protocolos que operan en la capa de sesión pueden proporcionar

dos tipos distintos de enfoques para que los datos vayan del emisor al receptor: la comunicación orientada a la conexión y la comunicación sin conexión.

Los protocolos orientados a la conexión que operan en la capa de sesión proporcionan un entorno donde las computadoras conectadas se ponen de acuerdo sobre los parámetros relativos a la creación de los puntos de control en los datos, mantienen un diálogo durante la transferencia de los mismos, y después terminan de forma simultánea la sesión de transferencia.

El funcionamiento de los protocolos sin conexión se parece más bien a un sistema de correo regular. Proporciona las direcciones pertinentes para el envío de los paquetes y éstos pasan a enviarse como si se echaran a un buzón de correos. Se supone que la dirección que incluyen permitirá que los paquetes lleguen a su destino, sin necesidad de un permiso previo de la computadora que va a recibirlos.

Capa de presentación (capa 6)

La capa de presentación puede considerarse el traductor del modelo OSI. Esta capa toma los paquetes (la creación del paquete para la transmisión de los datos por la red empieza en realidad en la capa de aplicación) de la capa de aplicación y los convierte a un formato genérico que pueden leer todas las computadoras. Por ejemplo, los datos escritos en caracteres ASCII se traducirán a un formato más básico y genérico.

La capa de presentación también se encarga de cifrar los datos (si así lo requiere la aplicación utilizada en la capa de aplicación) así como de comprimirlos para reducir su tamaño. El paquete que crea la capa de presentación contiene los datos prácticamente con el formato con el que

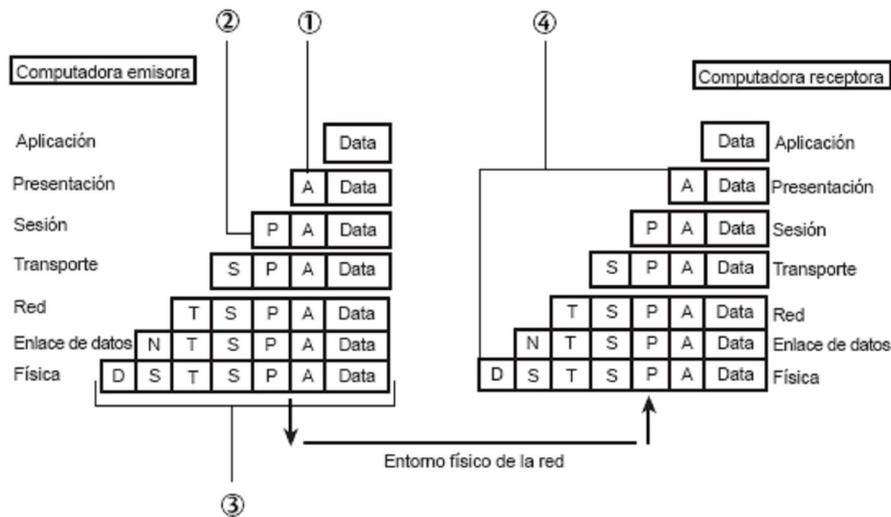
viajarán por las restantes capas del modelo OSI (aunque las capas siguientes irán añadiendo elementos al paquete, lo cual puede dividir los datos en paquetes más pequeños).

Capa de aplicación (capa 7)

La capa de aplicación proporciona la interfaz y servicios que soportan las aplicaciones de usuario. También se encarga de ofrecer acceso general a la red.

Esta capa suministra las herramientas que el usuario, de hecho, ve. También ofrece los servicios de red relacionados con estas aplicaciones de usuario, como la gestión de mensajes, la transferencia de archivos y las consultas a bases de datos. La capa de aplicación suministra cada uno de estos servicios a los distintos programas de aplicación con los que cuenta el usuario en su computadora. Entre los servicios de intercambio de información que gestiona la capa de aplicación se encuentran la Web, los servicios de correo electrónico (como el Protocolo Simple de Transferencia de correo, comúnmente conocido como SMTP —*Simple Mail Transfer Protocol*—incluido en TCP/IP), así como aplicaciones especiales de bases de datos cliente/servidor.

Figura 12. Los datos Bajan por la pila de la maquina emisora y suben por la pila de la maquina receptora



1. Encabezado de la capa de aplicación.
2. Encabezado de la capa de presentación.
3. Paquete con todos los encabezados de las capas OSI.
4. Los encabezados se van suprimiendo a medida que los datos suben por la capa OSI.

Fuente: CCNA INTRO, *Wendell Odon*, Cisco Press. 2004

Para que los datos puedan viajar desde el origen hasta su destino, cada capa del modelo OSI en el origen debe comunicarse con su capa par en el lugar destino. Esta forma de comunicación se conoce como de par-a-par. Durante este proceso, los protocolos de cada capa intercambian información, denominada unidades de datos de protocolo (PDU). Cada capa de comunicación en el computador origen se comunica con un PDU específico de capa, y con su capa par en el computador destino.

Los paquetes de datos de una red parten de un origen y se envían a un destino. Cada capa depende de la función de servicio de la capa OSI que se encuentra debajo de ella. Para brindar este servicio, la capa inferior utiliza el encapsulamiento para colocar la PDU de la capa superior en su campo de datos, luego le puede agregar cualquier encabezado e información final que la

capa necesite para ejecutar su función. Posteriormente, a medida que los datos se desplazan hacia abajo a través de las capas del modelo OSI, se agregan encabezados e información final adicionales. Después de que las capas 7, 6 y 5 han agregado su información, la capa 4 agrega más información. Este agrupamiento de datos, la PDU de la capa 4, se denomina segmento.

La capa de red presta un servicio a la capa de transporte y la capa de transporte presenta datos al subsistema de *internetwork*. La tarea de la capa de red consiste en trasladar esos datos a través de la *internetwork*; ejecuta esta tarea encapsulando los datos y agregando un encabezado, con lo que crea un paquete (la PDU de la capa 3). Este encabezado contiene la información necesaria para completar la transferencia, como, por ejemplo, las direcciones lógicas origen y destino.

La capa de enlace de datos suministra un servicio a la capa de red. Encapsula la información de la capa de red en una trama (la PDU de la capa 2). El encabezado de trama contiene la información (por ejemplo, las direcciones físicas) que se requiere para completar las funciones de enlace de datos. La capa de enlace de datos suministra un servicio a la capa de red encapsulando la información de la capa de red en una trama.

La capa física también suministra un servicio a la capa de enlace de datos. La capa física codifica los datos de la trama de enlace de datos en un patrón de unos y ceros (bits) para su transmisión a través del medio (generalmente un cable) en la capa 1.

2.4 El modelo TCP/IP

El estándar histórico y técnico de la *Internet* es el modelo TCP/IP. El Departamento de Defensa de Estados Unidos. (DoD) creó el modelo de referencia TCP/IP porque necesitaba diseñar una red que pudiera sobrevivir ante cualquier circunstancia. En un mundo conectado por diferentes tipos de medios de comunicación, como alambres de cobre, microondas, fibras ópticas y enlaces satelitales, el DoD quería que la transmisión de paquetes se realizara cada vez que se iniciaba y bajo cualquier circunstancia. Este difícil problema de diseño dio origen a la creación del modelo TCP/IP.

A diferencia de las tecnologías de *networking* propietarias mencionadas anteriormente, el TCP/IP se desarrolló como un estándar abierto. Esto significaba que cualquier persona podía usar el TCP/IP. Esto contribuyó a acelerar el desarrollo de TCP/IP como un estándar.

El modelo TCP/IP tiene las siguientes cuatro capas:

- Capa de aplicación
- Capa de transporte
- Capa de Internet
- Capa de acceso a la red

Aunque algunas de las capas del modelo TCP/IP tienen el mismo nombre que las capas del modelo OSI, las capas de ambos modelos no se corresponden de manera exacta. Lo más notable es que la capa de aplicación posee funciones diferentes en cada modelo.

Los diseñadores de TCP/IP sintieron que la capa de aplicación debía incluir los detalles de las capas de sesión y presentación OSI. Crearon una capa de aplicación que maneja aspectos de representación, codificación y control de diálogo.

La capa de transporte se encarga de los aspectos de calidad del servicio con respecto a la confiabilidad, el control de flujo y la corrección de errores. Uno de sus protocolos, el protocolo para el control de la transmisión (TCP), ofrece maneras flexibles y de alta calidad para crear comunicaciones de red confiables, sin problemas de flujo y con un nivel de error bajo.

TCP es un protocolo orientado a conexión, mantiene un diálogo entre el origen y el destino mientras empaqueta la información de la capa de aplicación en unidades denominadas segmentos. Orientado a conexión no significa que existe un circuito entre los computadores que se comunican. Significa que segmentos de la Capa 4 viajan de un lado a otro entre dos *host's* para comprobar que la conexión exista lógicamente para un determinado período.

El propósito de la capa Internet es dividir los segmentos TCP en paquetes y enviarlos desde cualquier red. Los paquetes llegan a la red de destino independientemente de la ruta que utilizaron para llegar allí. El protocolo específico que rige esta capa se denomina Protocolo *Internet* (IP). En esta capa se produce la determinación de la mejor ruta y la conmutación de paquetes.

La relación entre IP y TCP es importante. Se puede pensar en el IP como el que indica el camino a los paquetes, en tanto que el TCP brinda un transporte seguro.

El nombre de la capa de acceso de red es muy amplio y se presta a confusión. También se conoce como la capa de *host* a red. Esta capa guarda relación con todos los componentes, tanto físicos como lógicos, necesarios para lograr un enlace físico. Incluye los detalles de tecnología de *networking*, y todos los detalles de la capa física y de enlace de datos del modelo OSI.

Algunos de los protocolos de capa de aplicación más comúnmente usados incluyen los siguientes:

- Protocolo de transferencia de archivos (FTP)
- Protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP)
- Protocolo simple de transferencia de correo (SMTP)
- Sistema de denominación de dominios (DNS)
- Protocolo trivial de transferencia de archivos (TFTP)

Los protocolos de capa de transporte comunes incluyen:

- Protocolo para el control del transporte (TCP)
- Protocolo de datagrama de usuario (UDP)

El protocolo principal de la capa Internet es:

- Protocolo Internet (IP)

La capa de acceso de red se refiere a cualquier tecnología en particular utilizada en una red específica.

Independientemente de los servicios de aplicación de red que se brinden y del protocolo de transferencia que se utilice, existe un solo protocolo de

Internet, IP. Esta sirve como protocolo universal que permite que cualquier computador en cualquier parte del mundo pueda comunicarse en cualquier momento.

Comparando el modelo OSI con los modelos TCP/IP, surgen algunas similitudes y diferencias.

Las similitudes incluyen:

- Ambos se dividen en capas.
- Ambos tienen capas de aplicación, aunque incluyen servicios muy distintos.
- Ambos tienen capas de transporte y de red similares.
- Ambos modelos deben ser conocidos por los profesionales de *networking*.
- Ambos suponen que se conmutan paquetes. Esto significa que los paquetes individuales pueden usar rutas diferentes para llegar al mismo destino. Esto se contrasta con las redes conmutadas por circuito, en las que todos los paquetes toman la misma ruta.

Las diferencias incluyen:

- TCP/IP combina las funciones de la capa de presentación y de sesión en la capa de aplicación.
- TCP/IP combina la capa de enlace de datos y la capa física del modelo OSI en la capa de acceso de red.
- TCP/IP parece ser más simple porque tiene menos capas.
- Los protocolos TCP/IP son los estándares en torno a los cuales se desarrolló la *Internet*, de modo que la credibilidad del modelo TCP/IP se

debe en gran parte a sus protocolos. En comparación, por lo general las redes no se desarrollan a partir del protocolo OSI, aunque el modelo OSI se usa como guía.

Aunque los protocolos TCP/IP representan los estándares en base a los cuales se ha desarrollado la *Internet*, este currículum utiliza el modelo OSI por los siguientes motivos:

- Es un estándar genérico, independiente de los protocolos.
- Es más detallado, lo que hace que sea más útil para la enseñanza y el aprendizaje.
- Al ser más detallado, resulta de mayor utilidad para el diagnóstico de fallas.

Capa de acceso de red

Esta capa también se denomina capa de *host* a red. Es la capa que se ocupa de todos los aspectos que requiere un paquete IP para realizar realmente un enlace físico y luego realizar otro enlace físico. Esta capa incluye los detalles de tecnología LAN y WAN y todos los detalles de la capa física y de enlace de datos del modelo OSI

Capa de *Internet*

El propósito de la capa de *Internet* es enviar paquetes origen desde cualquier red en la red y que estos paquetes lleguen a su destino independientemente de la ruta y de las redes que recorrieron para llegar hasta allí. El protocolo específico que rige esta capa se denomina Protocolo *Internet* (IP). En esta capa se produce la determinación de la mejor ruta y la conmutación de paquetes. Esto se puede comparar con el sistema postal.

Cuando enviamos una carta por correo, no sabemos cómo llega a destino (existen varias rutas posibles); lo que nos interesa es que la carta llegue.

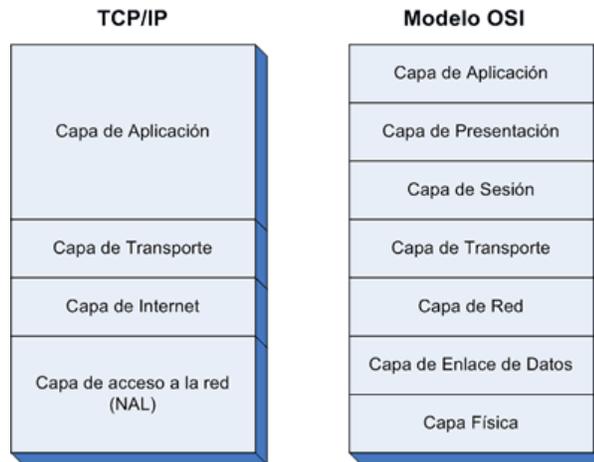
Capa de transporte

La capa de transporte se refiere a los aspectos de calidad del servicio con respecto a la fiabilidad, el control de flujo y la corrección de errores. Uno de sus protocolos, el protocolo para el control de la transmisión (TCP), ofrece maneras flexibles y de alta calidad para crear comunicaciones de red fiables, sin problemas de flujo y con un nivel de error bajo. TCP es un protocolo orientado a la conexión. Mantiene un diálogo entre el origen y el destino mientras empaqueta la información de la capa de aplicación en unidades denominadas segmentos.

Capa de aplicación

Los diseñadores de TCP/IP pensaron que los protocolos de nivel superior deberían incluir los detalles de las capas de sesión y presentación. Simplemente crearon una capa de aplicación que maneja protocolos de alto nivel, aspectos de representación, codificación y control de diálogo. El modelo TCP/IP combina todos los aspectos relacionados con las aplicaciones en una sola capa y garantiza que estos datos estén correctamente empaquetados para la siguiente capa. En la figura 13 se muestra la asociación de las capas del modelo OSI con el modelo TCP/IP.

Figura 13. Comparación del modelo TCP/IP con el modelo OSI



2.5 Tipos de redes.

¿Qué es una red? Existen varias definiciones acerca de que es una red, algunas de las cuales son:

- Conjunto de operaciones centralizadas o distribuidas, con el fin de compartir recursos "*hardware* y *software*" (entre estos recursos compartidos se tienen impresoras, *escaner's* o aplicaciones y bases de datos)
- Sistema de transmisión de datos que permite el intercambio de información entre computadoras (la información compartida puede ser desde un pequeño archivo, correo y bases de datos).
- Conjunto de nodos "computadoras" conectadas entre si, físicamente por medio de cables o inalámbricamente.

2.5.1 Clasificación de las redes

Redes PAN (red de administración personal) son redes pequeñas, las cuales están conformadas por no más de 8 equipos, por ejemplo: café Internet.

CAN: *Campus Area Network*, Red de Area Campus. Una CAN es una colección de LAN's dispersadas geográficamente dentro de un campus (universitario, oficinas de gobierno, maquilas o industrias) pertenecientes a una misma entidad en una área delimitada en kilómetros. Una CAN utiliza comúnmente tecnologías tales como FDDI y *Gigabit Ethernet* para conectividad a través de medios de comunicación tales como fibra óptica y espectro disperso.

Las redes LAN (*Local Area Network*, redes de área local) son las redes que todos conocemos, es decir, aquellas que se utilizan en nuestra empresa. Son redes pequeñas, entendiendo como pequeñas las redes de una oficina, de un edificio. Debido a sus limitadas dimensiones, son redes muy rápidas en las cuales cada estación se puede comunicar con el resto. Están restringidas en tamaño, lo cual significa que el tiempo de transmisión, en el peor de los casos, se conoce. Además, simplifica la administración de la red. Suelen emplear tecnología de difusión mediante un cable sencillo (coaxial ó UTP) al que están conectadas todas las máquinas. Operan a velocidades entre 10 y 100 Mbps.

Características principales:

- Los canales son propios de los usuarios o empresas.
- Los enlaces son líneas de alta velocidad.
- Las estaciones están cercas entre sí.
- Incrementan la eficiencia y productividad de los trabajos de oficinas al poder compartir información.
- Las tasas de error son menores que en las redes WAN.
- La arquitectura permite compartir recursos.

Las redes LAN muchas veces usan una tecnología de transmisión, dada por un simple cable, donde todas las computadoras están conectadas.

Las redes WAN (*Wide Area Network*, redes de área extensa) son redes punto a punto que interconectan países y continentes. Al tener que recorrer una gran distancia sus velocidades son menores que en las LAN aunque son capaces de transportar una mayor cantidad de datos. El alcance es una gran área geográfica, como por ejemplo: una ciudad o un continente. Está formada por una vasta cantidad de computadoras interconectadas (llamadas *host's*), por medio de subredes de comunicación o subredes pequeñas, con el fin de ejecutar aplicaciones, programas, etc.

Una red de área extensa WAN es un sistema de interconexión de equipos informáticos geográficamente dispersos, incluso en continentes distintos. Las líneas utilizadas para realizar esta interconexión suelen ser parte de las redes públicas de transmisión de datos.

Las redes LAN comúnmente, se conectan a redes WAN, con el objetivo de tener acceso a mejores servicios, como por ejemplo a *Internet*. Las redes WAN son mucho más complejas, porque deben enrutar correctamente toda la información proveniente de las redes conectadas a ésta.

Las redes MAN (*Metropolitan Area Network*, redes de área metropolitana), comprenden una ubicación geográfica determinada "ciudad, municipio", y su distancia de cobertura es mayor de 4 Kms. Son redes con dos buses unidireccionales, cada uno de ellos es independiente del otro en cuanto a la transferencia de datos. Es básicamente una gran versión de LAN y usa una tecnología similar. Puede cubrir un grupo de oficinas de una misma corporación

o ciudad, esta puede ser pública o privada. El mecanismo para la resolución de conflictos en la transmisión de datos que usan las MANs, es DQDB.

DQDB consiste en dos buses unidireccionales, en los cuales todas las estaciones están conectadas, cada bus tiene una cabecera y un fin. Cuando una computadora quiere transmitir a otra, si esta está ubicada a la izquierda usa el bus de arriba, caso contrario el de abajo.

Redes Punto a Punto. En una red punto a punto cada computadora puede actuar como cliente y como servidor. Las redes punto a punto hacen que el compartir datos y periféricos sea fácil para un pequeño grupo de gente. En un ambiente punto a punto, la seguridad es difícil, porque la administración no está centralizada.

2.5.2 Topologías de red

La topología de red define la estructura de una red. Una parte de la definición topológica es la topología física, que es la disposición real de los cables ó medios. La otra parte es la topología lógica, que define la forma en que los *host's* acceden a los medios para enviar datos. Las topologías físicas más comúnmente usadas son las siguientes:

- Una topología de bus usa un solo cable *backbone* que debe terminarse en ambos extremos. Todos los *host's* se conectan directamente a este *backbone*.
- La topología de anillo conecta un *host* con el siguiente y al último *host* con el primero. Esto crea un anillo físico de cable.
- La topología en estrella conecta todos los cables con un punto central de concentración.

- Una topología en estrella extendida conecta estrellas individuales entre sí mediante la conexión de *hubs* o *switches*. Esta topología puede extender el alcance y la cobertura de la red.
- Una topología jerárquica es similar a una estrella extendida. Pero en lugar de conectar los *hubs* o *switches* entre sí, el sistema se conecta con un computador que controla el tráfico de la topología.
- La topología de malla se implementa para proporcionar la mayor protección posible para evitar una interrupción del servicio. El uso de una topología de malla en los sistemas de control en red de una planta nuclear sería un ejemplo excelente. Cada *host* tiene sus propias conexiones con los demás *host's*. Aunque la *Internet* cuenta con múltiples rutas hacia cualquier ubicación, no adopta la topología de malla completa.

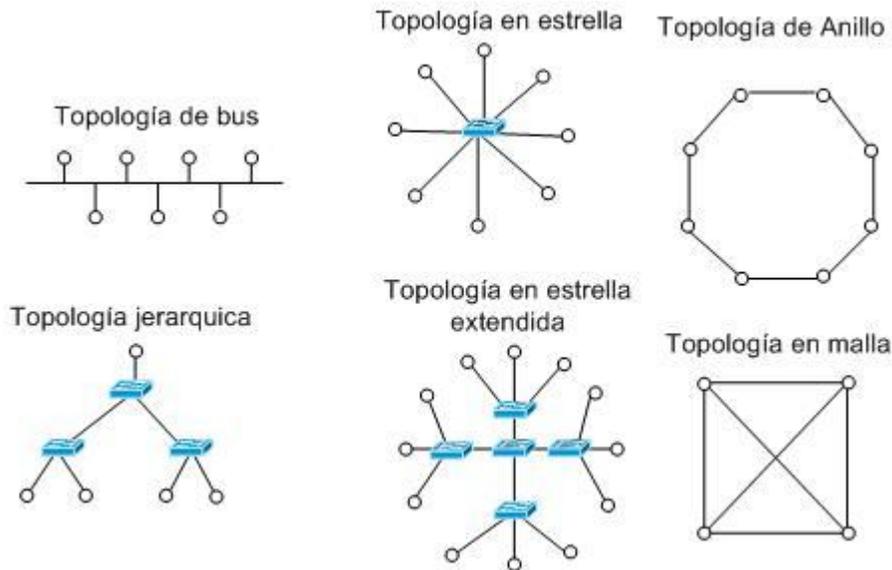
La topología lógica de una red es la forma en que los *host's* se comunican a través del medio. Los dos tipos más comunes de topologías lógicas son *broadcast* y transmisión de *tokens*.

La topología *broadcast* simplemente significa que cada *host* envía sus datos hacia todos los demás *hosts* del medio de red. No existe un orden que las estaciones deban seguir para utilizar la red. Es por orden de llegada.

La segunda topología lógica es la transmisión de *tokens*. La transmisión de *tokens* controla el acceso a la red mediante la transmisión de un *token* electrónico a cada *host* de forma secuencial. Cuando un *host* recibe el *token*, ese *host* puede enviar datos a través de la red. Si el *host* no tiene ningún dato para enviar, transmite el *token* al siguiente *host* y el proceso se vuelve a repetir. Dos ejemplos de redes que utilizan la transmisión de *tokens* son *Token Ring* y

la Interfaz de Datos Distribuida por Fibra (FDDI). *Arcnet* es una variación de *Token Ring* y FDDI, *Arcnet* es la transmisión de *tokens* en una topología de bus.

Figura 14. Topologías de red



Fuente: Programa de la academia de Cisco CCNA modulo 1

2.5.3 Ethernet

Ethernet ha sido la tecnología LAN de mayor éxito, en gran medida, debido a la simplicidad de su implementación, cuando se la compara con otras tecnologías, ha tenido éxito porque es una tecnología flexible que ha evolucionado para satisfacer las cambiantes necesidades y capacidades de los medios.

Las modificaciones a *ethernet* han resultado en significativos adelantos, desde la tecnología a 10 Mbps usada a principios e principios de los 80.

El estándar de *Ethernet* de 10 Mbps no sufrió casi ningún cambio hasta 1995 cuando el IEEE anunció un estándar para *Fast Ethernet* de 100 Mbps. En los últimos años, un crecimiento aún más rápido en la velocidad de los medios ha generado la transición de *Fast Ethernet* (*Ethernet Rápida*) a *Gigabit Ethernet* (*Ethernet* de 1 *Gigabit*). Una versión de *Ethernet* aún más rápida, *Ethernet* de 10 Gigabits (*10 Gigabit Ethernet*) se halla fácilmente en el mercado e inclusive, versiones más rápidas están en desarrollo.

En estas versiones más rápidas de *Ethernet*, el direccionamiento MAC, CSMA/CD y el formato de trama no han sufrido cambios respecto de versiones anteriores de *Ethernet*. Sin embargo, otros aspectos de la subcapa MAC, la capa física y el medio han cambiado. Las tarjetas de interfaz de red (NIC) con base de cobre capaces de operar a 10/100/1000 están ahora entre las más comunes. Los *switches* y los *routers* con puertos de Gigabit se están convirtiendo en el estándar para los armarios de cableado. El uso de la fibra óptica que admite Gigabit *Ethernet* se considera un estándar para el cableado *backbone* en la mayoría de las instalaciones nuevas.

Los enlaces de 10BASE-T generalmente consisten en una conexión entre la estación y un *hub* o *switch*. Los *hubs* son repetidores *multipuertos* y cuentan en el número límite de repetidores entre las estaciones lejanas. Los *hubs* no dividen los segmentos de la red en distintos dominios de colisión. Como los *hubs* o repetidores solamente extienden la longitud de una red dentro de un solo dominio de colisión, existe un límite respecto de cuántos *hubs* pueden ser utilizados en dicho segmento. Los puentes y los *switches* dividen un segmento en dominios de colisión individuales, dejando que las limitaciones de los medios determinen la distancia entre los *switches*. 10BASE-T limita la distancia entre los *switches* a 100 m (328 pies).

Aunque los *hubs* pueden estar enlazados, es recomendable evitar esta disposición. Esto contribuye a evitar que se exceda el límite de retardo máximo entre las estaciones lejanas. Cuando se requiera del uso de múltiples *hubs*, es recomendable organizarlos de forma jerárquica, para así crear una estructura en forma de árbol.

Los enlaces de 10BASE-T pueden tener distancias sin repetición de hasta 100 m. Aunque esta pueda parecer una distancia larga, por lo general se ve maximizada al cablear un edificio real. Los *hubs* pueden solucionar el problema de la distancia pero permiten que se propaguen las colisiones. La introducción difundida de los *switches* ha hecho que la limitación de la distancia resulte menos importante. Siempre que las estaciones de trabajo se encuentren dentro de unos 100 m de distancia del *switch*, esta distancia de 100 m comienza nuevamente a partir del *switch*.

Ethernet de 100-Mbps también se conoce como *Fast Ethernet* (*Ethernet* Rápida). Las dos tecnologías que han adquirido relevancia son 100BASE-TX, que es un medio UTP de cobre y 100BASE-FX, que es un medio multimodo de fibra óptica.

Tres características comunes a 100BASE-TX y a 100BASE-FX son los parámetros de temporización, el formato de trama y algunas partes del proceso de transmisión. Tanto 100BASE-TX como 100BASE-FX comparten los parámetros de temporización. Tenga en cuenta que un tiempo de bit a 100-Mbps = 10 nseg = 0.01 microsegundos = 1 100-millonésima parte de un segundo.

El formato de trama de 100 Mbps es el mismo que el de la trama de 10 Mbps.

Fast Ethernet representa un aumento de 10 veces en la velocidad respecto de 10BASE-T. Debido al aumento de velocidad, se debe tener mayor cuidado porque los bits enviados se acortan en duración y se producen con mayor frecuencia. Estas señales de frecuencia más alta son más susceptibles al ruido. Para responder a estos problemas, *Ethernet* de 100 Mbps utiliza dos distintos pasos de codificación. La primera parte de la codificación utiliza una técnica denominada 4B/5B, la segunda parte es la codificación real de la línea específica para el cobre o la fibra.

En 1995, 100BASE-TX con un cable UTP categoría 5 fue el estándar que se convirtió en un éxito comercial.

Ethernet coaxial original utilizaba transmisión en *half-duplex* de modo que sólo un dispositivo podía transmitir a la vez. Sin embargo, en 1997, *Ethernet* se expandió para incluir capacidad de *full duplex* permitiendo que más de un PC transmitiera al mismo tiempo en una red. Cada vez más, los *switches* reemplazaban los *hubs*. Estos *switches* tenían la capacidad de transmitir en *full duplex* y de manejar rápidamente las tramas de *Ethernet*.

100BASE-TX usa codificación 4B/5B, que luego es mezclada y convertida a 3 niveles de transmisión multinivel o MLT-3.

100BASE-TX transporta 100 Mbps de tráfico en modo *half-duplex*. En modo *full-duplex*, 100BASE-TX puede intercambiar 200 Mbps de tráfico. El concepto de *full duplex* se hace cada vez más importante a medida que aumentan las velocidades de *Ethernet*.

En el momento en que se introdujo *Fast Ethernet* con base de cobre, también se deseaba una versión en fibra. Una versión en fibra podría ser utilizada para aplicaciones con *backbon's*, conexiones entre distintos pisos y

edificios donde el cobre es menos aconsejable y también en entornos de gran ruido. Se introdujo 100BASE-FX para satisfacer esa necesidad. Sin embargo, nunca se adoptó con éxito la 100BASE-FX. Esto se debió a la oportuna introducción de los estándares de fibra y de cobre para *Gigabit Ethernet*. Los estándares para *Gigabit Ethernet* son, en estos momentos, la tecnología dominante en instalaciones de *backbone*, conexiones cruzadas de alta velocidad y necesidades generales de infraestructura.

La temporización, el formato de trama y la transmisión son todos comunes a ambas versiones de *Fast Ethernet* de 100 Mbps. 100BASE-FX también utiliza la codificación 4B/5B.

Los estándares para *Ethernet* de 1000-Mbps o *Gigabit Ethernet* representan la transmisión a través de medios ópticos y de cobre. El estándar para 1000BASE-X, IEEE 802.3z, especifica una conexión full *duplex* de 1 Gbps en fibra óptica. El estándar para 1000BASE-T, IEEE 802.3ab, especifica el uso de cable de cobre balanceado de Categoría 5, o mejor.

Las diferencias entre *Ethernet* estándar, *Fast Ethernet* y *Gigabit Ethernet* se encuentran en la capa física. Debido a las mayores velocidades de estos estándares recientes, la menor duración de los tiempos de bit requiere una consideración especial. Como los bits ingresan al medio por menor tiempo y con mayor frecuencia, es fundamental la temporización. Esta transmisión a alta velocidad requiere de frecuencias cercanas a las limitaciones de ancho de banda para los medios de cobre. Esto hace que los bits sean más susceptibles al ruido en los medios de cobre.

Estos problemas requieren que *Gigabit Ethernet* utilice dos distintos pasos de codificación. La transmisión de datos se realiza de manera más eficiente

utilizando códigos para representar el corriente binario de bits. Los datos codificados proporcionan sincronización, uso eficiente del ancho de banda y mejores características de la relación señal a ruido.

En la capa física, los patrones de bits a partir de la capa MAC se convierten en símbolos. Los símbolos también pueden ser información de control tal como trama de inicio, trama de fin, condiciones de inactividad del medio. La trama se codifica en símbolos de control y símbolos de datos para aumentar la tasa de transferencia de la red.

Gigabit Ethernet (1000BASE-X) con base de fibra utiliza una codificación 8B/10B que es similar a la del concepto 4B/5B. Entonces le sigue la simple codificación de línea Sin Retorno a Cero (NRZ) de la luz en la fibra óptica. Este proceso de codificación más sencillo es posible debido a que el medio de la fibra puede transportar señales de mayor ancho de banda.

2.6 Tecnologías WAN

A medida que una empresa crece y ocupa más de un sitio, es necesario interconectar las LAN de las sucursales para formar una red de área amplia (WAN).

En la actualidad existen muchas opciones para implementar soluciones WAN. Ellas difieren en tecnología, velocidad y costo.

Si todo el tráfico de información de una empresa se encuentra dentro de un mismo edificio, una LAN puede cubrir las necesidades de la organización. Los edificios pueden estar interconectados con enlaces de datos de alta velocidad para formar una LAN de campus, en el caso en que los datos tengan que pasar

de un edificio a otro en un solo campus. Sin embargo, se necesita una WAN para transportar los datos si es necesario transferirlos a lugares geográficamente distintos.

Una WAN es una red de comunicación de datos que opera más allá del alcance geográfico de una LAN. Una de las diferencias primordiales entre una WAN y una LAN es que una empresa u organización debe suscribirse a un proveedor de servicio WAN externo para utilizar los servicios de red de una operadora de servicios WAN. Una WAN utiliza enlaces de datos suministrados por los servicios de una operadora para acceder a Internet y conectar los sitios de una organización entre sí, con sitios de otras organizaciones, con servicios externos y con usuarios remotos. Las WAN generalmente transportan varios tipos de tráfico, tales como voz, datos y vídeo. Los servicios telefónicos y de datos son los servicios WAN de uso más generalizado.

Los dispositivos de las instalaciones del suscriptor se conocen como equipo terminal del abonado (CPE). El suscriptor es dueño de un CPE o alquila un CPE del proveedor de servicios. Un cable de cobre o fibra conecta el CPE a la central telefónica del proveedor de servicio más cercano. Este cableado muchas veces se llama bucle local, o última milla. Una llamada marcada se conecta de forma local a otros bucles locales o de forma no local a través de un troncal a un centro primario. Luego se dirige a un centro de sección y luego a un centro de operación internacional o regional a medida que la llamada viaja a su destino.

Para que el bucle local transporte datos, se necesita un dispositivo como un módem que prepare los datos para su transmisión. Los dispositivos que colocan los datos en el bucle local se llaman equipos de terminación de circuito de datos, o equipos de comunicación de datos (DCE). Los dispositivos del cliente

que transmiten datos al DCE se llaman equipo terminal de datos (DTE). El propósito principal del DCE es suministrar una interfaz para el DTE al enlace de comunicación en la nube WAN. La interfaz DTE/DCE utiliza varios protocolos de capa física, tales como la Interfaz serial de alta velocidad (HSSI) y V.35. Estos protocolos establecen los códigos y parámetros eléctricos que los dispositivos utilizan para comunicarse entre sí.

Los enlaces WAN vienen en varias velocidades medidos en bits por segundo (bps), kilobits por segundo (kbps o 1000 bps), megabits por segundo (Mbps o 1000 kbps) o gigabits por segundo (Gbps o 1000 Mbps) Los valores de bps por lo general son de full *duplex*. Esto significa que una línea E1 puede transportar 2 Mbps, o T1 puede transportar 1,5 Mbps en cada dirección de manera simultánea.

2.6.1 Dispositivos WAN

Las WAN son grupos de LAN conectadas con enlaces de comunicaciones desde un proveedor de servicios. Como los enlaces de comunicaciones no pueden conectarse directamente a la LAN, es necesario identificar las distintas piezas del equipo que realiza las interfaces.

Las computadoras basadas en LAN con datos a transmitir, envían datos a un *router* que contiene tanto interfaces LAN como WAN. El *router* utiliza información de dirección de Capa 3 para enviar los datos en la interfaz WAN apropiada. Los *routers* son dispositivos de red activos e inteligentes y por lo tanto pueden participar en la administración de una red. Los *routers* administran las redes suministrando un control dinámico sobre los recursos y dando soporte a las tareas y objetivos de las redes. Algunos de estos objetivos son: conectividad, desempeño confiable, control de administración y flexibilidad.

El enlace de comunicaciones necesita señales en un formato correcto. Para las líneas digitales, se requiere una unidad de servicio de canal (CSU) y una unidad de servicio de datos (DSU). Con frecuencia, las dos se encuentran combinadas en una sola pieza del equipo, llamada CSU/DSU. La CSU/DSU también puede integrarse a la tarjeta de interfaz del router.

Si el bucle local es analógico y no digital, requiere de un módem. Los módems transmiten datos a través de las líneas telefónicas de grado de voz, modulando y demodulando la señal. Las señales digitales se superponen en la señal analógica de la voz que se modula para su transmisión. Si se enciende el altavoz del módem interno, la señal modulada se oye como una serie de silbidos. En el destino, las señales analógicas se convierten a su forma digital de nuevo, o se demodulan.

Cuando se utiliza ISDN como el enlace de comunicaciones, todos los equipos conectados al bus ISDN tienen que ser compatibles con ISDN. La compatibilidad, en general, se integra a la interfaz de la computadora para conexiones de acceso telefónico directas o a la interfaz del router para conexiones LAN o WAN. Los equipos más antiguos sin interfaz ISDN requieren un adaptador de terminal ISDN (TA) para la compatibilidad con ISDN.

Los servidores de comunicaciones concentran la comunicación de usuarios de acceso telefónico entrante y de acceso remoto a una LAN. Pueden tener una mezcla de interfaces analógicas y digitales (ISDN) y admitir a cientos de usuarios al mismo tiempo.

Las WAN utilizan el modelo de referencia OSI, pero se enfocan principalmente en las Capas 1 y 2. Los estándares WAN, por lo general, describen tanto los métodos de envío de la capa física como los requisitos de la

capa de enlace de datos, incluyendo el direccionamiento físico, el control de flujo y el encapsulamiento. Hay varias autoridades reconocidas que definen y administran los estándares WAN.

Los protocolos de capa física describen cómo proporcionar las conexiones eléctricas, mecánicas, operativas y funcionales a los servicios brindados por un proveedor de servicios de comunicaciones.

Los protocolos de la capa de enlace de datos definen cómo se encapsulan los datos para su transmisión a lugares remotos, y los mecanismos de transferencia de las tramas resultantes. Se utiliza una variedad de tecnologías, tales como ISDN, *Frame Relay* o el Modo de Transferencia Asíncrona (ATM). Estos protocolos utilizan los mismos mecanismos de entramado, control de enlace de datos de alto nivel (HDLC), un estándar ISO o uno de sus subgrupos o variantes.

2.6.2 Encapsulamiento WAN

Los datos de la capa de red se envían a la capa de enlace de datos para su transmisión en un enlace físico, que normalmente es de punto a punto en una conexión WAN. La capa de enlace de datos crea una trama alrededor de los datos de capa de red de modo que se apliquen los controles y verificaciones necesarios. Cada tipo de conexión WAN utiliza un protocolo de capa 2 para encapsular el tráfico mientras atraviesa el enlace WAN. Para asegurarse de que se esté utilizando el protocolo de encapsulamiento correcto, se debe configurar el tipo de encapsulamiento de capa 2 utilizado en cada interfaz serial del router. El protocolo de encapsulamiento que se debe usar depende de la tecnología WAN y del equipo. La mayoría del entramado se basa en el estándar HDLC.

El entramado HDLC garantiza una entrega confiable de datos en líneas poco confiables e incluye mecanismos de señalización para el control de flujo y errores. La trama siempre comienza y termina con un campo de señaladores de 8 bits, con un patrón de bit de 01111110. Como existe la posibilidad de que este patrón ocurra en los datos mismos, el sistema de envío HDLC siempre inserta un bit 0 después de cada cinco 1's en el campo de datos, de modo que en la práctica la secuencia de señaladores sólo puede tener lugar en los extremos de la trama. El sistema receptor quita los bits insertados. Cuando las tramas se transmiten de forma consecutiva, el señalador del final de la primera trama se utiliza como señalador de inicio de la trama siguiente.

El campo de dirección no es necesario para los enlaces WAN, los cuales casi siempre son de punto a punto. El campo de dirección está aún presente y puede ser de uno a dos *bytes* de longitud. El campo de control indica el tipo de trama, que puede ser de información, de supervisión o sin enumerar.

- Las tramas sin enumerar transportan mensajes de configuración de la línea.
- Las tramas de información transportan datos de la capa de red.
- Las tramas de supervisión controlan el flujo de tramas de información y peticiones de retransmisión de datos si hubiera algún error.

El campo de control, por lo general, consta de un byte, pero en los sistemas de ventanas deslizantes extendidos, tendrá dos bytes. Juntos los campos de control y de dirección se denominan encabezado de la trama. El dato encapsulado sigue el campo de control. Entonces, una secuencia de verificación de trama (FCS) utiliza el mecanismo de verificación por redundancia cíclica (CRC) para establecer un campo de dos o cuatro bytes.

2.6.3 Conmutación de paquetes y circuitos

Las redes conmutadas por paquetes se desarrollaron para compensar el gasto de las redes conmutadas por circuitos públicas y suministrar una tecnología WAN más económica.

Cuando un suscriptor realiza una llamada telefónica, el número marcado se utiliza para establecer *switches* en las centrales a lo largo de la ruta de la llamada de modo que haya un circuito continuo entre quien hace la llamada y quien recibe la llamada. Debido a la operación de conmutación usada para establecer el circuito, el sistema telefónico se conoce como red conmutada por circuito. Si los módems reemplazan a los teléfonos, entonces el circuito conmutado puede transportar datos.

Varias conversaciones comparten la ruta interna que sigue el circuito entre los centrales. Se utiliza la multiplexión por división de tiempo (TDM) para dar a cada conversación una parte de la conexión por turno. TDM garantiza que una conexión de capacidad fija esté disponible al suscriptor.

Si el circuito transporta datos, es posible que el uso de esta capacidad fija no sea eficiente. Por ejemplo, si se utiliza el circuito para tener acceso a Internet, habrá "ráfagas" de actividad en el circuito mientras se transfiere una página Web. Entonces, es posible que le siga un período sin actividad mientras el usuario lee la página y luego otra ráfaga de actividad mientras se transfiere la página siguiente. Esta variación en el uso entre máximo y nada es típica del tráfico informático de red. Como el suscriptor tiene uso exclusivo de la capacidad fija asignada, los circuitos conmutados, en general, son una forma cara de transferir datos.

Una alternativa es asignar la capacidad al tráfico solo cuando es necesario y compartir la capacidad disponible entre varios usuarios. Con una conexión conmutada por circuito, los bits de datos puestos en el circuito se transmiten de forma automática al extremo más lejano porque el circuito ya está establecido. Si es necesario compartir el circuito, tiene que haber un mecanismo para rotular los bits de modo que el sistema sepa dónde transmitirlos. Es difícil rotular bits individuales, por lo tanto, se juntan en grupos llamados celdas, tramas o paquetes. Los paquetes se transfieren de central a central para su envío a través de la red del proveedor. Las redes que implementan este sistema se llaman redes conmutadas por paquetes.

Los enlaces que conectan estos *switches* en la red del proveedor pertenecen a un suscriptor individual durante la transferencia de datos, de modo que muchos suscriptores pueden compartir el enlace. Los costos pueden ser significativamente menores que en la conexión conmutada por circuitos. Los datos en redes conmutadas por paquetes están sujetos a demoras impredecibles cuando paquetes individuales esperan que los *switches* transmitan los paquetes de otros suscriptores.

Los *switches* de una red conmutada por paquetes determinan, según la información de direccionamiento en cada paquete, cuál es el siguiente enlace por el que se debe enviar el paquete. Hay dos maneras de determinar este enlace: orientada a conexión o sin conexión. Los sistemas sin conexión, tal como Internet, transmiten toda la información de direccionamiento en cada paquete. Cada *switch* debe evaluar la dirección para determinar dónde enviar el paquete. Los sistemas orientados a conexión predeterminan la ruta del paquete y cada paquete necesita llevar sólo un identificador. En el caso de *Frame Relay*, estos se denominan Identificadores de control de enlace de datos (DLCI). El *switch* determina la ruta a seguir buscando el identificador en las tablas que

tiene en su memoria. Este grupo de entradas en las tablas identifica una ruta o circuito particular a través del sistema. Si este circuito está físicamente disponible sólo mientras el paquete esté pasando por él, se llama Circuito Virtual (VC).

Las entradas de la tabla que constituyen el VC se pueden establecer enviando peticiones de conexión a través de la red. En este caso, el circuito resultante se llama Circuito Virtual Conmutado (SVC). Los datos a transmitir en un SVC deben esperar hasta que se hayan establecido las entradas de la tabla. Una vez establecido, el SVC puede permanecer en operación durante horas, días o semanas. Cuando se requiere que un circuito esté siempre disponible, se establece un Circuito virtual permanente (PVC). Los *switch* cargan las entradas de la tabla durante el arranque, de modo que el PVC está siempre disponible.

La conmutación de circuitos establece una conexión dedicada para voz y datos entre el emisor y el receptor. Antes de que comience la conmutación, es necesario establecer la conexión configurando los *switch*. El sistema telefónico lleva a cabo esta función, mediante el número marcado. ISDN se usa tanto en las líneas digitales como en las de grado de voz.

Para evitar las demoras asociadas con la configuración de una conexión, los proveedores de servicio telefónico también ofrecen circuitos permanentes. Estas líneas alquiladas o dedicadas ofrecen mayor ancho de banda que el disponible en los circuitos conmutados. Ejemplos de conexiones conmutadas por circuitos son:

- Sistema de servicio telefónico analógico (POTS)
- Interfaz de acceso básico ISDN (BRI)
- Interfaz de acceso primario ISDN (PRI)

Muchos usuarios WAN no utilizan de manera eficiente el ancho de banda fijo que está disponible para los circuitos dedicados, conmutados o permanentes porque el flujo de datos fluctúa. Los proveedores de comunicaciones cuentan con redes de datos, disponibles para brindar un mejor servicio a estos usuarios. En estas redes, los datos se transmiten en celdas rotuladas, tramas o paquetes a través de una red conmutada por paquetes. Como los enlaces internos entre los *switch* se comparten entre varios usuarios, los costos de la conmutación de paquetes son más bajos que aquellos de conmutación de circuitos. Los retardos (latencia) y la variación en los retardos (fluctuación de fase) son mayores en las redes conmutadas por paquetes que en las conmutadas por circuitos. Esto ocurre porque se comparten los enlaces y es necesario que un *switch* reciba todos los paquetes antes de seguir adelante. A pesar de la latencia y las fluctuaciones de fase inherentes a las redes compartidas, la tecnología moderna permite el transporte satisfactorio de las comunicaciones de voz y hasta video por estas redes.

Las redes conmutadas por paquetes pueden establecer rutas a través de los *switch* para realizar conexiones de extremo a extremo particulares. Las rutas establecidas cuando el *switch* comienza son PVC. Las rutas establecidas a petición son SVC. Si la ruta no está preestablecida y cada *switch* la determina para cada paquete, la red se conoce como sin conexión.

Para conectar una red conmutada por paquetes, el suscriptor necesita un bucle local a la ubicación más cercana donde el proveedor ofrece el servicio. Esto se llama punto de presencia (POP) del servicio. Por lo general ésta es una línea alquilada dedicada. Esta línea es más corta que una línea alquilada conectada directamente a las diferentes ubicaciones del suscriptor y muchas veces transporta VC. Como que es poco probable que todos los VC enfrenen la máxima demanda al mismo tiempo, la capacidad de una línea alquilada puede

ser menor a la de la suma de los VC individuales. Ejemplos de conexiones conmutadas por paquetes o celdas son:

- *Frame Relay*
- X.25
- ATM

2.6.3.1 Conexión telefónica analógica

Cuando se necesitan transferencias de datos de bajo volumen e intermitentes, los módems y las líneas telefónicas analógicas ofrecen conexiones conmutadas dedicadas y de baja capacidad.

La telefonía convencional utiliza cables de cobre, llamados bucle local, para conectar el equipo telefónico a las instalaciones del suscriptor a la red telefónica pública conmutada (PSTN). La señal en el bucle local durante una llamada es una señal electrónica en constante cambio, que es la traducción de la voz del suscriptor.

El bucle local no es adecuado para el transporte directo de datos informáticos binarios, pero el módem puede enviar datos de computador a través de la red telefónica de voz. El módem modula los datos binarios en una señal analógica en el origen y, en el destino, demodula la señal analógica a datos binarios.

Las características físicas del bucle local y su conexión a PSTN limitan la velocidad de la señal. El límite superior está cercano 33 kbps. Es posible aumentar la velocidad a 56 kbps si la señal viene directamente por una conexión digital.

Para las empresas pequeñas, esto puede resultar adecuado para el intercambio de cifras de ventas, precios, informes regulares y correo electrónico. Al usar el sistema de conexión automático de noche o durante los fines de semana para realizar grandes transferencias de archivos y copias de respaldo de datos, la empresa puede aprovecharse de las tarifas más bajas de las horas no pico (cargos por línea) Las tarifas se calculan según la distancia entre los extremos, la hora del día y la duración de la llamada.

Las ventajas del módem y las líneas analógicas son simplicidad, disponibilidad y bajo costo de implementación. Las desventajas son la baja velocidad en la transmisión de datos y el relativamente largo tiempo de conexión. Los circuitos dedicados que ofrece el sistema de conexión telefónica tendrán poco retardo y fluctuación de fase para el tráfico punto a punto, pero el tráfico de voz o video no funcionará de forma adecuada a las velocidades de bits relativamente bajas.

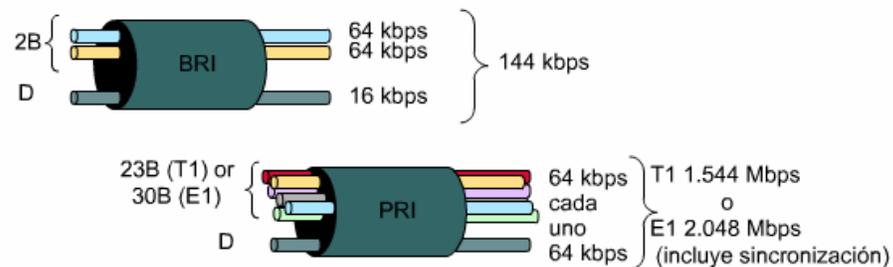
2.6.3.2 ISDN

Las conexiones internas o troncales de PSTN evolucionaron y pasaron de llevar señales de multiplexión por división de frecuencia, a llevar señales digitales de multiplexión por división de tiempo (TDM). El próximo paso evidente es permitir que el bucle local lleve las señales digitales que resultan en conexiones conmutadas de mayor capacidad.

La red digital de servicios integrados (ISDN) convierte el bucle local en una conexión digital TDM. La conexión utiliza canales portadores de 64 kbps (B) para transportar voz y datos, y una señal, canal delta (D), para la configuración de llamadas y otros propósitos.

La interfaz de acceso básico (BRI) ISDN está destinada al uso doméstico y a las pequeñas empresas y provee dos canales B de 64 kbps y un canal D de 16 kbps. Para las instalaciones más grandes, está disponible la interfaz de acceso principal (PRI) ISDN. En América del Norte, PRI ofrece veintitrés canales B de 64 kbps y un canal D de 64 kbps, para un total de velocidad de transmisión de hasta 1.544 Mbps. Esto incluye algo de carga adicional para la sincronización. En Europa, Australia, y otras partes del mundo, PRI ISDN ofrece treinta canales B y un canal D para un total de velocidad de transmisión de hasta 2,048 Mbps, incluyendo la carga de sincronización. En América del Norte, PRI corresponde a una conexión T1. La velocidad de PRI internacional corresponde a una conexión E1.

Figura 15. Canales ISDN



El canal D BRI no utiliza su potencial máximo, ya que tiene que controlar solamente dos canales B. Algunos proveedores permiten que los canales D transmitan datos a una velocidad de transmisión baja como las conexiones X.25 a 9,6 kbps.

Para las WAN pequeñas, ISDN BRI puede ofrecer un mecanismo de conexión ideal. BRI posee un tiempo de establecimiento de llamada que es menor a un segundo y su canal B de 64 kbps ofrece mayor capacidad que un enlace de módem analógico. Si se requiere una mayor capacidad, se puede

activar un segundo canal B para brindar un total de 128 kbps. Aunque no es adecuado para el video, esto permitiría la transmisión de varias conversaciones de voz simultáneas además del tráfico de datos.

Otra aplicación común de ISDN es la de ofrecer capacidad adicional según la necesidad en una conexión de línea alquilada. La línea alquilada tiene el tamaño para transportar el tráfico usual mientras que ISDN se agrega durante los períodos de demanda pico. ISDN también se utiliza como respaldo en caso de que falle la línea alquilada. Las tarifas de ISDN se calculan según cada canal B y son similares a las de las conexiones analógicas.

Con ISDN PRI, se pueden conectar varios canales B entre dos extremos. Esto permite que se realicen conferencias de video y conexiones de datos de banda ancha sin latencia ni fluctuación de fase. Las conexiones múltiples pueden resultar muy caras para cubrir grandes distancias.

2.6.3.3 *Frame Relay*

Con la creciente demanda de mayor ancho de banda y menor latencia en la conmutación de paquetes, los proveedores de comunicaciones introdujeron el *Frame Relay*. Aunque la configuración de la red parece similar a la de X.25, la velocidad de transmisión de datos disponible es por lo general de hasta 4 Mbps y algunos proveedores ofrecen aún mayores velocidades.

Frame Relay difiere de X.25 en muchos aspectos. El más importante es que es un protocolo mucho más sencillo que funciona a nivel de la capa de enlace de datos y no en la capa de red.

Frame Relay no realiza ningún control de errores o flujo. El resultado de la administración simplificada de las tramas es una reducción en la latencia, y las medidas tomadas para evitar la acumulación de tramas en los *switches* intermedios ayudan a reducir las fluctuaciones de fase.

La mayoría de las conexiones de *Frame Relay* son PVC y no SVC. La conexión al extremo de la red con frecuencia es una línea alquilada, pero algunos proveedores ofrecen conexiones telefónicas utilizando líneas ISDN. El canal D ISDN se utiliza para configurar una SVC en uno o más canales B. Las tarifas de *Frame Relay* se calculan con base en la capacidad del puerto de conexión al extremo de la red. Otros factores son la capacidad acordada y la velocidad de información suscripta (CIR) de los distintos PVC a través del puerto.

Frame Relay ofrece una conectividad permanente, compartida, de ancho de banda mediano, que envía tanto tráfico de voz como de datos. *Frame Relay* es ideal para conectar las LAN de una empresa. El *router* de la LAN necesita sólo una interfaz, aún cuando se estén usando varios VC. La línea alquilada corta que va al extremo de la red *Frame Relay* permite que las conexiones sean económicas entre LAN muy dispersas.

2.6.3.4 ATM

Los proveedores de comunicaciones vieron la necesidad de una tecnología de red compartida permanente que ofreciera muy poca latencia y fluctuación a anchos de banda mucho más altos. Su solución fue el Modo de Transferencia Asíncrona (ATM). ATM tiene una velocidad de transmisión de datos superior a los 155 Mbps. Al igual que las otras tecnologías compartidas, como X.25 y *Frame Relay*, los diagramas de las WAN ATM se ven igual.

La tecnología ATM es capaz de transferir voz, video y datos a través de redes privadas y públicas. Tiene una arquitectura basada en celdas más bien que una basada en tramas. Las celdas ATM tienen siempre una longitud fija de 53 *bytes*. La celda ATM de 53 *bytes* contiene un encabezado ATM de 5 *bytes* seguido de 48 bytes de carga ATM. Las celdas pequeñas de longitud fija son adecuadas para la transmisión de tráfico de voz y video porque este tráfico no tolera demoras. El tráfico de video y voz no tiene que esperar que se transmita un paquete de datos más grande.

La celda ATM de 53 *bytes* es menos eficiente que las tramas y paquetes más grandes de *Frame Relay* y X.25. Además, la celda ATM tiene un encabezado de por lo menos 5 bytes por cada 48-*bytes* de datos. Cuando la celda está transportando paquetes de capa de red segmentados, la carga general será mayor porque el *switch* ATM tiene que poder reagrupar los paquetes en el destino. Una línea ATM típica necesita casi un 20% más de ancho de banda que *Frame Relay* para transportar el mismo volumen de datos de capa de red.

ATM ofrece tanto los PVC como los SVC, aunque los PVC son más comunes en las WAN.

Como las otras tecnologías compartidas, ATM permite varios circuitos virtuales en una sola conexión de línea alquilada al extremo de red.

2.6.3.5 DSL

La tecnología de línea Digital del suscriptor (DSL) es una tecnología de banda ancha que utiliza líneas telefónicas de par trenzado para transportar datos de alto ancho de banda para dar servicio a los suscriptores. El servicio DSL se considera de banda ancha, en contraste con el servicio de banda base

típico de las LAN. Banda ancha se refiere a la técnica que utiliza varias frecuencias dentro del mismo medio físico para transmitir datos. El término xDSL se refiere a un número de formas similares, aunque en competencia, de tecnologías DSL:

- DSL Asimétrico (ADSL)
- DSL simétrico (SDSL)
- DSL de alta velocidad de bits (HDSL)
- ISDN (como) DSL (IDSL)
- DSL para consumidores (CDSL), también llamado DSL-lite o G.lite

La tecnología DSL permite que el proveedor de servicios ofrezca a los clientes servicios de red de alta velocidad, utilizando las líneas de cobre de bucle local instaladas. La tecnología DSL permite que la línea de bucle local se utilice para realizar conexiones telefónicas de voz normales y conexiones permanentes para tener conectividad de red al instante. Las líneas del suscriptor DSL múltiples se pueden multiplexar a un enlace de alta capacidad al usar el Multiplexor de acceso DSL (DSLAM) en el sitio del proveedor. Los DSLAM incorporan la tecnología TDM para juntar muchas líneas del suscriptor a un solo medio más pequeño, en general una conexión T3/DS3. Las tecnologías DSL están utilizando técnicas de codificación y modulación complejas para lograr velocidades de transmisión de datos de hasta 8.192 Mbps.

El canal de voz de un teléfono estándar cubre un rango de frecuencia de 330 Hz a 3.3 KHz. Un rango de frecuencia, o ventana, de 4 KHz se considera como requisito para cualquier transmisión de voz en un bucle local. Las tecnologías DSL cargan (*upstream*: corriente arriba) y descargan (*downstream*: corriente abajo) datos a frecuencias superiores a esta ventana de 4 KHz. Esta técnica es

lo que permite que la transmisión de voz y datos tenga lugar de modo simultáneo en un servicio DSL.

Existen dos tipos básicos de tecnología DSL: la asimétrica (ADSL) y la simétrica (SDSL). Todas las formas de servicio DSL se pueden clasificar como ADSL o SDSL y existen muchas variedades de cada tipo. El servicio asimétrico brinda mayor ancho de banda de descarga o *downstream* al usuario que el ancho de banda de carga. El servicio simétrico brinda la misma capacidad en ambas direcciones.

No todas las tecnologías DSL permiten el uso de un teléfono. SDSL se conoce como cobre seco porque no tiene un tono de llamada y no ofrece servicio telefónico en la misma línea. Por eso se necesita una línea separada para el servicio SDSL.

Los distintos tipos de DSL brindan diferentes anchos de banda, con capacidades que exceden aquellas de línea alquilada T1 o E1. La velocidad de transferencia depende de la longitud real del bucle local y del tipo y condición de su cableado. Para obtener un servicio satisfactorio, el bucle debe ser menor a 5.5 kilómetros. La disponibilidad de DSL está lejos de ser universal, y hay una gran variedad de tipos, y normas emergentes. No es una opción popular entre los departamentos de computación de las empresas para apoyar a las personas que trabajan en sus hogares. Por lo general, el suscriptor no puede optar por conectarse a la red de la empresa directamente, sino que primero tiene que conectarse a un proveedor de servicios de Internet (ISP). Desde allí, se realiza una conexión IP a través de Internet hasta la empresa. Así se corren riesgos de seguridad. Para tratar las cuestiones de seguridad, los servicios DSL ofrecen funciones para utilizar conexiones la Red privada virtual (VPN) a un servidor VPN, que por lo general se encuentra ubicado en la empresa.

2.7 Internet de banda ancha

Se conoce como banda ancha a la transmisión de datos en el cual se envían simultáneamente varias piezas de información, con el objeto de incrementar la velocidad de transmisión efectiva. En ingeniería de redes este término se utiliza también para los métodos en donde dos o más señales comparten un medio de transmisión. La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, por sus siglas en inglés) define al servicio de banda ancha como la transmisión de datos a una velocidad mayor de 200 kilobits por segundo (Kbps) o 200,000 bits por segundo, en por lo menos una dirección: transmisión de bajada (del Internet a su computadora) o de subida (de su computadora al Internet).

2.7.1 ¿Cómo funciona la banda ancha?

La banda ancha permite acceder a la información vía el Internet usando una de las varias tecnologías de transmisión de alta velocidad. La transmisión es digital, que significa que el texto, las imágenes y el sonido son todos transmitidos como “bits” de datos. Las tecnologías de transmisión que hacen posible el acceso a la banda ancha mueven estos “bits” mucho más rápido que las conexiones tradicionales de teléfono o inalámbricas, incluyendo el acceso tradicional a Internet mediante la marcación telefónica.

Una vez que tiene conexión de banda ancha en su casa o negocio, los dispositivos como las computadoras pueden anexarse esta conexión mediante los cables de conexión de la electricidad o teléfono, cable coaxial o inalámbricamente.

2.7.2 Ventajas de la banda ancha

La banda ancha permite aprovechar los servicios nuevos que no ofrece la conexión de Internet por marcación. Uno de ellos es el Protocolo de Voz por Internet (*VoIP*, por sus siglas en inglés), una alternativa al servicio telefónico tradicional que puede ser menos costoso dependiendo de sus patrones de llamadas. Algunos servicios de VoIP sólo le permiten llamar a otras personas que usen el mismo servicio, pero con otros puede llamar a cualquier persona que tenga un número de teléfono incluyendo números locales, de larga distancia, a celulares e internacionales.

La banda ancha permite nuevos desarrollos en telemedicina, como es el caso de pacientes en áreas rurales que pueden consultar en línea a especialistas médicos en más áreas urbanas.

La banda ancha también le ayuda a acceder y usar en forma eficiente muchas referencias y recursos culturales, como son las bases de datos de bibliotecas y museos, y colecciones. También le permite aprovechar las oportunidades de aprendizaje a distancia, como son cursos en línea de universidades y programas educativos y de educación continua para las personas de la tercera edad. La banda ancha es una herramienta importante para expandir las oportunidades educativas y económicas para los consumidores que se encuentran en lugares remotos.

Además de estos servicios nuevos, la banda ancha le permite usar los servicios existentes como comprar en línea y navegar por la red más rápida y eficientemente. Bajar y ver vídeos y fotos en su computadora es más rápido y fácil. También puede acceder a Internet sólo encendiendo su computadora sin tener que marcar a su Proveedor de Servicio de Internet (ISP, por sus siglas en

inglés) por la línea de teléfono, lo que le permite usar el Internet sin saturar su línea.

2.7.3 Tipos de conexiones de banda ancha

La banda ancha incluye varias tecnologías de transmisión de alta velocidad tales como:

- Línea Digital de Suscriptor (DSL)
- Cablemodem (Modem de Cable)
- Fibra óptica
- Conexión Inalámbrica
- Satélite
- Banda ancha por la línea eléctrica (BPL)

La tecnología de banda ancha que seleccione dependerá de una serie de factores, como del lugar donde se encuentre, ya sea en un área urbana o rural, cómo se ofrece el acceso a Internet de banda ancha junto con otros servicios (como teléfono de voz y entretenimiento de casa), precio y disponibilidad.

2.7.3.1 Línea Digital de Suscriptor (DSL)

La Línea Digital de Suscriptor (DSL, por sus siglas en inglés) es una tecnología de transmisión telefónica que transmite datos más rápido a través de las líneas telefónicas de cobre ya instaladas en casas y empresas. La banda ancha de DSL proporciona velocidades de transmisión que van desde varios cientos de kilobits por segundo (Kbps) hasta millones de bits por segundo (Mbps). La disponibilidad y velocidad de su servicio de DSL puede depender de

la distancia que hay entre su casa o negocio a las instalaciones más próximas de la compañía de teléfonos.

Algunos tipos de tecnologías de transmisión de la DSL son:

- *Línea digital asimétrica de suscriptor (ADSL, por sus siglas en inglés)* – es usada principalmente por usuarios en residencias que reciben una gran cantidad de datos pero no mandan muchos datos, como son las personas que navegan por Internet. La ADSL proporciona una velocidad más rápida en la transferencia de datos que bajan a la computadora del cliente que en la transferencia de datos que suben a la central telefónica. El ADSL permite una transmisión de datos de bajada más rápida a través de la misma línea que usa para proveer el servicio de voz, sin interrumpir las llamadas telefónicas regulares en esa línea.
- *Línea digital simétrica de suscriptor (SDSL, por sus siglas en inglés)* – se usa típicamente en los negocios para servicios tales como video conferencias que necesitan un ancho de banda importante para la transmisión de datos de subida y bajada.

Algunas formas más rápidas de DSL disponibles típicamente para empresas son:

- *Línea digital de suscriptor de alta velocidad (HDSL, por sus siglas en inglés)*; permite transferencia de información utilizando cables de pares tranzados, típicos en conexiones telefónicas. Los módems HDSL permiten el establecimiento por un par telefónico de un circuito digital unidireccional de 1,544 Mbps (T1) o 2,048 Mbps (E1), por lo que para la

comunicación bidireccional son necesarios dos pares, uno para cada sentido (subida y bajada).

- *Línea digital de suscriptor de muy alta velocidad* (VDSL, por sus siglas en inglés). Se trata de una evolución del ADSL, que puede suministrarse de manera asimétrica (52 Mbit/s de descarga y 12 Mbit/s de subida) o de manera simétrica (26 Mbit/s tanto en subida como en bajada), en condiciones ideales sin resistencia de los pares de cobre y con una distancia nula a la central.

La tecnología VDSL utiliza 4 canales para la transmisión de datos, dos para descarga y 2 para subida, con lo cual se aumenta la potencia de transmisión de manera sustancial.

Las aplicaciones para las que más está siendo usada la tecnología VDSL es para la transmisión de televisión de alta definición por red. VDSL es capaz de transmitir vídeo comprimido, una señal en tiempo real poco apta para los esquemas de retransmisión de error utilizados en las comunicaciones de datos. Para lograr tasas de error compatibles con el vídeo comprimido, VDSL habrá de incorporar Forward Error Correction (FEC) con el suficiente intercalado para corregir todos los errores creados por la aparición de ruidos impulsivos de una especificada duración.

2.7.3.2 Cablemódem

El servicio de cablemódem permite a los operadores de cable suministrar la banda ancha usando los mismos cables coaxiales que envían imágenes y sonidos a su televisor.

La mayoría de los cablemódem's son dispositivos externos que tienen dos conectores, uno en la salida de pared del cable y el otro en la computadora. La velocidad de transmisión de datos es de 1.5 Mbps o más.

Los suscriptores pueden tener acceso al servicio de cablemódem simplemente prentiendo sus computadores sin tener que marcar al proveedor del servicio de Internet (ISP, por sus siglas en inglés). Podrá ver la TV por cable y usar el Internet al mismo tiempo. Las velocidades de transmisión varían dependiendo del tipo de cablemódem, red del cable y carga de tráfico. Las velocidades son comparables con la DSL.

2.7.3.3 Fibra óptica

La fibra o fibra óptica es una tecnología muy nueva que proporciona servicio de banda ancha. La tecnología de fibra óptica convierte las señales eléctricas que llevan los datos en luz y envía la luz a través de fibras de vidrio transparentes con un diámetro cercano al del cabello humano. La fibra transmite los datos a velocidades muy superiores a las velocidades de la DSL o módem de cable actuales, típicamente en diez o cien veces más Mbps. Sin embargo, la velocidad real que experimenta variará dependiendo de diversos factores como qué tan cerca lleva su proveedor de servicio la fibra a su computadora y la forma como configura el servicio, incluyendo la cantidad de ancho de banda utilizada. La misma fibra que provee su banda ancha puede también simultáneamente suministrar servicios de telefonía por Internet (VoIP) y de vídeo, incluyendo vídeo según demanda.

2.7.3.4 Inalámbrica

La banda ancha inalámbrica conecta su casa o negocio a Internet usando un enlace de radio entre la localidad del cliente y las instalaciones del proveedor del servicio. La banda ancha inalámbrica puede ser móvil o fija.

Las tecnologías inalámbricas que usan equipo direccional con un rango mayor proveen el servicio de banda ancha en áreas remotas o muy poco pobladas donde el servicio de la DSL o del módem de cable sería muy costoso. Generalmente las velocidades son comparables a las de la DSL y el módem de cable, normalmente se requiere de una antena externa. Con los nuevos servicios que se han desplegado (*WiMax*), normalmente una antena pequeña dentro de la casa cerca de una ventana es adecuada, siendo posibles velocidades mayores.

Cada vez es más frecuente el servicio de banda ancha inalámbrica fija en aeropuertos, parques de la ciudad, bibliotecas y otros lugares públicos llamados "*hotspots*". Los "*hotspots*" usan generalmente una tecnología de rango corto con velocidades de transmisión de hasta 54 Mbps. La tecnología de fidelidad inalámbrica (*Wi-Fi*) se usa con frecuencia también en conjunto con el servicio de la DSL o módem de cable para conectar los dispositivos de una casa o negocio al Internet vía una conexión de banda ancha.

Los servicios de banda ancha inalámbrica móvil se pueden obtener también de compañías de telefonía móvil y otros. Estos servicios generalmente son adecuados para los clientes que tienen mucha movilidad y requieren una tarjeta especial para PC con una antena integrada que se conecta a la computadora portátil del usuario. Generalmente proveen velocidades menores de transmisión en el rango de varios cientos de Kbps.

2.7.3.5 Conexión vía satélite

Así como los satélites que giran alrededor de la tierra proveen los enlaces necesarios para los servicios de telefonía y televisión, también proveen enlaces para la banda ancha. La banda ancha por satélite es otra forma de banda ancha inalámbrica, muy útil también para dar servicio a áreas remotas o muy poco pobladas.

Las velocidades de transmisión de datos de subida y bajada para la banda ancha por satélite depende de varios factores, incluyendo el paquete de servicios que se compra y el proveedor, la línea de visibilidad directa del consumidor al satélite y el clima. Típicamente un consumidor puede esperar recibir (descargar) los datos a una velocidad de aproximadamente 500 Kbps y enviarlos (cargar) a una velocidad de aproximadamente 80 Kbps. Estas velocidades pueden ser menores que las que se tienen con la DSL o el cablemódem, pero la velocidad para descargar los datos es aproximadamente 10 veces más rápida que la velocidad que se tiene con el Internet de marcación telefónica. El servicio puede interrumpirse en condiciones climáticas severas.

El obtener banda ancha por satélite puede ser más costoso y trabajoso que el obtener el DSL o cablemódem. El usuario debe tener:

- un plato o estación base de dos o tres pies, que es el artículo más costoso;
- un módem para Internet por satélite; y
- a un línea de visión despejada hacia el satélite proveedor de la señal.

2.7.3.6 Banda ancha por la línea eléctrica (BPL)

La banda ancha por la línea eléctrica (BPL, por sus siglas en inglés) es el servicio que se proporciona a través de la red existente de distribución de energía eléctrica de bajo y medio voltaje. Las velocidades de transmisión de la BPL son comparables a las de la DSL y el módem de cable. La BPL puede llegar a las casas usando las conexiones y salidas eléctricas existentes.

La BPL es una tecnología emergente, actualmente disponible en áreas muy limitadas. Tiene un potencial significativo ya que las líneas eléctricas están instaladas virtualmente en todos lados, aliviando la necesidad de construir nuevas instalaciones de banda ancha para cada consumidor.

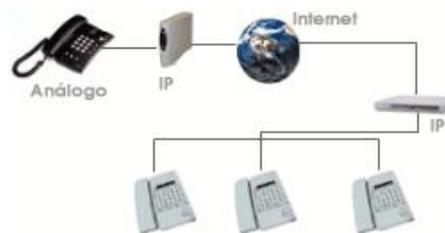
2.8 Voz sobre IP

La Voz sobre IP es la tecnología que permite la transmisión de fragmentos auditivos a través de Internet. Mientras la transmisión de datos e información ha sido hasta hoy en día la aplicación más prevaleciente en sistemas de información, el traslado de Voz sobre esta misma infraestructura ha generado grandes expectativas por el ahorro de recursos que ésta representa.

La tecnología telefónica utilizada en muchas regiones llamada *Circuit-Switched* implica la apertura de un canal digital permanente de punta a punta para establecerse la comunicación, mismo mecanismo que se traduce en un alto consumo de recursos, ya que una conversación no es llevada simultáneamente por ambas partes además de poseer una serie de silencios, ante estas deficiencias, nace la Voz sobre IP que tiene como su base la tecnología denominada *Packet Switched* en la que típicamente eran encapsulados datos para ser distribuidos a lo largo de un medio compartido.

La voz sobre IP es una tecnología de telefonía que puede ser habilitada a través de una red de datos de conmutación de paquetes, vía el protocolo IP (Protocolo de Internet). La ventaja real de esta tecnología es la transmisión de voz de forma gratuita, ya que viaja como datos.

Figura 16. Modelo de voz sobre IP



2.8.1 Elementos de la Voz sobre IP

El modelo de Voz sobre IP está formado por tres principales elementos:

- El cliente. Este elemento establece y termina las llamadas de voz. Codifica, empaqueta y transmite la información de salida generada por el micrófono del usuario. Asimismo, recibe, decodifica y reproduce la información de voz de entrada a través de los altavoces o audífonos del usuario. Cabe destacar que el elemento cliente se presenta en dos formas básicas: la primera es una suite de software corriendo en una PC que el usuario controla mediante una interfase gráfica (GUI); y la segunda puede ser un cliente "virtual" que reside en el gateway.
- Servidores. El segundo elemento de la voz sobre IP está basado en servidores, los cuales manejan un amplio rango de operaciones complejas de bases de datos, tanto en tiempo real como fuera de él.

Estas operaciones incluyen validación de usuarios, tasación, contabilidad, tarificación, recolección, distribución de utilidades, enrutamiento, administración general del servicio, carga de clientes, control del servicio, registro de usuarios y servicios de directorio entre otros.

- *Gateways*. El tercer elemento lo conforman los *gateways* de voz sobre IP, los cuales proporcionan un puente de comunicación entre los usuarios. La función principal de un *gateway* es proveer las interfases con la telefonía tradicional apropiada, funcionando como una plataforma para los clientes virtuales. Estos equipos también juegan un papel importante en la seguridad de acceso, la contabilidad, el control de calidad del servicio (*QoS; Quality of Service*) y en el mejoramiento del mismo.

2.8.2 Protocolos de voz sobre IP

Hoy en día, existen dos protocolos para transmitir voz sobre IP, ambos definen la manera en que dispositivos de este tipo deben establecer comunicación entre sí, además de incluir especificaciones para codecs de audio (codificador-decodificador) para convertir una señal auditiva a una digitalizada compresada y viceversa.

2.8.2.1 Protocolo H.323

El estándar H.323 proporciona la base para la transmisión de voz, datos y vídeo sobre redes no orientadas a conexión y que no ofrecen un grado de calidad del servicio, como son las basadas en IP, incluida Internet, de manera tal que las aplicaciones y productos conforme a ella puedan ínter operar, permitiendo la comunicación entre los usuarios sin necesidad de que éstos se preocupen por la compatibilidad de sus sistemas. La LAN sobre la que los

terminales H.323 se comunican puede ser un simple segmento o un anillo, o múltiples segmentos (es el caso de Internet) con una topología compleja, lo que puede resultar en un grado variable de rendimiento.

H.323 es la especificación, establecida por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) en 1996, que fija los estándares para la comunicación de voz y vídeo sobre redes de área local, con cualquier protocolo, que por su propia naturaleza presentan una gran latencia y no garantizan una determinada calidad del servicio (QoS). Para la conferencia de datos se apoya en la norma T.120, con lo que en conjunto soporta las aplicaciones multimedia. Los terminales y equipos conforme a H.323 pueden tratar voz en tiempo real, datos y vídeo, incluida videotelefonía.

El estándar contempla el control de la llamada, gestión de la información y ancho de banda para una comunicación punto a punto y multipunto, dentro de la LAN, así como define interfaces entre la LAN y otras redes externas, como puede ser la RDSI. Es una parte de una serie de especificaciones para videoconferencia sobre distintos tipos de redes, que incluyen desde la H.320 a la H.324, estas dos válidas para RDSI y RTC, respectivamente.

H.323 establece los estándares para la compresión y descompresión de audio y vídeo, asegurando que los equipos de distintos fabricantes se entiendan. Así, los usuarios no se tienen que preocupar de cómo el equipo receptor actúe, siempre y cuando cumpla este estándar. La gestión del ancho de banda disponible para evitar que la LAN se colapse con la comunicación de audio y vídeo, por ejemplo, limitando el número de conexiones simultáneas, también está contemplada en el estándar.

La norma H.323 hace uso de los procedimientos de señalización de los canales lógicos contenidos en la norma H.245, en los que el contenido de cada uno de los canales se define cuando se abre. Estos procedimientos se proporcionan para fijar las prestaciones del emisor y receptor, el establecimiento de la llamada, intercambio de información, terminación de la llamada y como se codifica y decodifica. Por ejemplo, cuando se origina una llamada telefónica sobre Internet, los dos terminales deben negociar cual de los dos ejerce el control, de manera tal que sólo uno de ellos origine los mensajes especiales de control. Una cuestión importante es, como se ha dicho, que se deben determinar las capacidades de los sistemas, de forma que no se permita la transmisión de datos si no pueden ser gestionados por el receptor.

Una característica de la telefonía sobre una LAN o Internet es que se permite la información de vídeo sobre la de audio (videoconferencia), que se formatea de acuerdo con el estándar H.261 o H.263, formando parte de la carga útil del paquete RTP; dado que se envían sólo los cambios entre cuadros resulta muy sensible a la pérdida de paquetes, lo que da origen a la distorsión de la imagen recibida.

2.8.2.2 Session Initiation Protocol (SIP)

El protocolo SIP (*Session Initiation Protocol*) fue desarrollado por el grupo MMUSIC (*Multimedia Session Control*) del IETF, definiendo una arquitectura de señalización y control para *VoIP*. Inicialmente fue publicado en febrero del 1996 en la RFC 2543, ahora obsoleta con la publicación de la nueva versión RFC 3261 que se publicó en junio del 2002.

El propósito de SIP es la comunicación entre dispositivos multimedia. SIP hace posible esta comunicación gracias a dos protocolos que son RTP/RTCP y SDP.

El protocolo RTP se usa para transportar los datos de voz en tiempo real (igual que para el protocolo H.323, mientras que el protocolo SDP se usa para la negociación de las capacidades de los participantes, tipo de codificación, etc.)

SIP fue diseñado de acuerdo al modelo de Internet. Es un protocolo de señalización extremo a extremo que implica que toda la lógica es almacenada en los dispositivos finales (salvo el rutado de los mensajes SIP). El estado de la conexión es también almacenado en los dispositivos finales. El precio a pagar por esta capacidad de distribución y su gran escalabilidad es una sobrecarga en la cabecera de los mensajes producto de tener que mandar toda la información entre los dispositivos finales.

SIP es un protocolo de señalización a nivel de aplicación para establecimiento y gestión de sesiones con múltiples participantes. Se basa en mensajes de petición y respuesta y reutiliza muchos conceptos de estándares anteriores como HTTP y SMTP.

3. TELEVISIÓN DIGITAL

La transmisión de señales de televisión analógica implica tener una forma de onda portadora que es modulada por la información de vídeo (y audio). Aunque la portadora es análoga, la información de vídeo puede ser analógica (televisión analógica) o digital (DTV). En la televisión analógica, la totalidad de la de señal vídeo se transmite en su forma original analógica. En DTV, la información de vídeo y audio se convierte primero en un formato digital compuesto de una serie de unos y ceros (bits). La serie de bits se utiliza para modular la señal análoga antes de realizar la difusión a través de una antena. En el lado receptor, la información de vídeo y el audio digitalizados se convierten de nuevo a sus formatos analógicos para ser vistos y escuchados por el usuario.

En la televisión analógica la radiodifusión de un gran volumen de información requiere de un gran ancho de banda, que esta entre 5 y 6 MHz. Para la radiodifusión de vídeo digital, un ancho de banda 10 o más veces mayor es necesario. Por este motivo, las técnicas de compresión de datos se utilizan para reducir el ancho de banda a proporciones manejables. De hecho, la compresión de datos es tan eficaz que más de un programa se hace pasar en el ancho de banda asignado a un solo canal analógico.

Esta es sólo una de las ventajas de la radiodifusión DTV. Aquí hay algunos más:

- Muy buena calidad de imagen.
- Mayor número de los programas antes mencionados
- Baja potencia de transmisión y reduce la interferencia de canal adyacente

- Baja relación señal-ruido
- No hay sombras en la imagen

3.1 Imágenes Digitales

La televisión es una serie de imágenes individuales, cada una está mostrada por alrededor de 1/30 de segundo. Asimismo, la televisión digital es una serie de imágenes digitales mostradas en secuencia.

Una imagen digital consiste en un gran número de puntos de luz de color llamados píxeles. Si se observa de cerca en cualquier pantalla digital como la de una computadora, o en una impresión digital, se puede ver que se compone de millones de pequeños cuadrados de colores. El concepto de píxeles es familiar a cualquiera que conozca una cámara digital: el número de píxeles que definen la resolución de las imágenes resultantes.

Las imágenes son en dos dimensiones y por lo tanto, requieren una matriz de píxeles organizados a lo largo de filas y columnas, o por una serie de líneas horizontales, cada una con el mismo número de píxeles por línea. El número y la densidad de píxeles están relacionados con la resolución de la imagen. Por ejemplo, una imagen podría consistir de 100,000 píxeles, dispuestos de forma horizontal de 250 líneas de 400 píxeles cada uno. El total de la resolución de la imagen es el producto del número de píxeles por línea y el número de líneas. Las cámaras digitales suelen producir imágenes digitales con millones de píxeles. Una pantalla la televisión digital estándar constará de 720 píxeles por línea, 480 líneas de un resultado de 345600 píxeles. En la televisión de alta definición (HDTV) se tienen pantallas de mayor resolución que consta de varios millones de píxeles. Sin embargo, la mayoría de las cámaras digitales tienen

una cantidad mayor de píxeles, lo que resulta en imágenes de mayor resolución.

Otro factor importante es la relación entre el número de píxeles horizontales por el número de píxeles verticales. Esta relación de aspecto define la forma rectangular de la imagen resultante. Una de las características de la TV de alta definición es el cambio en la relación de aspecto; de la forma de definición estándar de televisión de 4:3 a la de alta definición de 16:9. La mayor relación de aspecto proporciona imágenes con un ángulo de visión más amplio. Al aumentar el ángulo de visión la sensación que produce es que se parezca cada vez más la imagen a la proyectada en una sala de cine.

Algunos ejemplos de las imágenes digitales y su resolución se muestran en la tabla II.

Tabla II. Detalle de imágenes digitales.

Imagen Digital	Resolución Horizontal	Resolución Vertical	Numero de Píxeles	Relación de Aspecto
Televisión Estándar	720	480	345600	4:3
Televisión de Alta definición HDTV	1920	1080	2 Millones	16:9
Cámara Digital de 3 megapíxeles	2000	1500	3 Millones	4:3
Cámara Digital de 8 Megapíxeles	3264	2448	8 Millones	4:3

Fuente: IPTV Crash Course, **Joseph Weber**, McGraw Hill

3.1.1 Color

Por la manera en que el ojo humano trabaja, el color de un objeto puede ser completamente descrito por tres números. Por ejemplo, el color de un objeto puede describirse por tres números que representan la cantidad relativa de luz emitida por los colores rojo, verde, azul (RGB), o podría ser descrita por tres números que representan el brillo, el matiz de su color, Y la saturación relativa de ese tono (azul oscuro a azul claro, por ejemplo). En una imagen digital de color, cada píxel tiene tres números asociados al mismo, se utilizan múltiples maneras para representar estos números. Estas representaciones son llamadas espacios de color.

Al describir un píxel con la cantidad relativa de rojo, verde y azul, se utiliza el espacio de color RGB. Un píxel que se compone de un 100% de componente rojo, 0% de componente azul, 0% de componente verde es un píxel rojo puro, mientras que un píxel que se compone de un 100 por ciento de componente rojo, 100 por ciento de componente verde, 0 por ciento de componente azul; sería un píxel de color amarillo puro. Cualquier píxel con cantidades iguales de rojo verde y azul da como resultado un blanco o gris dependiendo de la luminosidad de los píxeles. Por ejemplo, el 100 por ciento de la combinación de rojo, verde, azul da un píxel de color blanco puro, mientras que el 50 porcentaje de cada color nos da un píxel de color gris.

El color utilizado en el espacio analógico y digital de señales de televisión es llamado espacio YUV, en la que el número de Y representa la relación de brillo o luminancia del píxel. La luminancia separa el brillo de los componentes de la componente de color. En el espacio RGB, el brillo de un píxel depende de las cantidades relativas de los tres componentes de color.

En el espacio YUV, el brillo es completamente descrito por el valor de Y, y los valores de U y V representan la información de color o crominancia, independientemente de su brillo. Curiosamente Y, U y V se pueden calcular a partir de la R, G, B, y los valores a través de este conjunto de ecuaciones:

$$Y = 0.587 X G + 0.114 X B + 0.299 X R$$

$$U = 0.493 X (B-Y)$$

$$V = 0.877 X (R-Y)$$

A partir de estas ecuaciones, se puede ver que dos valores crominancia U y V se encuentran presentes por la diferencia de luminancia Y de la cantidad de azul y rojo, respectivamente.

En una computadora o cámara digital, el hecho de que cada píxel está descrito por tres valores medios, tres números binarios son asignados a cada píxel. Esos números podrían ser almacenados como números de 8 bits cada uno, o incluso un mayor número de bits. Mientras más número de bits es asignado por píxel, más fina es la diferencia entre los valores y más colores pueden ser representados con precisión en la imagen. Las imágenes profesionales suelen asignar 8 bits por elemento de color, resultando en 24 bits por píxel lo que nos da más de 16 millones de colores posibles. El número de bits de información por píxel se le llama profundidad de color de la imagen digital. La información de color se puede almacenar en el espacio RGB, con 8 bits por color, y en la televisión digital en formato YUV con espacio con 8 bits por valor de luminancia y crominancia.

Teniendo en cuenta todos estos factores, se puede calcular el número de *bytes* que se necesita para representar una imagen digital completa. Este número es el tamaño de la imagen en bruto o sin comprimir. La cantidad de memoria necesaria para vídeo digital sin compresión es grande, debido a que una imagen digital se produce 30 veces por segundo. Por lo tanto, se utiliza la compresión para reducir significativamente el número de *bytes* requeridos para representar una secuencia de fotogramas digitales en las tramas de televisión digital.

La tabla III expande la tabla II y muestra la profundidad de color y el tamaño de la imagen en *bytes*.

Tabla III. Profundidad de color y Tamaño de la Imagen

Imagen Digital	Resolución Horizontal	Resolución Vertical	Número de Pixels	Relación de Aspecto	Profundidad de color	Bytes por imagen
Televisión Estándar (Una Trama)	720	480	345600	4:3	12 bits	518000
Televisión de Alta definición HDTV (una Sola Trama)	1920	1080	2 Millones	16:9	24 bits	6.2 millones
Cámara Digital de 3 Mega píxeles	2000	1500	3 Millones	4:3	24 bits	9 millones
Cámara Digital de 8 Mega píxeles	3264	2448	8 Millones	4:3	24 bits	24 millones
Televisión de Alta Definición HDTV (Un minuto)	1920x30x60	1080x30x60	3.7 Billones	16:9	24 bits	11.2 Billones (11 GB)

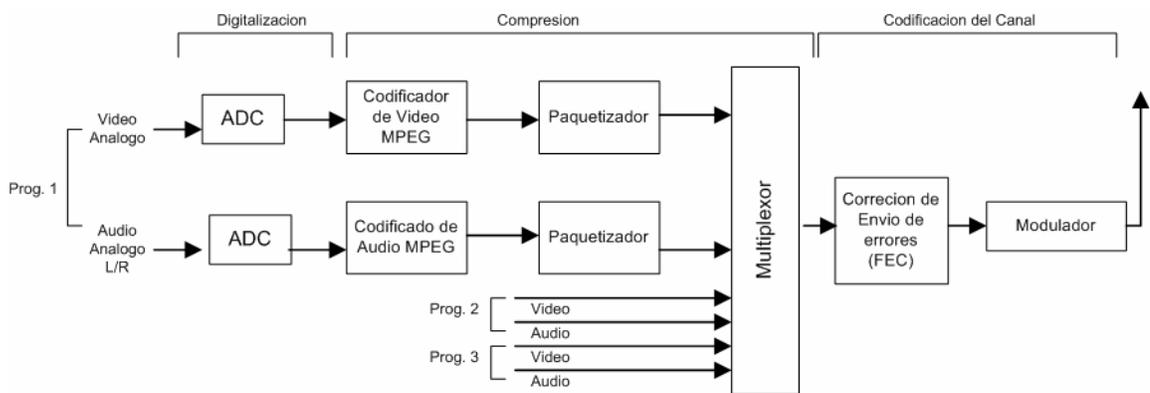
Fuente: IPTV Crash Course, **Joseph Weber**, McGraw Hill

3.1.2 Principios de Radiodifusión de Video Digital

La radiodifusión de señales de DTV implica tres pasos como se ilustra en la Figura 17:

1. Digitalización
2. Compresión
3. Codificación de canal

Figura 17. Sistema de radiodifusión de Televisión digital (DVB)



Fuente: IPTV Crash Course, **Joseph Weber**, McGraw Hill

La digitalización es el proceso de convertir el vídeo analógico y las señales de audio en una serie de bits utilizando un convertidor análogo a digital (ADC). Para reducir los requerimientos de ancho de banda, se hace uso de la compresión de datos, que se utiliza tanto para la información de vídeo como para la de audio. Esto es llevado a cabo por el codificador de video y audio MPEG que produce una serie de paquetes de audio y video conocido con el nombre de paquetización elemental de tramas (PES), cada paquete consta de 188 bytes.

Los paquetes pertenecientes a una serie de diferentes programas se introducen en un multiplexor para producir lo que se conoce como un flujo de transporte o *stream* de transporte (TS). Se agrega un procesador de corrección de errores de, el TS se utiliza para modular una portadora lista para la radiodifusión. La transmisión vía satélite DVB hace uso de las frecuencias entre 10700 y 12750MHz utilizando Modulación de Cambio de Frecuencia en Cuadratura (del inglés *Quadrature frequency shift keying*, QFSK), mientras que DVB terrestre se limita a la banda de frecuencias de UHF disponibles en la actualidad para la radiodifusión de televisión analógica con un ancho de banda de 8 MHz en Europa y en el 6MHz para América. Un multiplexor DVB puede acomodar entre 3 y 10 canales de TV diferentes en una sola frecuencia.

3.1.3 Ventajas de la televisión digital sobre la analógica

El mundo de hoy es un mundo digital. Los registros fotográficos y los álbumes musicales en cintas de *cassette* han sido sustituidos por los CD's y MP3, el cine basado en cámaras análogas ha sido eclipsado por las cámaras digitales, y más de 80 millones de hogares en el mundo reciben servicios de televisión digital. Las siguientes son algunas de las ventajas de la tecnología digital sobre las tecnologías analógicas:

- 1) **Más inmune al ruido en la transmisión.** Los medios de comunicación análogos utiliza la magnitud de la señal para transmitir información. Cuando esta señal se transmite por el aire o sobre un alambre, el ruido y otras formas de degradación de la señal puede adherirse a la señal, lo cual afecta la información que se esta transmitiendo. Con las señales digitales, sólo 1's o 0's son transmitidos por el canal de comunicación. Pequeñas deformaciones de la señal no afectan a la capacidad de leer los bits en el lado receptor. Se necesita mucho más para afectar o llegar a la

degradación de una señal digital que una analógica. Con este tipo de transmisión se desaparece de la televisión las sombras y la nieve, que se da con la televisión analógica, además se tiene una mejor respuesta en la recepción de la señal.

- 2) **No muestra degradación en las copias.** Realizar copias de las señales analógicas por lo general resulta en una copia que es de menor calidad que el original. Alguna señal siempre se pierde en el proceso de copiado. Dado que las señales digitales son sólo una serie de 1's y 0's es menos afectada por la degradación de la señal, por lo tanto es posible hacer copias que son exactamente iguales a la original. Esto hace que sea más fácil de producir masivamente copias, algo que es a la vez un auge y ruina a los creadores de contenido, ya que con una sola copia sin protección o no codificada puede ser compartida entre millones de personas.
- 3) **Largo tiempo de vida.** Relacionadas con la relativa inmunidad al ruido, los medios digitales pueden durar más tiempo en los archivos que los medios de comunicación analógica normal debido a que la degradación que se produce prediciéndola a tiempo afectará a una señal digital menos que una analógica.
- 4) **Puede ser comprimido digitalmente.** Los medios digitales de señal puede ser comprimidos antes de ser almacenados o transmitidos. Las técnicas de compresión eliminan los datos repetidos en la señal y, por lo tanto, tienen menos peso que sus partes similares en formato analógico. Hoy en día cerca de diez señales de televisión digital se puede transmitir en el mismo canal y ocupar el mismo ancho de banda que una sola señal analógica.

- 5) **Servicios adicionales de datos se pueden agregar.** Es más fácil de agregar datos de los medios de comunicación; en los medios digitales que en los analógicos. Por ejemplo, el etiquetado de una cinta de vídeo analógica, contiene mecánicamente escrito en la cinta o en algunos espacios la información del vídeo. Con un archivo digital, se puede editar fácilmente y modificar los bits de información adicional esto es conocido como metadatos.

- 6) **Es más fácil de editar.** Con una señal digital es más fácil sumar, restar, modificar contenido. La creación de una mezcla de cinta de canciones favoritas es, sin duda, más fácil con una computadora de lo que fue con una cinta magnética o secuencia fotográfica.

3.2 Digitalización de la imagen de TV

Después de más de 50 años de televisión analógica, la tecnología digital ha llegado a la etapa donde es económicamente factible para trabajar con señales de televisión digital. Sin embargo, debido a que una gran cantidad de los equipos actuales de producción, el contenido grabado, y los consumidores son los televisores basados en el estándar NTSC analógico, el proceso de conversión entre analógico y digital de señales de televisión es importante. También es útil para examinar este proceso de comprender algunos de los principios de IPTV.

El proceso de convertir las señales de televisión analógica a digital es lo que se conoce como digitalización. La digitalización de la señal de vídeo NTSC produce una serie de bits digitales, en el orden de cientos de millones de bits por segundo. Esta trama de bits es el equivalente digital de la forma de onda NTSC.

La digitalización de una imagen se hace mediante el muestreo del contenido de cada cuadro, línea por línea. Con el fin de mantener la calidad de la imagen, debe tenerse por lo menos el mismo número de muestras por línea, ya que estas nos dan los píxeles, con cada muestra se representa un píxel. En DTV, el cuadro es una matriz de píxeles: colocados de forma horizontal y vertical. El número total de píxeles es el producto de píxeles horizontales (píxeles/líneas) por píxeles verticales (numero de líneas). El número de píxeles dependerá del formato utilizado.

Como sabemos, la norma de televisión PAL utiliza 625 líneas de las cuales 576 son activas; las cuales son utilizadas para transportar la información de vídeo. El estándar NTSC y utiliza 525 líneas con 480 líneas activas, SDTV tiene como estándar 720 píxeles por línea, con esto podemos calcular el número total de píxeles por imagen para cada estándar analógico:

$$576 \times 720 = 414720 \text{ píxeles (PAL) y}$$

$$480 \times 720 = 345600 \text{ píxeles (NTSC)}$$

Por lo tanto, cada línea de barrido tiene que ser representada por 720 muestras, y cada muestra representa un píxel. La muestra 1 representa el píxel 1, la muestra 2 representa el píxel 2, etc. El proceso se repite en la segunda línea, y así sucesivamente hasta el final del cuadro y luego se repite todo de nuevo para el próximo cuadro.

Para asegurarse de que las muestras se toman exactamente en el mismo punto del cuadro, la frecuencia de muestreo debe ser establecida en un múltiplo de la frecuencia de línea 15.625 Khz. para PAL y 15.734 Khz. para NTSC.

Por esta razón, la tasa de muestreo debe ser divisible en su totalidad por la frecuencia de las líneas.

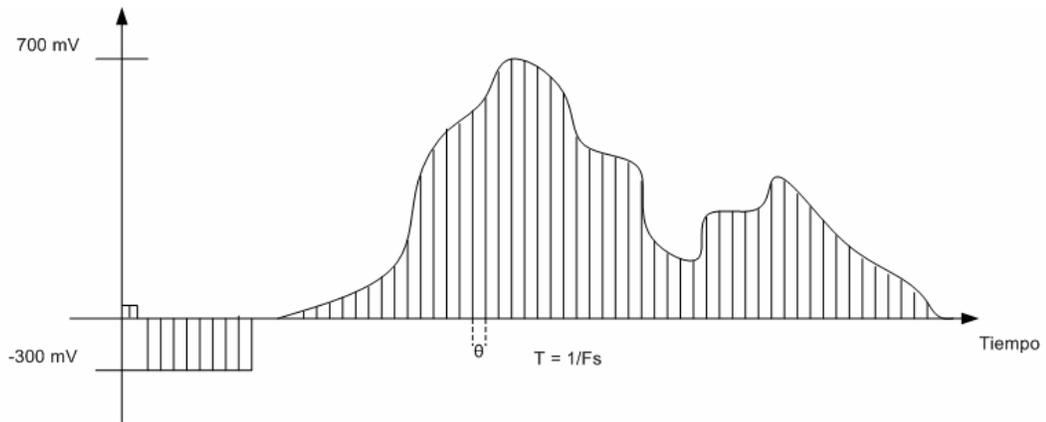
3.2.1 Muestreo y cuantización

Más y más contenido de video es capturado en formato digital el cual ya no es necesario someterlo al proceso de digitalización. Sin embargo, puede que resulte útil revisar el proceso de digitalización para ayudarle a entender las señales de televisión digital. Dado que la gran mayoría del contenido de la televisión y del cine todavía está en forma analógica, la mayoría de las transmisiones de televisión digital hacen uso de contenido analógico el cual es entregado como una señal digital.

Dos importantes parámetros determinan la manera en que la señal analógica es convertida en una señal digital: la velocidad de muestreo y la cuantización. Para los medios de comunicación analógicos, como la música y el vídeo, la calidad resultante de la señal cuando se convierta de nuevo en una señal analógica depende de la elección de estos parámetros.

La velocidad de muestreo es el número de muestras discretas de la señal analógica tomadas por segundo. La figura 18 muestra una sola línea de la señal analógica NTSC muestreada cada T milisegundos. T es el período de muestreo. La frecuencia de muestreo es igual a $1/T$, y se mide en unidades de Hertz. El valor de la señal analógica se mide sólo en el punto de muestreo. Cualquier cambio en la señal entre el los puntos de muestreo se pierde.

Figura 18. El proceso de muestreo toma el valor de una señal continua en puntos discretos de tiempo.



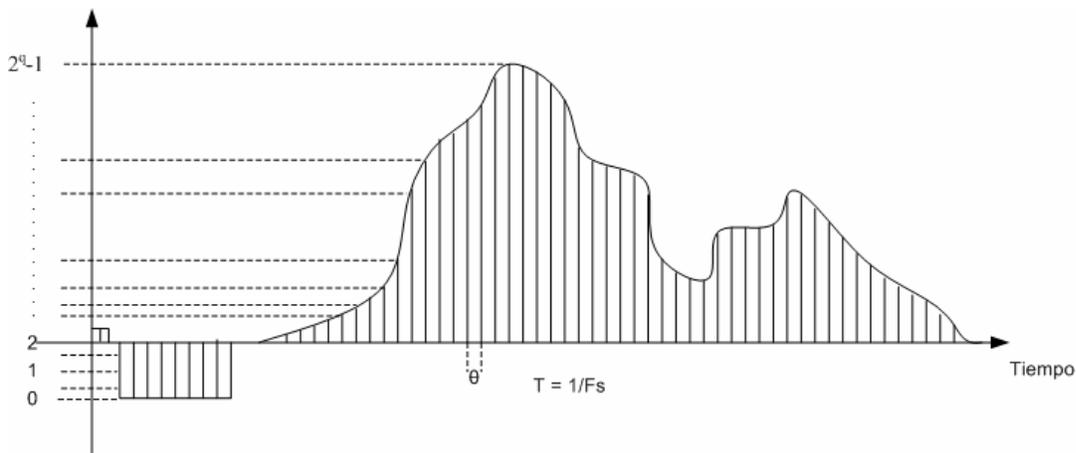
Fuente: *Televisión and Video Technology*, K. F. Ibrahim, Oxford

La elección de la frecuencia de la señal de muestreo depende del ancho de banda de la señal analógica. Esta frecuencia es calculada por medio de El teorema de muestreo conocido también como teorema de *Nyquist*, que establece que es posible capturar toda la información contenida en la señal si se utiliza una frecuencia de muestreo del doble o mayor que la frecuencia más elevada contenida en la señal. Como el ancho de banda de la señal NTSC esta limitado a 6 MHz antes de la transmisión. La frecuencia de muestreo de *Nyquist* sería entonces 12 MHz. Por razones técnicas, la tasa de muestreo para digitalizar señales analógicas NTSC es, en realidad, $F = 13.5$ Mhz.

La segunda parte del proceso de digitalización es el proceso de cuantización de las muestras de señal. La cuantización determina el número de bits de información asignados a cada muestra de la señal analógica. Una señal analógica en teoría es continua y, por lo tanto, podría asumir cualquier valor posible en su área de distribución. El proceso de cuantización limita el rango de valores posibles. En el sistema binario el rango de valores es siempre múltiplo de 2. La señal continua se iguala al valor del entero más cercano en el rango de

0 a $2^q - 1$, donde q es el número de bits por muestra. Figura 19 se muestra la cuantización la muestra de una señal NTSC.

Figura 19. Los niveles de cuantización reducen los posibles valores de señal continua a valores finitos entre 0 y $2^q - 1$ donde q es número de bits por muestra.



Fuente: *Televisión and Video Technology*, K. F. Ibrahim, Oxford

Como se puede ver en la figura 19, el proceso de digitalización de las muestras de la señal analógica continua, se toman en un sólo estado discreto de puntos en el tiempo y la magnitud cuantizada esta sólo es un conjunto finito de valores posibles. El proceso de cuantización elimina algunos valores de fidelidad de la señal analógica original, ya que limita el número posible a 2^q valores. Algunos matices de la señal original continua talvez se pierdan en el proceso. Para la mayoría de las personas, las ventajas de los formatos digitales superan a la posible pérdida de detalles en el proceso de digitalización.

3.3 Estándar de digitalización CCIR 601 (actualmente ITU-R.BT.601).

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

Dicha norma, ha ido evolucionando desde que fue creada, en los años 80, lo que hace interesante o imprescindible especificar la familia de parámetros a los cuales hace referencia. Empezando por la relación de aspecto (4:3 ó 16:9) hasta el submuestreo de las componentes de color que se aplica (4:4:4, 4:2:2 ó 4:2:0). La norma recomienda que sea usada como base para los estándares de codificación digital, por los estudios de televisión en países que utilicen un sistema de 525 líneas y 625 líneas.

La norma especifica métodos para la codificación digital de señales de vídeo. Incluye una relación de la frecuencia de muestreo de 13.5 MHz para la componente de luminancia Y, con una relación de aspecto 4:3 y 16:9. Para sistemas que requieren una resolución horizontal mayor, hay una alternativa cuya frecuencia de muestreo es de 18 MHz para una relación de aspecto de 16:9.

Para las componentes de crominancia se emplean una frecuencia de muestreo de 6.75 MHz. La profundidad del muestreo PCM es de 8 bits, y se utilizan 10 bits para los centros de producción.

Tres diferentes formatos de muestreo son importancia de para la televisión digital. El primer formato está diseñado para uso profesional o de estudio; ofrece la más alta fidelidad de la señal analógica. Los otros dos formatos son

para consumo o uso doméstico. Ofrecen menos fidelidad, pero aún son mejores que la grabadora de grabación analógica en términos de calidad de la imagen.

Para los tres formatos, las tasas de muestreo para cada una de las componentes de la señal son múltiplos de la frecuencia base de muestreo $F=3.375$ MHz. Según el criterio de *Nyquist* la velocidad de muestreo debería ser de 13.5 MHz esto es cuatro veces la frecuencia base de frecuencia. Algunas partes de la señal compuesta se muestrean a menos de 13.5 MHz. El teorema de nyquist indica que el resultado de esto se ve en un menor número de bits, esta perdida de la calidad de la imagen es aceptable para el uso de los consumidores. Cada formato de muestreo puede ser cuantizado con 8 ó 10 bits por muestra. Las muestras de 10 bits tienen más fidelidad, pero esto resulta en más bits para transmitir.

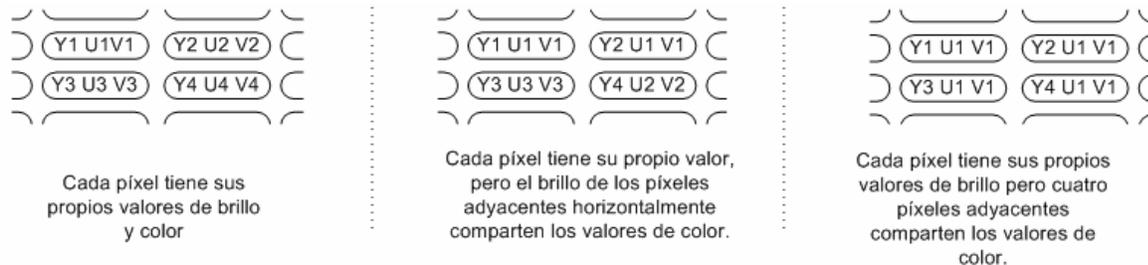
1) Formato CCIR 601 4:4:4. En este formato de señal de luminancia (Y) y dos señales de crominancia (U y V) se muestrean a una tasa de $4xFs = 13.5$ MHz. hay, por tanto, 40,5 millones de muestras por segundo. Si cada muestra es cuantizada a 10 bits, el la tasa de bits resultante es de 405 Mbps. Este formato preserva muchos de los detalles de la señal analógica original, y se utiliza en equipos de vídeo profesionales. Por lo que podemos apreciar en este formato se utilizan tres canales de ancho de banda completos.

2) Formato CCIR 601 4:2:2. En este formato la señal de luminancia se muestrea en $4xFs = 13.5$ MHz, mientras que las dos señales de crominancia se muestrean en $2xFs = 6.75$ MHz, esta es la mitad de la frecuencia de muestreo del formato 4:4:4. Hay dos muestras de luminancia por cada muestra de crominancia. Por lo que la velocidad de transmisión de datos es de 27 M muestras/segundo, y por lo tanto la tasa de transmisión de bits es

de 216 con 8 bits por muestra y 270 Mbps con 10 bits por muestra. Este formato se utiliza en las grabadoras profesionales de video digital en formatos llamados D1 y D5.

- 3) Formato CCIR 601 4:2:0.** Este formato se deriva del formato 4:2:2, se toma una muestra de crominancia por cada dos muestras de luminancia, los valores de líneas de crominancia consecutivos se promedian. El resultado es la tasa de muestreo de 20.25 M muestras/seg. y por consiguiente se tiene para una cuantización de 8 bits por muestras una tasa de bits de 164 Mbps. El formato 4:2:0 es utilizado para las emisiones de DVD y HDTV.
- 4) Muestreo del color 601.** Los tres formatos difieren en la frecuencia en que se muestrea el color. El sistema visual humano es menos sensible a los cambios en el color (crominancia), que a los cambios en la luminancia. Por lo tanto, es posible tener menos información de color que información de luminancia sin una gran degradación en la calidad de la imagen. Como las señales de crominancia (color) son muestreadas a una frecuencia inferior que la señal de luminancia, ¿cuál es la relación espacial entre las muestras? La figura 20 muestra cómo las muestras de color se toman con respecto a las muestras de luminancia para los tres formatos. En el formato 4:4:4, cada píxel tiene su propia muestra de luminancia y crominancia. En el formato de muestreo 4:2:2, una sola muestra de color compartida horizontalmente por dos muestras adyacentes de luminancia. Esto significa que estos dos píxeles son los mismos, pero que pueden diferir en magnitud de brillo. Finalmente, en el formato 4:2:0, cuatro píxeles adyacentes comparten un único conjunto de valores de color.

Figura 20. Tres de los formatos de toma de muestras de colores bajo el estándar 601. Como el muestreo del color disminuye, se comparten los mismos valores de color con valores de luminancia independiente.



Cada formato utiliza un promedio diferente de bits por píxel, por lo que la profundidad de bits por píxel es diferente para cada formato. El submuestreo del color es, en la actualidad, el primer paso hacia la reducción del tamaño de en el contenido de televisión digital. La señal de televisión digital producirá un enorme número de datos que necesita ser reducido a un tamaño práctico. Si bien cada reducción en el número de bits conducirá a la pérdida de fidelidad; las técnicas se desarrollaron para reducir al mínimo la pérdida en la calidad percibida. Este simple proceso de compartir la información de color entre píxeles disminuye del número de bits por píxel, y lo por tanto, el número total de bytes que se requiere para representar la imagen.

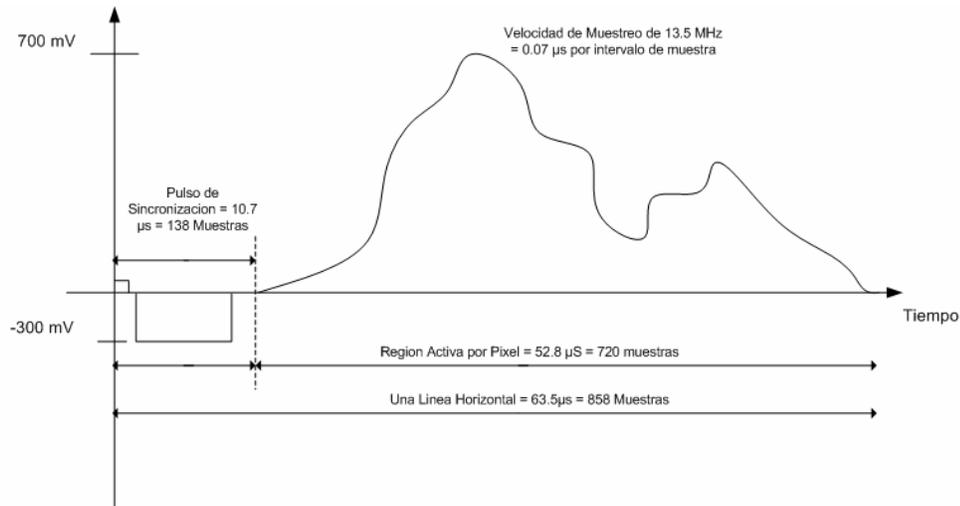
Tabla IV. Promedio de Bits por píxel para los tres formatos de muestreo

Formato de muestreo	Promedio de Bits por Pixel
4:4:4	24 Bits
4:2:2	16 Bits
4:2:0	12 Bits

3.3.1 Muestreo de la señal de horizontal y vertical

En todos los formatos CCIR 601, la señal de luminancia se muestrea a 13.5 MHz. Cada línea de la trama de televisión es contenida en $6.56 \mu\text{s}$ de la señal, en los primeros $10.7 \mu\text{s}$ tenemos el pulso de sincronización y el resto del intervalo activo contiene los valores reales del brillo de la imagen. En la velocidad de muestreo de 13.5 MHz, la región activa se muestrea 720 veces por segundo (Figura 21). Es decir, para cada línea horizontal de cada cuadro en la versión digital contendrá 720 píxeles. Esta es la resolución horizontal de la imagen digital. Debido al aumento en el tamaño y calidad de la imagen en la televisión de alta definición, el número de píxeles en una línea horizontal es significativamente mayor para formatos HDTV. Los dos formatos de HDTV contienen 1280 y 1920 por cada línea horizontal, por ejemplo.

Figura 21. Una simple línea de televisión analógica es muestreada y produce 720 píxeles activos por línea

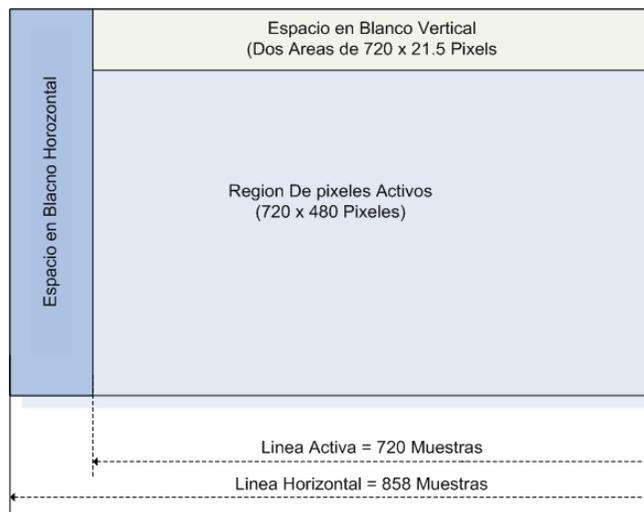


Fuente: *Televisión and Video Technology*, K. F. Ibrahim, Oxford

En la dirección vertical de las 525 líneas en la señal NTSC, la región activa sólo consta de 480 líneas. Las 45 líneas restantes son las dos líneas de corte vertical de la interfaz, que son cada $21\text{-}1/2$ líneas y no son visibles en la

pantalla. En todos los estándares de muestreo para la digitalización de señales NTSC se producen $720 \times 480 = 43,5600$ píxeles, como se muestra gráficamente en la figura 22, Cada píxel tiene una componente singular de luminancia y dependiendo del formato utilizado tiene o bien un único valor de crominancia o valores compartidos de crominancia en cada muestra. Para el formato 4:2:0 con un promedio de 12 bits por píxel de información, el cuadro NTSC ya digitalizado contiene 518,400 bytes.

Figura 22. El muestreo de una simple trama de televisión analógica produce 720 píxeles en 480 líneas en la región activa.



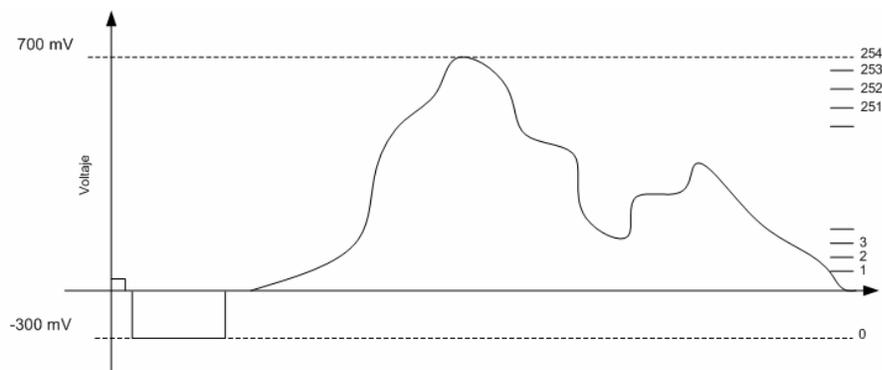
Fuente: IPTV Crash Course, Joseph Weber, McGraw Hill

3.3.2 Cuantización

Los tres formatos CCIR pueden tomar muestras de la señal analógica, ya sea con 8 bits o 10 bits de cuantización. La señal analógica NTSC varía de -300 a 700 mV, con valores de en la región de píxel activo que van desde unos 50 a 700 mV. Los valores negativos se utilizan para la sincronización y no tienen información de píxel.

Para muestras de 8 bits el rango activo varia de los 50 a 700 mV, este rango es cuantizado entre los valores de 1 a 254. En esta cuantización, los píxeles de color negro son perfectamente mapeados en el valor 1 mientras que el blanco más brillante se le da el valor 254. Los valores negativos, indican información de sincronización de la señal, se asignan los valores de 0 o 255 dependiendo de la señal de sincronización (horizontal o vertical). La distribución de los valores de voltaje para una tasa de 8 bits es mostrada en la figura 23 con 256 valores de cuantización.

Figura 23. La señal de televisión analógica es cuantizada a 8 bits, resultando en 256 posibles valores de la señal.



Fuente: IPTV Crash Course, Joseph Weber, McGraw Hill

3.3.3 Digitalización del audio

Los canales de audio de una señal de televisión digital también están digitalizados. La cuantización y velocidad de muestreo para el audio es claramente diferente a la de vídeo. Por una parte, la señal de audio es unidimensional (sonido de amplitud en función del tiempo), mientras que la señal de vídeo es bidimensional (señales de brillo horizontal y vertical en función del tiempo). Asimismo, el audio se compone de tres canales diferentes, el mono L+R, diferencia estereo L-R, y los canales de SAP (Segunda portadora de audio).

3.3.3.1 Velocidad de muestreo para el audio.

El rango de frecuencia detectable para oído humano es de aproximadamente de 20 Hz a 20 kHz, con el extremo superior disminuyendo con la edad. El teorema de *Nyquist* dice que cualquier frecuencia de muestreo por encima del 40 kHz debe ser suficiente para capturar cada frecuencia audible en una señal de audio. Algunos tipos comunes de muestreo para un equipo de audio digital se muestran en la Tabla V.

Tabla V. Formatos de audio digital y su tasa de muestreo

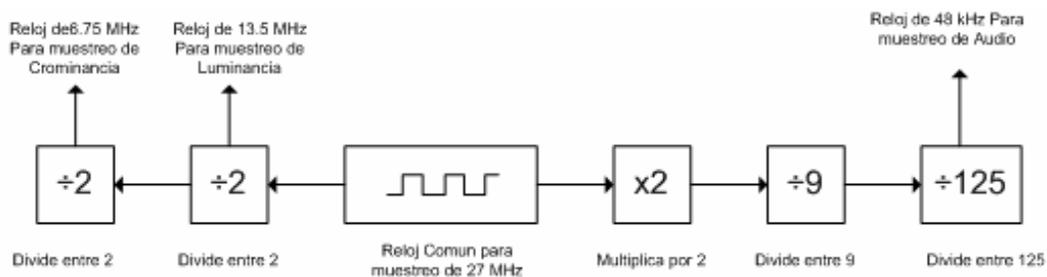
Formato	Tasa de Muestreo
Máquina contestadora Digital	8 kHz
CD de Música	44.1 kHz
Audio en una Película de DVD	48 kHz
Formato de Audio en DVD	96kHz

En los 8 kHz de frecuencia de muestreo de un contestador automático digital; las frecuencias por encima de 4 kHz no son capturadas con precisión en la señal digital. Esta tasa menor coincide con la tasa de muestreo en todo el sistema telefónico. Cualquier persona que ha escuchado música a través del teléfono, por lo general sabe cómo detectar la baja velocidad de muestreo en la baja calidad de audio para música, pero esta velocidad de muestreo es suficiente para capturar la voz humana. Los futuros teléfonos digitales, en particular los que utilizan la voz sobre protocolo de Internet (VoIP), tienen la capacidad para tomar muestras de la señal a una tasa mucho más alta, acercándose a la calidad de un CD de música. Sin embargo, siempre la señal siempre tendrá que atravesar el sistema telefónico (POTS) en algún lugar de la

conexión entre los dos dispositivos finales, por lo que la señal volverá a la calidad de 8 KHz. de muestreo. Por el contrario, los discos DVD de audio pueden capturar hasta 48 kHz de frecuencias audibles con una tasa de muestreo de 96 kHz, lo que esta más allá del alcance del oído humano; se cree que aunque el audio a esas frecuencias no es audible, la verdadera experiencia de música requiere estos componentes de alta frecuencia.

En el estándar de digitalización CCIR 601, cada canal de audio en la señal de televisión compuesta se muestrea a 48 kHz. Como se muestra en la figura 24, el reloj de 48 kHz se pueden derivar directamente de los 27 MHz de reloj que se utilizan para el muestreo de la señal de video; primero se multiplica la frecuencia de 27 MHz por 2, luego se divide dentro de 9 y finalmente se hace una división entre 125 para tener los 48 kHz necesarios para el muestreo de la señal de audio. Según el teorema de *Nyquist*, este tipo de muestreo es mayor que el necesario, esto nos da 1600 muestras de audio por fotograma. Esto permite que en el muestreo sea utilizado un reloj común tanto para vídeo como para audio.

Figura 24. Los canales de audio in la señal NTSC son muestreados a una tasa que es derivada del reloj común de 27 MHz utilizado para el muestreo del video.



3.3.3.2 Cuantización del audio.

La audición humana es un fenómeno que responde a una gama de frecuencias (la gama de frecuencias de sonido y amplitudes que son audibles). Los sonidos pueden ser detectados a través de seis órdenes de magnitud en buena onda de presión. Ondas de sonido con la presión tan pequeño como $0,00001 \text{ Newtons/cm}^2$ a aquellos con más de 10 Newtons/cm^2 puede ser escuchados. Tratar de cuantificar este rango se requiere un mínimo de 20 bits de precisión por muestra. La percepción de volumen de una señal de audio, sin embargo, no está linealmente relacionada con la cantidad de presión en las ondas de sonido. Por lo tanto, la toma de muestras de la magnitud de la onda de presión del sonido requiere algunas manipulaciones no lineales antes de ser cuantizadas. Esto hace que sea posible utilizar menos de 20 bits por muestra para lograr la precisión de la señal analógica. El estándar 601 utiliza 16 bits para las muestras de canales de audio. Las tasas de cuantización de algunas tecnologías de audio digital se muestran en la figura 25.

Figura 25. Número de bits de cuantización en cada tecnología.

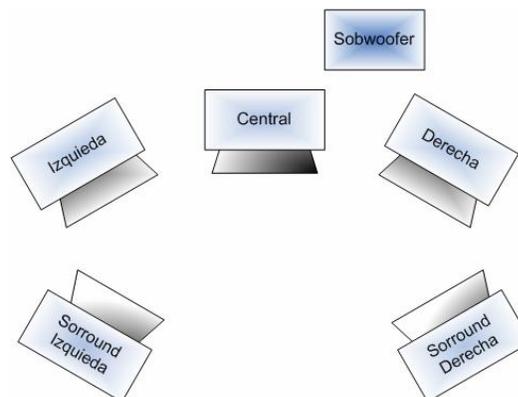
Tecnología	Bits por muestra
Teléfono	8
CD de Música	16
Televisión análoga digitalizada	16
Formato de Audio en DVD	24

3.3.3.3 Audio multicanal.

En la televisión analógica estándar se incluyen dos canales de audio estéreo y un solo canal SAP (Segunda Portadora de Audio) mono. Los nuevos formatos digitales como DVD's y HDTV incluyen audio multicanal que controlan hasta cinco altavoces diferentes.

Estos canales están divididos de la siguiente forma: dos canales *sorround* (izquierdo y derecho), un canal central y dos canales estereo (izquierdo y derecho). Uno de los canales es típicamente una mejora de baja frecuencia (LFE), cuyo altavoz es también conocido como *subwoofer*. El *subwoofer* tiene un rango de respuesta en frecuencia de sólo 3 a 120 Hz, el cual se encuentra en el extremo inferior de los 20 Hz a 20 kHz de la gama de frecuencias audibles al oído humano. Debido a que estas frecuencias son percibidas sin depender de la dirección del oído humano, el *subwoofer* se puede colocar en cualquier lugar de la habitación y no señala en ningún sentido. La Figura 26 muestra un típico sistema multicanal de 5.1 canales. La descripción de 5.1 indica cinco altavoces de respuesta completa y uno subwoofer (LFE).

Figura 26. Distribución de un sistema de audio de 5.1 canales.



Multiplicando la tasa de muestreo, los bits utilizados en la cuantización por canal y el número de canales, tenemos el ancho de banda efectivo para el audio digitalizado, como se muestra en la tabla VI.

Tabla VI. Ancho de banda total utilizado en la digitalización de audio por tecnologías.

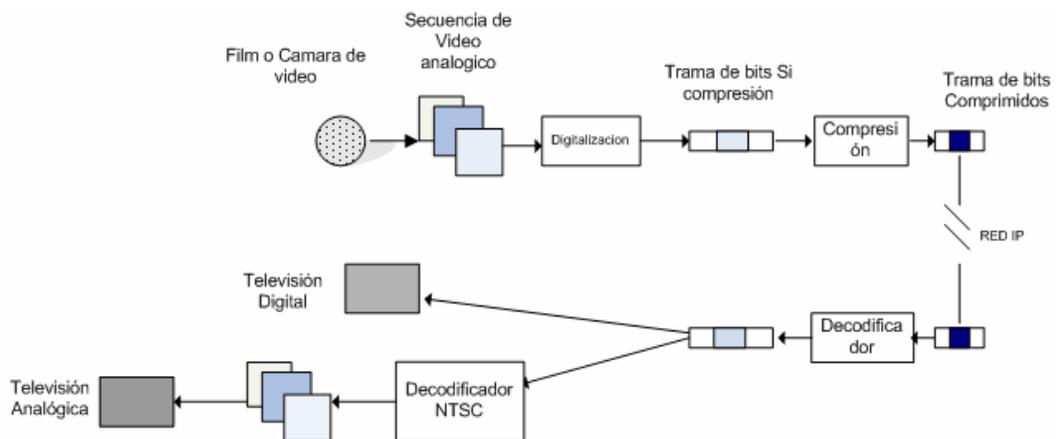
Tecnología de audio	Tasa de muestreo	Bits de Cuantización	Numero de canales	Bits totales
Telefonía convencional	8 kHz	8	1	64 kbps
CD de Música	44.1 kHz	16	2	1.4 Mbps
Televisión analógica Digitalizada	48 kHz	16	3	2.3 Mbps
Audio en DVD	96 kHz	24	6	13.8 Mbps

3.4 Compresión de video digital

La revolución digital de los medios de comunicación no se habría producido sin el desarrollo de tecnologías de compresión digital. No basta con digitalizar las señales de televisión analógicas, estas se traducen en grandes cantidades de datos y velocidades de transmisión que son demasiado grandes para trabajar con ellas. El procesador que se encuentra en las computadoras personales y la electrónica de consumo no son lo suficientemente rápidos para manipular los datos y los dispositivos de almacenamiento como los discos duros se llenan demasiado rápido o son demasiado costosos. Las tecnologías de compresión buscan reducir a niveles efectivos los bits a transmitir por los medios digitales, que puedan ser fácilmente manipulados por los consumidores, tener menor potencia de procesamiento, y que los requerimientos de almacenamiento no sean excesivamente costosos.

El proceso de compresión de video digital se muestra en la figura 27. En esta figura generalizada, el contenido análogo proviene de una cámara de video en vivo o una película creando una serie de fotogramas de video analógico. Estos son digitalizados en una secuencia de fotogramas sin compresión lo que da una tasa de bits con un alto ancho de banda. La etapa de compresión reduce el ancho de banda del flujo de bits por lo que es más fácil de almacenar y transmitir. En el lado receptor, la trama de bits comprimida es decodificada de nuevo en una trama de bits digital sin comprimir. El video sin comprimir puede ser entregado directamente para transmitirlo en formato de televisión digital y ser visualizado, o convertirlo en video analógico NTSC, y ser entregado en una transmisión de televisión analógica.

Figura 27. Proceso Generalizado para la Compresión de *Bitstream* de Video



3.4.1 La necesidad de comprimir

La digitalización de la señal analógica en el estándar NTSC con 8 bits de cuantización en el estándar CCIR 601 produce un flujo continuo de bits digitales en el orden de 270 Mbps. Una hora de televisión digitalizada con esta definición estándar produce 97.2 GB de datos. En el formato HDTV se tiene aún mayor

flujo de bits y, por tanto, los requerimientos de almacenamiento son superiores. El formato HDTV produce más de 5300 GB por hora de señal digital sin comprimir. Este tipo de velocidades de transmisión de datos son prohibitivos en términos de requisitos de almacenamiento, ancho de banda para la transmisión de las señales digitales, y mayor requerimiento para procesar las señales.

- **Requerimientos de almacenamiento.** Si bien el precio del almacenamiento digital ha disminuido considerablemente, aún sería demasiado caro almacenar una cantidad razonable de datos de televisión sin comprimir. Dos horas de un programa de televisión con una definición estándar podría requerir casi 200 GB. Un DVD-ROM sólo puede almacenar 4,7 GB, lo que se traduce en unos minutos de vídeo sin comprimir. El hecho de que más de tres horas de vídeo comprimido puede almacenarse en un solo disco de DVD-ROM es testimonio del poder del proceso de compresión. Las grabadoras de vídeo digital como TiVo hacen uso de discos duros para grabar los contenidos de televisión. La capacidad de almacenamiento en un disco duro cuesta alrededor de 50 centavos de dólar por gigabyte. El almacenamiento sin comprimir costaría casi 50 dólares, y sólo unas pocas horas podrían ser almacenadas en un típico disco duro de 128 GB. Aunque el costo de la capacidad de almacenamiento sigue disminuyendo drásticamente, el almacenamiento sin comprimir señales seguirá siendo caro por algún tiempo.
- **Requerimientos de ancho de banda.** Transmisiones de 216 Mbps de datos sin compresión a una distancia significativa es extremadamente difícil con la tecnología actual. Incluso algunos de los canales con ancho de banda más grande, como la conexión entre una unidad de disco duro y el CPU en una computadora, serían pequeños para transmitir datos a estas velocidades. Transmitir estos anchos de banda a largas distancias sería

imposible a través de las redes comerciales de banda ancha como cablemodem y xDSL, los servicios de datos son del orden de sólo unos pocos Mbps en tecnología ethernet convencional, mientras que dentro de la red de área local (LAN) se podría mover solamente 10 ó 100 Mbps. Para un servicio de IPTV que pretende distribuir señales de televisión digital sobre enlaces de banda ancha se tiene que reducir drásticamente la tasa de datos a transmitir.

- **Capacidad de procesamiento.** Para poder visualizar la televisión digital se requiere la lectura digital de píxeles y re-crear las imágenes. Simplemente la recuperación de cada píxel lleva algunas operaciones de procesamiento y requiere capacidades de cálculo importantes. A veces adicionalmente al procesamiento de los píxeles y la imagen también se requieren tareas como cambiar el tamaño de la imagen para adaptarse a una pantalla. Por ejemplo, el marco de un televisor de alta definición (HDTV) consistente de 1920x1080 píxeles, esto conlleva a realizar más de un millón de operaciones de computadora para leer de la memoria y transferir a la salida de vídeo la información. Si el número de operaciones que debía realizar en cada píxel crece, esto obliga a realizar muchos miles de millones de operaciones por segundo por parte del procesador lo cual es ineficiente.

3.4.2 Formatos de compresión de video

Una vez establecida la necesidad de reducir el la tasa de bits de la televisión digital a través de la compresión, se tienen diferentes formatos comerciales que se pueden utilizar para lograr este objetivo. Actualmente, el formato MPEG-2 es el más utilizado comercialmente para los servicios de televisión digital, sin embargo, existen otros formatos ampliamente desarrollados como los que se describen a continuación:

- **Motion JPEG (M-JPEG).** Es el nombre utilizado para aquellos formatos multimedia donde cada fotograma o campo entrelazado de una secuencia de vídeo digital es comprimida por separado como una imagen JPEG. *Motion JPEG* es un tipo de compresión de vídeo que se puede definir como una rápida sucesión de imágenes JPEG para dar la sensación de movimiento. Es frecuentemente usado en dispositivos portátiles tales como cámaras digitales. El formato *Motion JPEG* utiliza tecnología de codificación intercuadro, que es muy similar en tecnología a la parte *I-frame* de los estándares de codificación como el MPEG-1 y el MPEG-2, el resultado en la relación de compresión es de aproximadamente 3:1 para los campos digitales CCIR 601.

- **Digital Video 25 (DV25).** Se usa en muchas videocámaras y ofrece una mejor compresión, con cada trama que es comprimida independientemente. Hay tres formatos de video que utilizan este método de compresión: MiniDV, DVCAM y DVCPRO. La tasa de bits resultante es de 25 Mbps, esta es la razón por la que se llama DV25. Esta velocidad de transmisión de datos es constante. No importa si el video contiene una gran variación de colores o es totalmente negro, la velocidad de transmisión de datos será siempre 25Mbps. Si bien esto puede ser un poco ineficaz, permite predecir fácilmente cuánto espacio ocupara una cantidad de vídeo en un disco duro. DV25 es similar a MPEG, sin embargo, está compuesto enteramente de *I-frames*, al igual que MPEG-1 y el MPEG-2.

- **MPEG-1 (Motion Picture Expert Group 1).** Es un sistema de codificación de imágenes en movimiento y sonido. Las velocidades de datos son de 1.5 Mbits/seg. El audio de capa II es un subconjunto de este sistema. MPEG-1 se utiliza para audio CD y vídeo. Este formato aprovecha la redundancia espacial y temporal entre píxeles logrando mayores relaciones de

compresión. MPEG-1 utiliza también una resolución inferior por píxel, desechando alrededor de 3 / 4 de los píxeles antes de comprimir el resto de píxeles.

- **MPEG-2 (*Motion Picture Expert Group 2*)**. Es la designación para un grupo de estándares de codificación de audio y vídeo acordado por MPEG (grupo de expertos en imágenes en movimiento), y publicados como estándar ISO 13818. MPEG-2 es por lo general usado para codificar audio y vídeo para señales de transmisión, que incluyen televisión digital terrestre, por satélite o cable. MPEG-2. Con algunas modificaciones, es también el formato de codificación usado por los discos SVCD's y DVD's comerciales de películas. Logra relaciones de compresión de más de 50:1, pero mantiene el la calidad visual del video original a diferencia de MPEG-1. MPEG-2 es similar a MPEG-1, pero también proporciona soporte para vídeo entrelazado (el formato utilizado por las televisiones.). MPEG-2 no está optimizado para bajas tasas de bits (menores que 1 Mbit/s), pero supera en desempeño a MPEG-1 a 3 Mbit/s y superiores.

- **MPEG-4 (*Motion Picture Expert Group 4*)**. Fue introducido a finales de 1998, es el nombre de un grupo de estándares de codificación de audio y video así como su tecnología relacionada normalizada por el grupo MPEG de ISO/IEC. Los usos principales del estándar MPEG-4 son los flujos de medios audiovisuales, la distribución en CD, la transmisión bidireccional por videófono y emisión de televisión. MPEG-4 toma muchas de las características de MPEG-1 y MPEG-2 así como de otros estándares relacionados, tales como soporte de VRML (Virtual Reality Modeling Language) extendido para Visualización 3D, archivos compuestos en orientación a objetos (incluyendo objetos audio, vídeo y VRML), soporte

para la gestión de Derechos Digitales externos y variados tipos de interactividad.

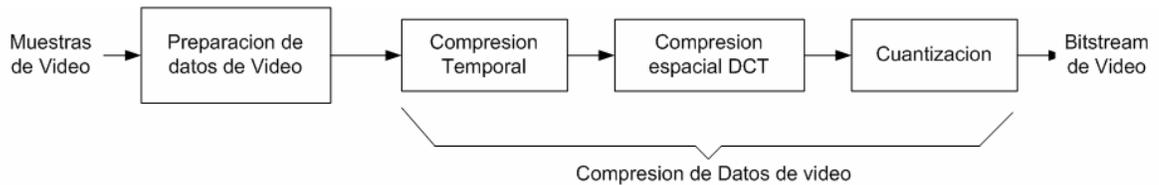
3.4.3 Estándar de compresión de video MPEG-2

Hay dos rasgos distintivos de un *videoclip*, ambos de los cuales son utilizados por MPEG en su técnica de compresión de datos. La primera es que una pieza de vídeo es una secuencia de imágenes fijas y, como tal, puede ser comprimido usando la misma técnica que la utilizada por JPEG. La segunda característica es, en general, las sucesivas piezas de las imágenes de un vídeo difieren muy poco, por lo que es posible descartar piezas repetidas o redundantes y enviar sólo la diferencia entre cada una. Este tipo de compresión que está relacionada con el tiempo, es conocido como transformada de coseno discreto DCT. El estándar de compresión MPEG-2 es actualmente el formato más utilizado para la compresión de los servicios de televisión digital. Es utilizado para la transmisión por satélite, cable y operadores de radiodifusión terrestre, así como el formato DVD para películas. La emisión de televisión de alta definición estándar se basa también en el estándar MPEG-2.

La Codificación de vídeo MPEG consta de tres partes principales:

1. Preparación de datos (submuestreo)
2. Compresión (temporal y espacial) y
3. Cuantización

Figura 28. Algoritmo de Compresión MPEG



3.4.3.1 Preparación de datos de video (submuestreo)

El estándar MPEG-2 puede utilizar señales de vídeo con diferentes tamaños de imagen. Esto incluye no sólo los 720x480 píxeles de tamaño de la televisión estándar en la norma CCIR 601, sino una serie de imágenes pequeñas y grandes. En la norma CCIR 601. Debido a que MPEG-2 puede ser utilizado en diferentes tamaños de imagen es necesario hacer un submuestreo de la imagen como preparación de datos de video.

El objetivo de preparación de datos de vídeo es garantizar que el código de muestra de la imagen este organizado de una manera que sea adecuado para la compresión de datos. La información de vídeo entra en el codificador de vídeo en forma de muestras codificadas de escaneo de líneas con las señales de luminancia Y, y crominancia Cr y Cb. La preparación de Vídeo implica reagrupar estas muestras en bloques de 8x8 que se utilizan para remover la redundancia espacial. Estos bloques se reorganizan en 16x16 macrobloques que eliminan la redundancia temporal. Los macrobloques luego se agrupan en segmentos de macrobloques que son las unidades básicas para la compresión de datos. Las componentes de un macrobloque están determinadas por el perfil de MPEG-2 elegido. Por ejemplo para el muestreo 4:2:0, un macrobloque constará de cuatro bloques de luminancia y un bloque de cada una de las

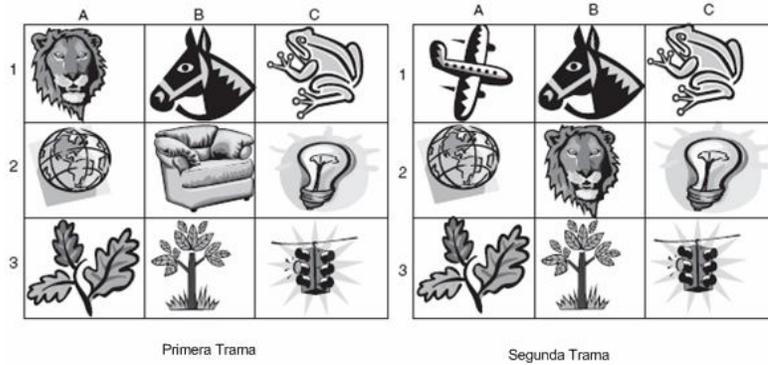
componentes de crominancia C_R y C_B . En teoría, un segmento de bloques puede ir desde un macrobloque hasta una imagen completa. Pero en la práctica un segmento abarcará una línea completa de la imagen o parte de una línea.

El submuestreo de las imágenes de televisión de inmediato reduce el número de bits resultantes, pero con algún costo para la calidad de imagen. Desde la pantalla de televisión siempre se ha fijado una relación de aspecto, en formatos como el de 544x480 píxeles que no es cuadrado, es necesario estirar horizontalmente la imagen para que coincida con la relación de aspecto de la pantalla.

3.4.3.2 Compresión temporal

Compresión temporal, o compresión inter-cuadro, se lleva a cabo en los cuadros sucesivos. Aprovecha el hecho de que la diferencia entre dos cuadros es muy leve. Por lo tanto, no es necesario transmitir el contenido completo de la imagen en cada cuadro ya que la mayor parte de ella no es más que una repetición del cuadro anterior. Sólo la diferencia entre los cuadros es enviada. Dos componentes se utilizan para describir la diferencia entre una trama y la trama anterior: el movimiento de vectores y la diferencia de trama. Para ilustrar el principio detrás de esta técnica, considere la secuencia de dos tramas que se muestran en la figura 29. El contenido de las celdas en la primera trama es escaneado y describen de la siguiente manera: león, caballo, rana, globo, sillón, bombilla, hojas, árbol y semáforo. La segunda trama es ligeramente diferente a la primera y si se describe plenamente de la misma manera: avión, caballo, rana, globo, león, bombilla, hojas, árbol y semáforo.

Figura 29. Dos tramas sucesivas con pequeñas variaciones entre ellas



Sin embargo, este ejercicio supone una repetición de la mayoría de los elementos del primer cuadro, es decir, caballo, rana, globo, bombilla, hojas, árbol y semáforo. Los elementos repetidos se conocen como redundantes, porque no añaden nada nuevo a la composición original de la imagen. Para evitar la redundancia, sólo los cambios del contenido de la imagen se describen. Estos cambios pueden ser definidos por dos aspectos: el movimiento del león de la celda A1 hasta la celda B2 y la introducción de un avión en la celda A1. El primero es el vector de movimiento. La reciente introducción del avión en el cuadro es la diferencia en las tramas, se deriva de un método un poco más complejo. En primer lugar el vector de movimiento se añade al primer cuadro para producir un marco previsto (Figura 30).

Figura 30. La trama prevista es obtenida por la adición del vector de movimiento en la primera trama

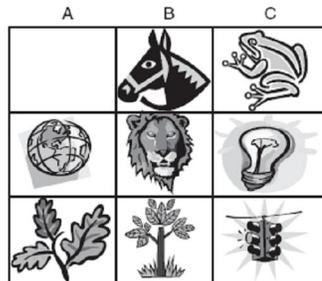
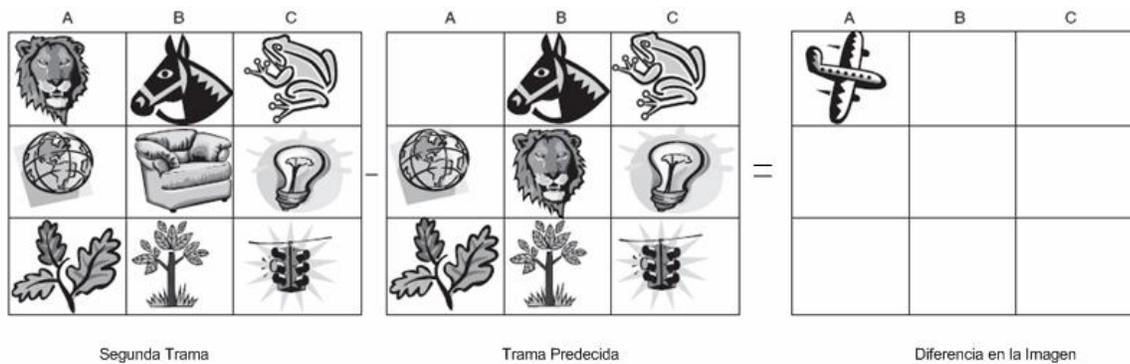


Figura 31. La diferencia de trama es obtenida al sustraer de la trama predecida la segunda trama o trama actual.

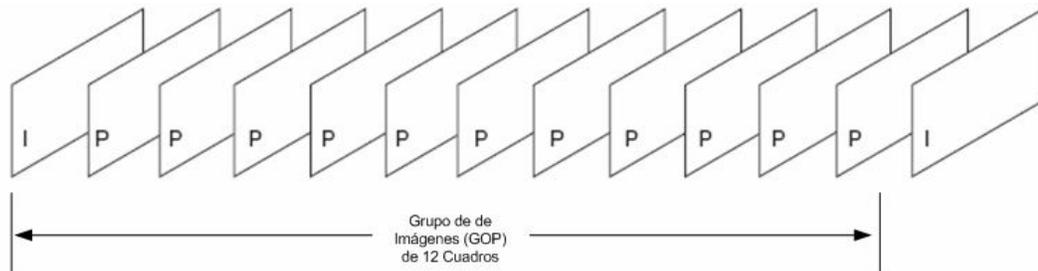


La trama prevista se sustrae a continuación de la segunda trama para producir la diferencia en la imagen o diferencia de tramas (Figura 31). Ambos componentes (vector de movimiento y la diferencia de trama) se combinan para formar lo que se conoce como P-frame (P para predecir).

3.4.3.2.1 Agrupación de imágenes.

La compresión temporal se lleva a cabo por un grupo de imágenes (GOP) normalmente compuesto de 12 cuadros no entrelazados. El primer cuadro del grupo (Figura 32) actúa como referencia y es conocido como el I-Frame (I de inter). Este es seguido por un P-frame obtenido mediante la comparación de la segunda trama con la trama de referencia (I-frame). Esto se repite a continuación, y el tercer cuadro se compara con el P-frame anterior para producir un segundo P-marco y así sucesivamente hasta completar del grupo de 12 cuadros, luego una nueva referencia I-frame se introduce para el producir el próximo grupo de 12 imágenes y así sucesivamente. Este tipo de predicción se conoce como predicción hacia delante.

Figura 32. Grupo de Imágenes (GOP: *Group Of Pictures*).



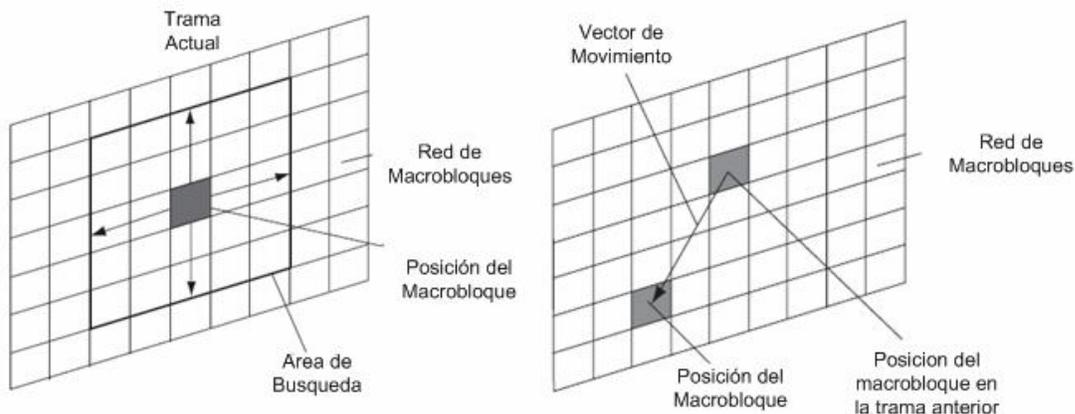
Fuente: *Televisión and Video Technology*, K. F. Ibrahim, Oxford

3.4.3.2 Unión de bloques

El vector de movimiento se obtiene a partir de la componente de luminancia sólo por un proceso conocido como acoplamiento de bloque. El acoplamiento de bloque implica dividir la componente Y del cuadro de referencia en macrobloques de 16x16 píxeles, teniendo cada macrobloque, a su vez que desplazarse dentro de un área especificada en el cuadro siguiente y la buscar acoplarse con el píxel correspondiente del bloque (Figura 33). Aunque los valores de muestra en el macrobloque pueden haber cambiado ligeramente de un cuadro al próximo, se utilizan técnicas de correlación para determinar la mejor ubicación que es reducida a una distancia de la mitad de píxel en el caso de MPEG-2 y cuarto de píxel en el caso de MPEG-4. Cuando el acoplamiento falla, el desplazamiento se utiliza para obtener un vector de compensación de movimiento que describe el movimiento del macrobloque en términos de velocidad y dirección (Figura 33). Sólo una cantidad relativamente pequeña de los datos es necesaria para describir una compensación de movimiento de vectores. Los valores actuales de píxel del macrobloque no tienen que ser retransmitidos. Una vez que el vector de compensación de movimiento se ha elaborado, luego se utilizará para los otros dos componentes, C_R y C_B . Futuras

reducciones en bits se lograran por medio de codificación diferencial para cada uno de los vectores de compensación de movimiento tomando como referencia el vector anterior.

Figura 33. Acoplamiento de Bloques y Vector de compensación de movimiento.



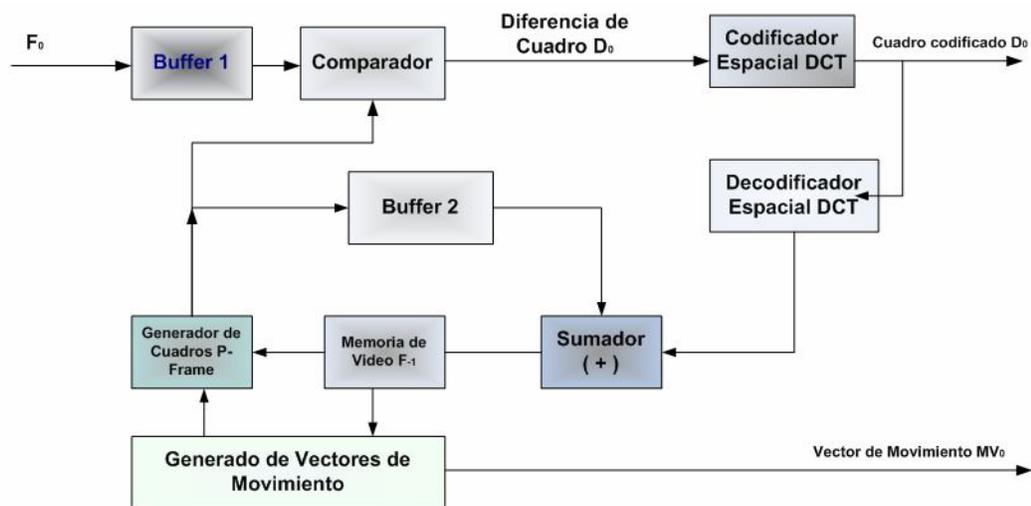
Fuente: *Televisión and Video Technology*, K. F. Ibrahim, Oxford

3.4.3.2.3 Predicción y movimiento de cuadros

El vector de compensación de movimiento por si solo no es suficiente para definir el contenido de vídeo en un cuadro. Es posible definir un bloque en movimiento, pero no se define ningún elemento nuevo en el mismo, como los cambios que se puedan dar a consecuencia del movimiento del bloque, por lo tanto es necesario tener más información. Esta información se obtiene de la primera predicción del marco conocido como P-Frame la cual se reconstruye utilizando únicamente el vector de compensación de movimiento, y comparando este cuadro con el cuadro actual. La diferencia entre los dos contiene la información adicional necesaria para que, en conjunto con el vector de compensación de movimiento, se defina plenamente el contenido del cuadro de la imagen. El cuadro P-Frame se construye mediante la adición de los vectores

de movimiento para el mismo cuadro que se utiliza para obtener el mismo vector de movimiento. El Cuadro P-Frame se sustrae a continuación de la actual estructura actual para generar un cuadro de diferencia, que es también conocido como el residual o error de predicción. La diferencia entre cuadros ahora consiste en una serie de valores de píxeles, un formato adecuado para su posterior compresión de datos espaciales.

Figura 34. Proceso de Generación de Vector de Movimiento.



Fuente: *Televisión and Video Technology*, K. F. Ibrahim, Oxford

Refiriéndose a la figura 34, el cuadro actual F_0 es almacenado en el Buffer 1 y se mantiene allí durante un tiempo. También es Agregado al generador de vectores de movimiento que a su vez también utiliza el contenido del cuadro anterior F_{-1} que esta almacenado en la memoria de vídeo para obtener el vector de movimiento MV_0 . El vector de movimiento se añade a la F_{-1} para producir el cuadro previsto P_0 que se compara con el cuadro actual F_0 en el Buffer 2 para producir el error residual o diferencia de cuadro D_0 . El error residual D_0 es pasado al codificador espacial DCT y enviado para su transmisión. D_0

codificado es decodificado para reproducir D_0 , como sería reproducido en el lado receptor. D_0 se añade a P_0 que ha estado esperando en Buffer-2 para reconstruir el actual marco F_0 , luego se almacena en la memoria de video para el cuadro siguiente y así sucesivamente.

3.4.3.3 Compresión espacial

La base para eliminar la redundancia espacial es el procesador DCT. El procesador DCT recibe los segmentos de video en forma de un flujo de grupos de bloques de 8x8. Los bloques pueden ser parte de un cuadro de luminancia (Y) o un cuadro de crominancia (C_R o C_B). Los bloques muestran los valores que representa cada píxel, de cada bloque se incorporan después en el procesador DCT, lo que se traduce en una matriz de 8x8 de coeficientes DCT que representa la frecuencia espacial contenida en el bloque. Los coeficientes son escaneados y luego cuantizados antes de la transmisión.

3.4.3.3.1 Transformada de coseno discreto (DCT)

LA DCT es una especie de transformada de *Fourier*. Una transformada es un proceso en cual se toma la información en el dominio del tiempo y expresa en el dominio de la frecuencia. El análisis de *Fourier* sostiene que cualquier forma de onda en dominio del tiempo puede ser representada por una serie de armónicos (es decir, múltiplos de la frecuencia) de la frecuencia fundamental. Por ejemplo, la transformada de *Fourier* de una onda cuadrada de 10 kHz es una serie de senos con frecuencias de 10, 30 y 50 kHz, y así sucesivamente. Una transformada inversa de *Fourier* es el proceso de añadir estos componentes de frecuencia para convertir la información de vuelta al dominio del tiempo.

Comúnmente la frecuencia se mide en Hertz, esta medida tiene como referencia el tiempo (es decir, la frecuencia esta relacionada con el tiempo), como la frecuencia de audio o de señales de vídeo. Sin embargo, la frecuencia no se limita a cambios a lo largo del tiempo. La frecuencia espacial se define como cambios en el brillo sobre el espacio de una imagen y puede medirse en ciclos por cuadro. Los cambios en el brillo a lo largo de la dirección horizontal de una imagen se pueden analizar en dos componentes de frecuencia espacial:

- Cero Hz ó dc: gris en todo el cuadro que representa la media de brillo de la imagen.
- 1 Hz: cambio en el brillo de la imagen en forma horizontal; de brillante a oscuro a continuación, vuelve a brillante, un espacio horizontal de frecuencia de 1 ciclo por cada cuadro, lo que equivale a 1 Hz.

Después de reducir el tamaño de la imagen, el algoritmo se rompe en un mosaico de pequeños cuadros de 64 píxeles, cada cuadro con 8 píxeles a cada lado. La transformación se realiza en cada una de estas piezas de forma independiente. LA transformada DCT se utiliza en los algoritmos de compresión MPEG, tanto MPEG-1 y MPEG-2, así como en el algoritmo de compresión de imagen JPEG. El DCT convierte los valores de los 64 píxeles en cuadros de 8x8 píxeles, que representan los valores de frecuencia espacial.

3.4.3.4 Cuantización DCT

Las componentes de frecuencia espacial de la DCT pueden ser consideradas como el diminuto tablero patrones que contiene la imagen. El sistema visual humano percibe estos patrones en función del contraste y frecuencia. Por otro lado, los componentes de alta frecuencia son difíciles o

imposibles de ver, sobre todo, a una distancia considerable; estos patrones representan una forma de redundancia psico-visual y se puede eliminar de la imagen sin que se perciba en la calidad de la imagen.

Después de un bloque se ha transformado, los coeficientes DCT son cuantizados a un pequeño conjunto de valores posibles para producir un conjunto simplificado de coeficientes.

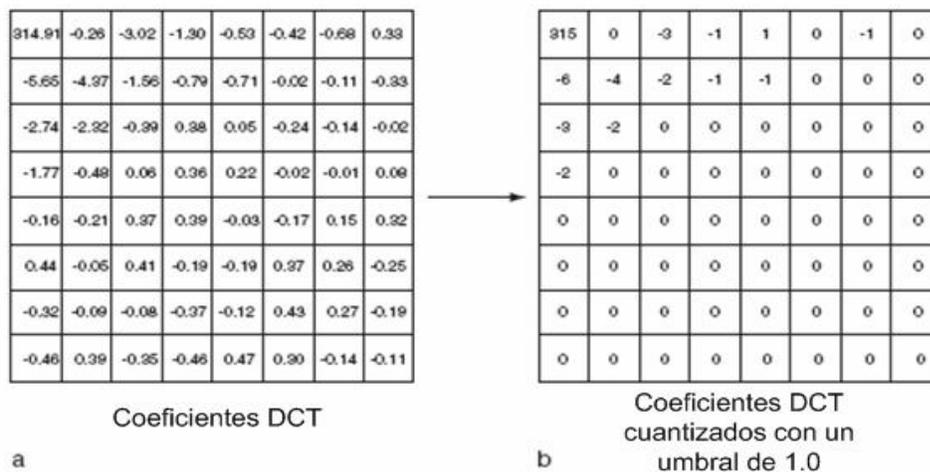
La etapa cuantización reduce o elimina muchos de los coeficientes DCT, en particular, elimina los coeficientes que no son visibles y reduce el número de bits. En esta etapa es donde se da la mayor pérdida de compresión. Estos patrones no pueden recuperarse de señal de bits resultante.

Por ejemplo, el bloque DCT de la figura 35 puede reducirse a un número muy reducido de coeficientes como se muestra en la figura 35 b si se aplica un umbral del 1.0. Además de compresión es introducido método de cuantización no-lineal o ponderado. Del vídeo se reciben muestras de una cuantización lineal, pero los coeficientes de la DCT se entregan con una cuantización no-lineal, es decir un nivel de cuantización diferente se aplica a cada coeficiente en función de la frecuencia espacial que representa dentro del cuadro. Para los coeficientes que representan frecuencias espaciales bajas se asignan niveles altos de cuantización; esto se debe a que el ojo es más sensible a las bajas frecuencias espaciales. Para los coeficientes que representan frecuencias espaciales altas se asignan niveles bajos de cuantización. Esto aumentará el error cuantización de error en altas frecuencias, la introducción de error producido por el ruido es irreversible en el receptor. Sin embargo, estos errores son tolerables debido a que el ruido de alta frecuencia es menos visible que el ruido de baja frecuencia. El coeficiente de DC en la parte superior izquierda es tratado como un caso especial y se le da la máxima prioridad. Una ponderación

de cuantización más eficaz puede ser aplicada a los cuadros de crominancia para que el error sea menos visible en las componentes de crominancia que en las componentes de luminancia.

El error de cuantización es más visible en algunos bloques que en otros, un lugar donde aparece es en los bloques que contienen un alto contraste. Entonces los parámetros de cuantización pueden ser modificados para limitar el error de cuantización, sobre todo en los bloques de alta frecuencia.

Figura 35. Cuantización



Fuente: *Televisión and Video Technology*, K. F. Ibrahim, Oxford

3.5 Formatos de video basados en MPEG-2

Es estándar de compresión MPEG-2 define la forma de comprimir y empaquetar los servicios de televisión digital. Sin embargo, no define completamente un servicio, o en algunos casos generaliza su aplicación. Una serie de servicios de vídeo digital y productos son basados en el estándar MPEG-2. Estos productos suelen operar dentro de algunos subconjuntos o en la totalidad del estándar MPEG-2. Las normas para la industria típicamente dan

lugar algunas restricciones en cuanto al gran número de herramientas que se pueden utilizar y ser agregadas en MPEG-2 a los dispositivos para definir un producto o servicio. Estas restricciones proporcionar interoperabilidad entre los dispositivos, menor complejidad y limita el alcance de las posibles características. Los videos en formato DVD, la televisión digital por cable, la televisión digital de radiodifusión terrestre y la televisión de alta definición (HDTV) se basan en el estándar MPEG-2 pero con normas similares para que sean compatibles entre si.

- **Formato de Video DVD.** El disco versátil digital (DVD) utiliza el formato MPEG-2, el formato se programa para definir una película digital que se almacena en 4.7 GB ópticos. El estándar para DVD fue creado en el forum DVD, una organización compuesta por empresas con un interés mutuo en la creación de un mercado para el formato DVD. El formato para DVD's utiliza un subconjunto de los posibles los parámetros de codificación MPEG-2 MP@ML. En general, se colocan restricciones a la resolución de la imagen, velocidad de transmisión de bits, el número y la colocación de I-frames, los formatos de audio que se pueden utilizar. Estas limitaciones hacen más fácil para un reproductor de DVD reproducirlo y no tener que controlar todas las posibles de codificadores y decodificadores de audio y video.

Adicionalmente, el formato DVD también se extiende del las normas MPEG-2 mediante la introducción de normas para formatos de datos; que se utilizan navegar por el contenido del DVD. Estos incluyen pantallas de menú, botones de navegación, y operaciones de video y audio interactivo. Incluso sencillos juegos pueden ser creados utilizando los formatos definidos en las especificaciones del DVD.

- **Televisión digital terrestre.** El sistema de radiodifusión digital en América del Norte y Corea se define por la Comité de Sistemas de Televisión Avanzada (ATSC, por sus siglas en inglés), mientras que la mayor parte de Europa, Asia y Australia utilizan un sistema definido por el proyecto de Video Digital Broadcasting (DVB). El sistema de emisión ATSC se define en el estándar ATSC A/53 y usa MPEG-2 para la compresión de vídeo, pero limita el tamaño de la imagen a un subconjunto de los formatos de imagen MP@ML (para definición estándar) y MP@HL (para alta definición). De hecho ATSC limita la emisión digital a sólo 18 diferentes resoluciones de imagen como se muestra en la tabla VII.

El proyecto europeo DVB también utiliza MP@ML (para definición estándar) y MP@HL (para alta definición), MPEG-2 como formato de imagen esta restringido por las normas DVB-T. Ambos sistemas DVB y ANTSC hacen uso MPEG-2 para transporte de tramas de video en los cuales pueden transmitir varios programas en un mismo canal. Los dos sistemas difieren principalmente en el tipo de modulación que utilizan para transmitir. ATSC utiliza modulación de banda latera vestigial (SVB), mientras que la modulación DVB utiliza la Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM). Ha habido mucho debate técnico sobre la que tipo de modulación es mejor. Independientemente del esquema de modulación utilizado, las dos están llevando transporte MPEG-2 a los consumidores finales.

Tabla VII. Formatos para Imágenes en el estándar ATSC para televisión digital.

Resolución	Nombre del Formato	Número de líneas verticales	Número de pixeles horizontales	Relación de aspecto	Forma de escaneo	Velocidad de Tramas.
HDTV	1080p	1080	1920	16:9	Progresivo	24
		1080	1920	16:9	Progresivo	30
	1080i	1080	1920	16:9	Entrelazado	30
	720p	720	1280	16:9	Progresivo	24
		720	1280	16:9	Progresivo	30
		720	1280	16:9	Progresivo	60
EDTV	480p	480	704	16:9	Progresivo	24
		480	704	16:9	Progresivo	30
		480	704	16:9	Progresivo	60
		480	704	4:3	Progresivo	24
		480	704	4:3	Progresivo	30
		480	704	4:3	Progresivo	60
		480	640	4:3	Progresivo	24
		480	640	4:3	Progresivo	30
		480	640	4:3	Progresivo	60
SDTV	480i	480	704	16:9	Entrelazado	30
		480	704	4:3	Entrelazado	30
		480	640	4:3	Entrelazado	30

Tanto el ATSC y DVB contienen extensiones de MPEG-2 para el sistema de televisión abierta. El estándar ATSC A/65 añade la información del sistema en forma de tablas PSIP. Este estándar de metadatos incluye la información para la descripción programa presente y la información de programas futuros en el servicio de televisión. DVB define la información del sistema (DVB-SI), así como un algoritmo común aleatorio (DVB-CSA), una aplicación y plataforma interactiva (DVB-MHP) para los servicios de televisión digital. Todas estas normas se basan en el sistema MPEG-2 pero en una capa extendida.

- **Televisión digital por cable.** Los operadores de cable comenzaron a ofrecer servicios de televisión digital a sus clientes en el decenio de 1990. La forma en que la televisión digital se transmite a través del cable coaxial es en forma de tramas MPEG-2, el cual es el formato de transporte. Los formatos de codificación digital para sistemas de cable se basan en el estándar ATSC de difusión y por lo tanto utilizan MP@ML (para definición estándar) y MP@HL (para alta definición) para el transporte de imágenes. La televisión por cable utiliza un esquema de modulación llamado modulación de amplitud de cuadratura (QAM). La modulación 256-QAM es capaz de transportar 38.8 Mbps de tramas de datos MPEG-2, lo que puede llevar a transmitir más de 10 programas en definición estándar o múltiples programas de televisión de alta definición en un solo canal.

4. MODELO DEL SISTEMA IPTV

El modelo del sistema IPTV puede verse desde varias perspectivas, que van desde las instalaciones de los operadores de servicios, los usuarios en casa que desean ver contenido de audio, vídeo (*streaming*) y conexión a Internet de banda ancha, además las empresas cada día solicitan más aplicaciones como videoconferencias, cursos a en línea y transmisión digital de datos.

Se debe tomar en cuenta que la cantidad de vídeo sobre IP que se están difundiendo a través de las redes de banda ancha puede fácilmente ser objeto de debate. Lamentablemente, el video sobre IP no es accesible si no se cuenta con redes de banda ancha, aunque la percepción general entre los proveedores de servicios y el público en general es que la mayoría de tráfico de banda ancha es para navegar por la web, enviar correos electrónicos, y compartir música, ésto sólo evidencia que el vídeo sobre el tráfico IP en la actualidad no tiene la misma percepción que el uso compartido de archivos de música o de otro tipo aplicaciones en Internet; pero puede en realidad representar casi la mitad de todo el tráfico de *Internet* de banda ancha.

Los operadores de redes de banda ancha en general, no examinan las aplicaciones específicas que viajan a través de la red sino la combinación de las mismas provenientes de todos sus clientes. La mayoría de información relativa a las modalidades de uso del tráfico se limita a las caracterizaciones de uso general por medio de categorías tales como peer to peer (P2P) o HTTP que es la base de la navegación web. Esta información no es suficientemente específica para describir el porcentaje de paquetes P2P, por ejemplo, que

contenido de estos paquetes es de música o video. Sin embargo, el vídeo sobre IP es ya una de las principales fuentes de tráfico de datos en las redes de banda ancha residencial, tal vez en una cantidad de 35 a 50 por ciento de todo el tráfico de banda ancha.

4.1 Servicios *Broadcast*, servicios *Unicast* y conmutación de video digital

Antes de sumergirse en una completa arquitectura del sistema IPTV, es importante revisar los servicios *multicast* y *unicast*, su relevancia, y cómo se relacionan con una arquitectura de conmutación de vídeo digital.

Desde la segunda mitad del siglo 20, toda la televisión se ha transmitido por medio de sistemas *broadcast* (un emisor y miles de receptores). Inicialmente, los consumidores recibían las señales de televisión provenientes de las antenas de difusión ubicadas en sitios muy altos. Estas señales eran recibidas por antenas de aire en los hogares las cuales eran llevadas a los receptores de televisión. Tiempo después se hizo popular la televisión por cable y se sustituyeron las antenas por el cable coaxial, pero los consumidores seguían recibiendo servicios de difusión *broadcast*. Luego entró en escena el vídeo vía satélite, pero en este tipo de servicio los consumidores recibían un paquete limitado de canales de televisión el cual podía aumentar dependiendo de lo que estuviera dispuesto a pagar. Por otra parte, debido a la feroz competencia entre la televisión por cable, la televisión satelital y ahora los operadores de telecomunicaciones, los vídeo operadores deben incluir ciertos de canales de televisión *broadcast* en sus paquetes.

Para el caso de difusión terrestre, vía satélite y servicios por cable los canales de televisión se transmiten a todos los clientes a través de ondas de radio frecuencia (RF). Para el caso de IPTV, el método utilizado para la

entrega de varios canales de televisión para múltiples clientes al mismo tiempo es más complicado. La herramienta que se utiliza por los operadores de red para la difusión de televisión sobre IP es el *multicast*. Un flujo *multicast* sobre una red IP permite que varios (no todos) los hogares dentro de la red puedan conectarse y ver. Esto proporciona la misma funcionalidad que los servicios de radiodifusión terrestre, por cable y por satélite. El protocolo de Internet (IP) no fue diseñado para la difusión de comunicaciones *broadcast*. Proporcionar soporte *multicast* requiere de protocolos adicionales y que los equipos de la red IP sean capaces de soportar estos protocolos.

Debido a que la competencia entre los operadores de video a crecido, también creció la diferencia entre sus servicios ofrecidos. Los operadores de redes que construyen redes bidireccionales *unicast* (y tienen el ancho de banda suficiente), pueden ofrecer servicios y contenido de televisión que se entrega a un solo usuario en lugar de a todo el mundo en la red.

Video por Demanda (*Video on Demand, VOD*) es un ejemplo de servicio *unicast* con el cual un consumidor puede ver un programa destinado únicamente para él a través de la red. VOD utiliza la capacidad bidireccional de la red para la señalización (seleccionar, adquirir, y empezar) y el control (pause, reproducir, detener, rebobinar y avanzar) de una película o video. VOD es una aplicación natural de una red IP bidireccional, tiene la capacidad para tratar un flujo de vídeo para un único usuario, junto con la capacidad del usuario para comunicarse simultáneamente con el servidor VOD mientras visualiza el contenido. Dependiendo de la red, el contenido puede ser distribuido a los hogares de los consumidores de diversas maneras; para las redes de cable, va a todos los hogares al igual en un canal de *broadcast*. En las redes Telco (redes de telecomunicaciones por cobre, pueden ser líneas telefónicas o la red de cable coaxial) está presente en la red hasta la última milla y luego es ruteado

para el hogar que lo requiere. El sistema de acceso condiciona la red acceso y garantiza que solo la casa que solicita la película en VOD tenga la capacidad de descifrarla y verla.

El sistema IPTV ofrece servicios de televisión *multicast* y *unicast* a través de una arquitectura de conmutación digital de video. Con conmutación de vídeo digital (SVD) se refiere a la arquitectura de red en la que los conmutadores (*switches*) y ruteadores (*router's*) selecciona la data de video de la fuente (del lado del proveedor de servicio) y la envía hacia el consumidor final.

En una red SDV el contenido de video se coloca en la red solamente cuando alguien lo esta viendo. Los servicios *unicast* pueden atender a un solo usuario, mientras que los servicios *broadcast* pueden atender a miles de usuarios al mismo tiempo. Podemos estar haciendo un proceso de selección y a la vez estar viendo una programación *broadcast* en una red SDV. Supongamos que un usuario esta en su sesión de IPTV y desea ver el canal NBC que es un canal de *broadcast*.

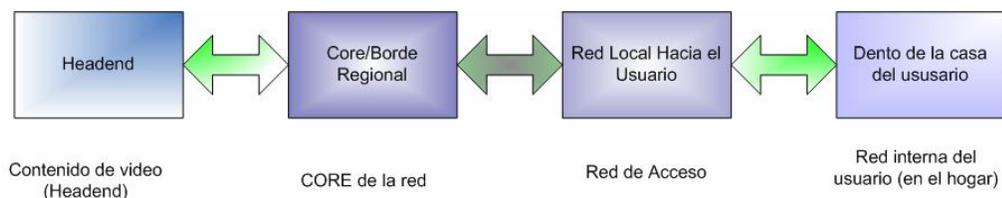
- Usando su control remoto selecciona NBC,
- Esto hace que el el aparato que se coloca sobre el televisor (Set-top Box STB) envíe un mensaje IGMP *multicast* (mensaje de petición) fuera de la casa a través de la red de acceso IPTV.
- El STB verifica si el contenido *multicast* ya esta fluyendo en la red de acceso.
- Si no esta fluyendo el contenido, el mensaje es llevado por la red de acceso a las oficinas centrales del proveedor de IPTV para solicita el programa.
- Luego el programa es entregado al abonado.

La red IPTV es realmente una constante conmutación de datos (incluyendo Video, voz, y servicios de datos) desde una fuente al destino correcto. Ésto contrasta con el sistema original de transmisión *broadcast* por cable, donde cada canal es enviado a todo el mundo, sin importar que alguien lo este viendo o no. El sistema SDV es bastante elegante y utiliza eficientemente el ancho de banda de la red, ya que para su transmisión únicamente rutea paquetes IP. Sin embargo, aumenta enormemente la complejidad de la red

4.2 Arquitectura del sistema IPTV

Para entender cómo un operador de red puede llevar a cabo una transmisión de IPTV por medio de una red de conmutación de video digital, vamos a explorar una típica arquitectura del sistema IPTV. Una cadena de televisión abierta de IPTV se puede dividir en cuatro secciones. (Figura 36).

Figura 36. Modelo de un sistema de IPTV *broadcast*.



Fuente: IPTV *Crash Course*, Joseph Weber, McGraw Hill

- **Contenido/Headend.** Es la fuente del gran contenido de video dentro del sistema. El punto central dentro de la red es el *headend* o súper *headend*. Este contiene la programación de *broadcast* y captura o ingresa el contenido del video en demanda al sistema.

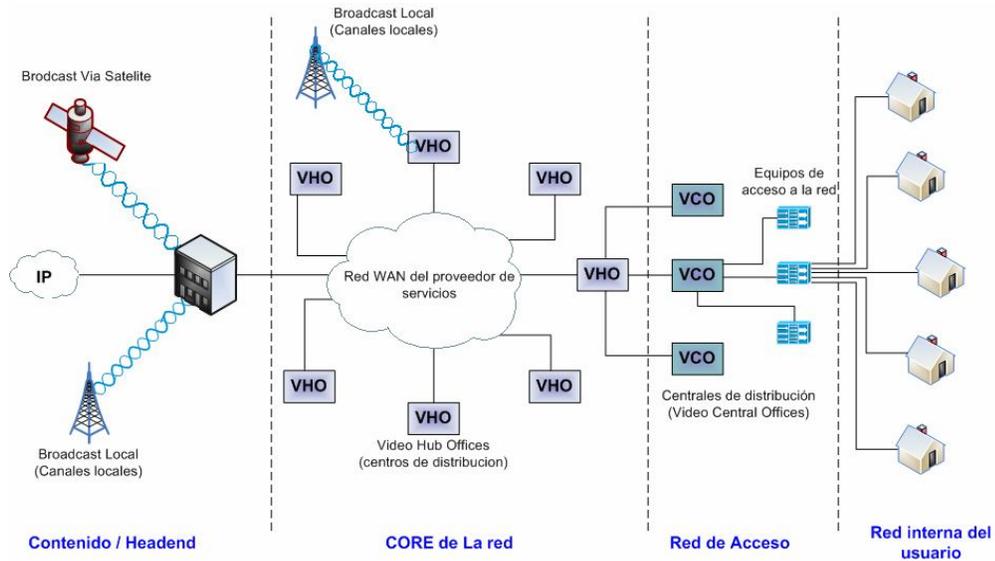
- **CORE de la red.** Es la parte que transporta todo el contenido del sistema (tráfico de alta velocidad de video, música, y datos). El *core* de la red es el *backbone* o columna vertebral del sistema IPTV, lleva tráfico de alta velocidad entre las regiones de servicio. Asimismo, el contenido local y la inserción de publicidad local para cada región podría insertarse en el *core* de la red.

- **Red de Acceso.** Es la última milla para la red del operador. Esta provee la conectividad a la red para los consumidores de los servicios de IPTV, de este punto hacia a sus hogares.

- **Red interna del usuario.** Es donde el servicio de IPTV entra a la casa (a través de un router). Es también donde esta la distribución de todos los dispositivos IP dentro del hogar (de voz, video y datos).

Expandiendo el diagrama de bloques de la figura 36 en la figura 37 se muestra como el contenido de video entra al sistema, como se transporta y como llega hasta los hogares.

Figura 37. Sistema IPTV



Muchos pequeños operadores obtienen el contenido de video de un agregador de contenido el cual obtiene la programación directamente del productor y la hace accesible a estos operadores. El contenido también puede venir pre-paquetizado de una transmisión de televisión digital vía satélite o proveedor de contenido, es por eso que se necesita que se haga la preparación para hacerlo disponible a la red. En el súper *headend* es donde todo el contenido es capturado y se le da el formato para su distribución dentro de la red incluyendo la transmisión de los servicios por demanda. Son varios los métodos para obtener el contenido a transmitir por la red, como la recepción de los canales internacionales vía satélite, recepción de canales locales terrestres y el contenido de proveedores que proporcionan enlaces de fibra óptica de redes metropolitanas.

Después de que el contenido de televisión es capturado en el *headend*, es formateado para su distribución dentro del sistema. Esto puede incluir la

conversión analógica digital de la señal para distribuir contenidos provenientes de canales locales terrestres y la transcodificación de contenido digital con propósitos de optimización del ancho de banda. Los formatos utilizados en la actualidad incluyen MPEG-2, MPEG-4, codificador avanzado de video (AVC) y VC-1. Los diversos *bitstreams* son agrupados y se eliminan elementos no necesarios para la red (por ejemplo, canales o programas indeseables o información del sistema irrelevante), luego son multiplexados para obtener un flujo de datos multiprograma. Se utiliza multiplexación estadística o tasa de Shaper para crear los flujos de datos necesarios para la red de distribución.

Para un sistema IPTV los diversos *streams* multiplexados son empaquetados en paquetes IP. La señal al salir de super *headend* hacia los equipos de distribución (VHO) demanda un gran ancho de banda de la red WAN. La WAN y la red de distribución constituyen el *core* de la red. La red WAN es el *backbone* del *core* de la red y maneja un gran ancho de banda para el transporte de paquetes IP a alta velocidad, se utilizan varias formas de conexión para la WAN como lo son gigabit *ethernet* o ATM para hacer la conexión con la red de distribución. Las centrales de distribución son sitios estratégicamente localizados por conveniencia entre el operador de servicios y la cantidad de usuarios en el área. Los paquetes *multicast* ingresan a la red de distribución a través de la WAN. En las centrales de distribución se pueden colocar receptores para poder agregar contenido de los canales de radiodifusión local. El contenido local se puede obtener también de forma digital y tiene que ser procesado de misma manera que en el súper *headend*. Por lo tanto estos sitios contienen equipo de *headend* (por ejemplo, codificadores, encapsuladores de IP, equipos de filtrado, etc.) para procesar el contenido local. Cada región tendrá su propio canal de VOD y sus propios canales locales. Cabe mencionar que estos canales pueden ser codificados por cuestiones de seguridad ya sea en el súper *headend* o en la central de distribución de video.

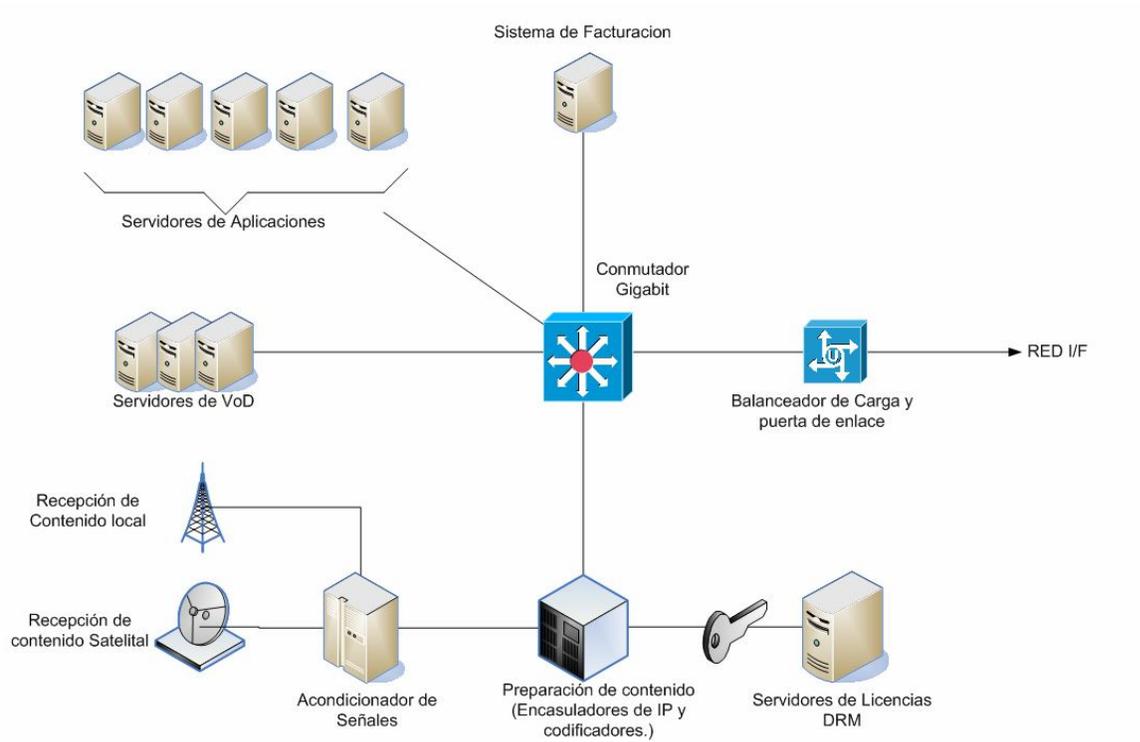
La central de distribución también puede contener los diversos equipos necesarios para la facturación (es decir, servidores), gestión de sistemas almacenamiento de datos y ruteo.

La data de IPTV viaja luego del equipo de distribución (VHO situado en el core de la red) hacia los equipos de acceso (VCO), haciendo uso de un gran ancho de banda de la red. Los equipos de acceso pueden ser por ejemplo multiplexores de línea digital por suscriptores (DSLAM's por sus siglas en inglés). Para el caso de las redes telco (redes de cobre para telefonía) el DSLAM rutea el video de la red a través de una línea de cobre (par trenzado) DSL hacia el consumidor final.

4.2.1 *Headend*

El corazón de un sistema IPTV es el súper *headend* (figura 38), este consiste de varios tipos de equipos diseñados para recibir el contenido de video, posiblemente equipos para reformatear el contenido, y preparar el contenido para distribuirlo por la WAN. Los componentes de un headend para IPTV son muy similares a los utilizados para los headends de televisión digital por cable. Sin embargo, los equipos son típicamente basados en el estándar para plataformas de servidores de PC, utilizados para la mayoría de aplicaciones web en lugar de los equipos específicos utilizados para la tecnología de TV por cable. Múltiples proveedores de equipo como por ejemplo; DELL, IBM y HP proporcionan servidores para montaje en bastidor (racks), con sistemas operativos basados en Linux y Windows. Esta es una de las ventajas del enfoque de los estándares basados en IP.

Figura 38. Diagrama de Bloques del súper *Headend*



Estas son las funciones realizadas por las componentes del diagrama de bloques de la figura 38:

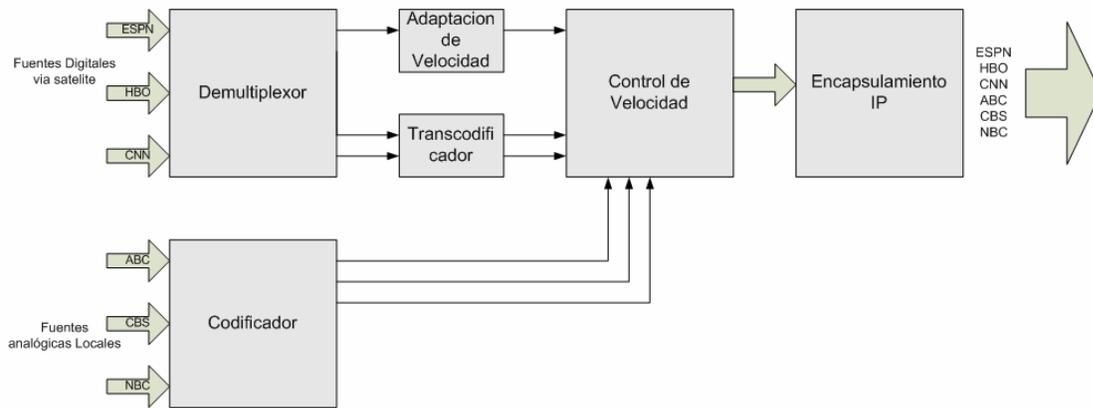
- **Recepción de contenido.** Está compuesto por los equipo que reciben la señal de video ya sea analógica o digital, estas señales pueden provenir de los proveedores locales de radiodifusión, de los proveedores de televisión vía satélite, o puede provenir de un proveedor de agregación de servicios como los ofrecidos por los centros de distribución de televisión digital. Esto incluye la emisión de los servicios por demanda. Cada vez más los canales digitales llegan a través de enlaces de alta velocidad por fibra óptica lo cual va sustituyendo los canales satelitales.

- **Acondicionamiento de la señal.** Esta parte consta del equipo de procesamiento de señales destinadas a mejorar las señales de vídeo procedentes de los equipos de recepción de contenido. Esto podría incluir receptores decodificadores integrados (IRD), equipos para la reducción de ruido, y equipos para conversión de video analógico a digital.

- **Preparación de contenido.** El contenido es pasado por codificadores para preparar el *stream* de video en un formato que sea adecuado para que sea transportado y recibido por una red IP. Este constará de equipos que digitalicen señales que provengan de fuentes analógicas y transcodificadores de contenido digital para poder colocarlo en formato adecuado para que pueda verse en el equipo de IPTV, como por ejemplo; MPEG-2, Windows Media Video 9, *Real network* 10, o MPEG-4 AVC. Normalmente la tasa de bits para definición estándar es de 1.5 Mbps y para HDTV es de 8 Mbps.

- **Administrador de derechos digitales (DRM).** Como parte del proceso de codificación, se tiene el sistema de administración de derechos digitales (DRM), este sistema encripta el contenido y lo inserta en un contenedor de gestión de derechos digitales para impedir el uso no autorizado del contenido. La figura 39 muestra un diagrama de bloques de un sistema común para preparación de contenido digital. Esta muestra como el contenido de video se recibe de una fuente satelital y una fuente local de radiodifusión y como es procesada. Los canales de fuentes digitales se pueden transcodificar (es decir, con una compresión avanzada) para obtener una optimización de la tasa de bits a transmitir. El contenido de la fuente local de radiodifusión se codifica en el formato digital deseado. Todo el contenido digital obtenido es encapsulado en paquetes IP.

Figura 39. Sistema para la preparación de contenido de video.



- **Servidor de licencias DRM.** Administra, autoriza, y da informes de las transacciones realizadas y gestiona el cifrado del contenido de datos. El servidor verifica las licencias de solicitudes de contenido, y verifica los datos del usuario, y autentica a los usuarios finales negando o autorizando el acceso. También proporciona información de auditoria para facilitar los pagos por los servicios.
- **Servidores de VOD.** Los servidores de VoD o servidores de Medios de comunicación son servidores que pueden servir un gran flujo de datos y poder de esta manera atender a un buena cantidad de clientes simultáneamente. La limitación de estos servidores radica en el ancho de banda que pueden sostener, por lo tanto, debe de aumentar la cantidad de servidores dependiendo de la cantidad de suscriptores que solicitan el servicio. El contenido puede ser guardado en el servidor de multicast (un único flujo de streams enviado a varios televidentes simultáneamente) a un grupo de espectadores en una fecha fija, o en un servidor unicast para los usuarios de un sistema VOD. Dependiendo de la arquitectura del sistema

los servidores de VOD pueden estar ubicados en el súper headend o en el CORE de la red (VHO).

- **Servidores de aplicaciones.** Los servidores de aplicaciones pueden variar mucho entre los diferentes sistemas IPTV dependiendo de sus características, funcionalidades, el *middleware* o software de conectividad, escalabilidad y sistema operativo. Los servidores de aplicaciones pueden contener la guía de programación electrónica, el sistema de acceso, servidor para la navegación, el portal IPTV y diagnóstico remoto de fallas. Tal como sucede con los servidores de VOD los servidores de aplicaciones también pueden residir en el súper *headend* o en el *core* de la red.

- **Sistema de Facturación.** La base de datos de los abonados contiene toda la información específica con respecto al nivel de servicio que el usuario está autorizado a utilizar y otro tipo de información que se utilizará para la facturación (tal como dirección del cliente, información de tarjetas de crédito y así sucesivamente). Este sistema lleva la tarificación por cliente y puede emitir la factura cada cierto período para hacer el cobro del servicio.

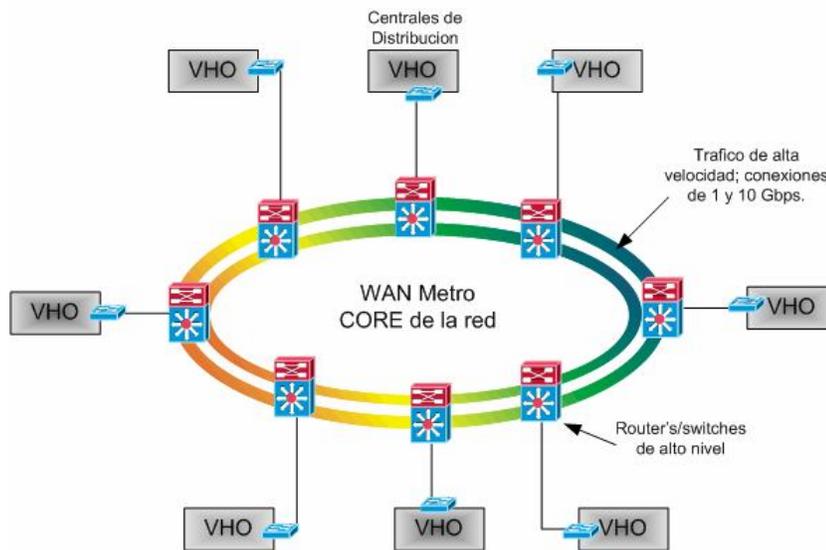
- **Balanceador de carga.** Proporciona un balanceo de carga y control de flujo para luego ser enviados a la interfase de la red.

4.2.2 El **CORE** de la red.

El *core* de la red consiste en un *backbone* de fibra óptica (WAN) que interconecta varias centrales de distribución (VHO). El core recibe los datos del headend y los transporta hacia la red de acceso. El objetivo principal del CORE es proporcionar suficiente ancho de banda para el transporte para los datos y video, y mantener el tráfico de red entre varias áreas de servicio y la fuente de

contenido (el *headend*). El *CORE* también proporciona la capacidad para insertar contenidos locales (incluyendo los sistemas de alarmas de emergencia) en cada área de servicio.

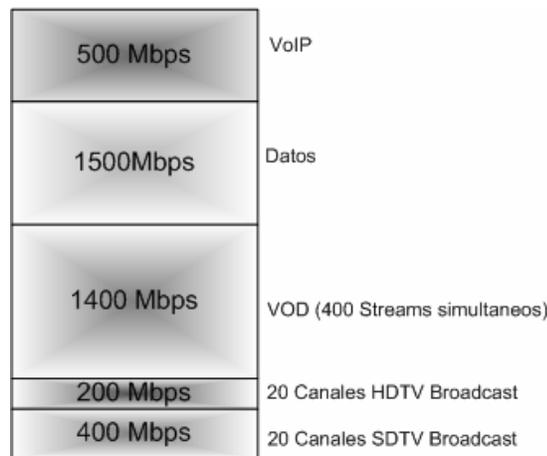
Figura 40. Arquitectura de alto nivel para el CORE de la red.



El *CORE* debe tener la capacidad de transportar más tráfico si el sistema crece en clientes y contenido, esto se logra aumentando el ancho de banda entre las conexiones del *core*. La figura 41 nos muestra un análisis de tráfico IP requerido en una central de distribución (VHO). Nótese que los números van variando dependiendo del cada operador, los parámetros de servicio, y la cantidad de clientes que tenga cada operador. Se puede ver que la capacidad total de *core* debe ser la multiplicación del requerimiento de ancho de banda de cada centro de distribución por la cantidad de centros de distribución en el sistema. Por ejemplo si un centro de distribución (VHO) requiere 4 Gbps, y se tienen 10 centros de distribución la capacidad total en el *core* tiene que ser de 40 Gbps, tomando en cuenta que no se debe dejar al límite esta capacidad se

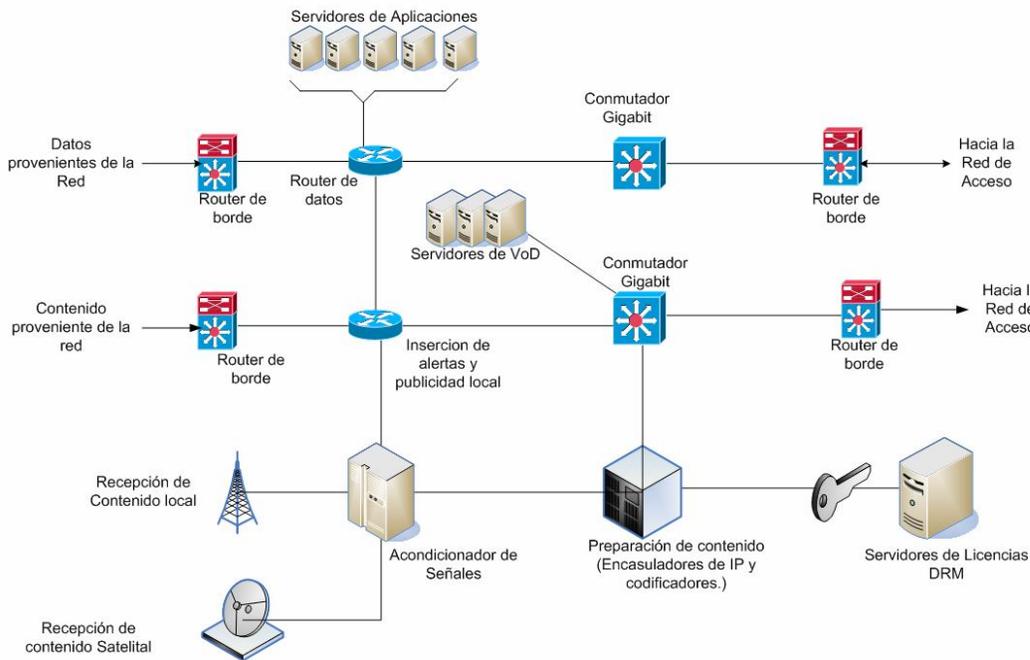
tiene que considerar un *CORE* que maneje 50 Gbps. Por este motivo, para el crecimiento futuro se recomienda que el tráfico de voz sobre IP (VoIP) y los datos sean transportados en anillos de fibra diferentes, y de esta manera mantener un *CORE* para datos y Voz y un *CORE* para video. Dependiendo de la aplicación de la red, un operador puede optar por el transporte de datos y video sobre la misma fibra óptica o transportarlo por fibras separadas.

Figura 41. Análisis de ancho de banda para una central de distribución que demanda 4 Gbps de ancho de banda al *CORE* de la red.



La central de distribución (figura 42) puede tener un súper *headend* pero en realidad se ocupa de procesos y contenido a una escala mucho menor. Desde el punto de vista de contenido el *headend* en la central de distribución proporciona información local (como por ejemplo sistema de alertas) y el contenido local proveniente de las emisoras locales de televisión, y para la inserción de comerciales de productos de la localidad.

Figura 42. Diagrama de bloques de una central de Distribución.



4.2.3 Redes de acceso telco

Telco es un nombre genérico utilizado para designar a una gran empresa de telecomunicaciones, que necesita unas aplicaciones muy grandes para poder dar servicios a millones de clientes.

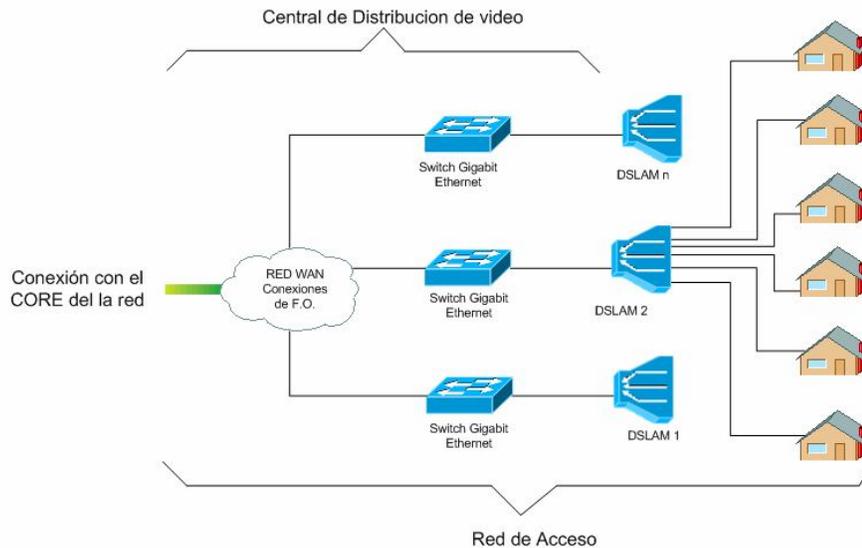
4.2.3.1 Acceso por cobre

La red de acceso provee el enlace entre el CORE de la red y los consumidores en los hogares. Esta provee una translación de la red conmutada (por ejemplo la que está basada en fibra óptica) hacia los equipo de acceso que tenga el proveedor para llegar hacia la red de los hogares. La red de acceso por lo general es llamada última milla.

La mayoría de operadores de telecomunicaciones utilizan tecnologías DSL (Línea de Subscriptor Digital) para entregar los servicios de banda ancha e IPTV a los hogares en su red de acceso. Ellos pueden elegir entre varias tecnologías DSL como los son: ADSL (DSL asimétrico) o DSL, DSL2 DSL2+, VDSL (DSL de alta velocidad) y G.SHDSL. Los multiplexores de acceso a líneas de suscripción digital (DSLAM's) transfieren la señales proveniente de la optica hacia los cables de cobre para la entrega de DSL en los hogares de los clientes. Los DSLAM's a menudo son instalados dentro de los vecindarios, es por esta razón que a estos sistemas IPTV se le conoce con el nombre de despliegues de fibra en el borde o FTTC.

La red de acceso para la conexión con los DSLAM's ofrece el contenido de IPTV proveniente del CORE de la red a través de una interface WAN Gigabit *ethernet* (la cual puede ser óptica o en cable UTP) de los *switches* de distribución (figura 43). En estas redes los *switches* entregan a los DSLAM's todo el contenido de televisión y datos para su distribución por la red de cobre. Los DSLAM's pueden esta ubicados en las centrales de distribución (VCO) o mas cerca de las casas dentro de los barrios. La combinación del DSLAM y el *switch ethernet* es necesaria para poder reducir el ancho de banda en la red de acceso, Los DSLAM's son los encargados de rutear todos los canales *broadcast* hacia cada puerto de abonado. De esta manera la red de acceso no rutea todo el contenido hacia cada línea de consumidor sino que sólo los canales que están siendo monitoreados.

Figura 43. Diagrama de bloques de una red de acceso



4.2.3.2 Acceso por fibra óptica

La introducción de la fibra óptica en el nodo de acceso va a permitir el disponer de un medio de transmisión de gran ancho de banda para el soporte de servicios de banda ancha, tanto actual como futuro.

En este caso la técnica de transmisión más utilizada es la multiplexación por división en longitud de onda WDM (*Wavelength División Multiplexing*) y la configuración punto a punto.

Los usuarios de negocios o comunidades científicas o educativas se suelen conectar a un anillo de distribución SDH que permite velocidades de varios cientos de Mbit/s. Al ser toda la infraestructura de fibra óptica, se proporciona una transmisión muy segura y libre de errores, con una alta capacidad de transferencia si se emplea, por ejemplo, ATM.

Los operadores utilizan el despliegue de fibra óptica hasta el domicilio del cliente (FTTH). El sistema FTTH provee un gran ancho de banda para el consumidor y se puede tener varios servicios simultáneamente, pero utilizar fibra óptica hasta los hogares de los consumidores es sumamente caro.

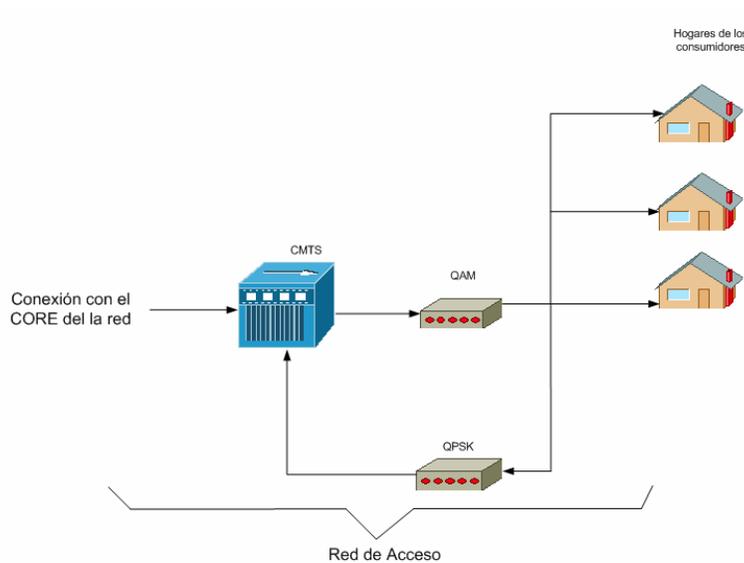
En una estructura de red basada en fibra óptica la red de acceso es una transición de una red de fibra óptica activa a una red de fibra óptica pasiva, más conocida como PON (del inglés *Passive Optical Network*). En estos casos la fibra óptica puede transportar varios servicios de datos y video utilizando divisores pasivos hasta llegar a los usuarios finales en los hogares. Una red PON es menos costosa y más fácil de dar mantenimiento que una red activa. Debido a que las últimas millas contienen la mayor cantidad de kilómetros de fibra necesaria para llegar a millones de hogares, la arquitectura PON es utilizada por ser más económica. Hay una gran variedad de tecnologías PON para la creación de varias arquitecturas de red. Entre ellas están el modo de transferencia asíncrono PON (APON), *Ethernet* PON (EPON), y Gigabit PON (GPON)

4.2.3.3 Redes de acceso por cable

Las redes de acceso por un operador de cable utilizan Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM) para modular la señal de RF a través del cable coaxial. Así como la tecnología DSL de banda ancha permite transmitir datos y video a través de los cables de cobre de par trenzado (líneas telefónicas), así la DOCSIS (*Data Over Cable Service Interface Specification*) permite a los operadores de cable transmitir datos de banda ancha a través de cables coaxiales. En DOCSIS una parte de la red de cable se convierte en una red IP, que permite la descarga y transmisión de video IP. Por lo tanto puede extender sus servicios en una red existente basando su diseño en una red DOCSIS de

banda ancha. La figura 44 muestra un acceso por red de cable para la última milla hacia el domicilio del consumidor. DOCSIS especifica utilizar modulación por cambio de fase en cuadratura (QPSK) para el canal de retorno. Una Terminal de Cable Módem (CMTS) que es la interconexión entre el sistema IP y la señal de RF (en el cable coaxial), normalmente utiliza modulación QAM para el canal de *downstream* (bajada de datos) que viene directamente del CORE y modulación QPSK para el canal de *upstream* (subida de datos), normalmente llamado canal de retorno.

Figura 44. Diagrama de Bloques e una red de Acceso por Cable.



4.2.4 Red del usuario final (o red doméstica)

La típica red doméstica constará de un modem de banda ancha y un router. La combinación de estos dos dispositivos conforma la puerta de enlace residencial; luego vienen los dispositivos del cliente como lo son el receptor IPTV y la computadora. El modem convierte el protocolo de modulación utilizado por la red de acceso (DSL en el caso de cobre, DOCSIS para el caso

de cable) en un solo estándar que sea entendido por los dispositivos del hogar. Varias tecnologías de capa física son utilizadas para la distribución de la señal dentro del hogar como por ejemplo, medios inalámbricos (*wireless*), *Ethernet* CAT5, cable coaxial, la línea telefónica y la red eléctrica. Para la entrega se debe cumplir con todas las normas de instalación debido al gran ancho de banda que este maneja, con el fin de garantizar la calidad del servicio, lo cual es responsabilidad del proveedor del servicio.

Normalmente el modem y router vienen integrados en un solo dispositivo el cual se conoce como CPE (*Customer Premises Equipment*). El CPE es un equipo de telecomunicaciones usado en interiores como en exteriores para originar, encaminar o terminar una comunicación. Por ejemplo, los *router's* ADSL, STBs (*Set Top Boxes*) o cajas de IPTV.

Son unidades terminales asociadas a equipamientos de telecomunicaciones, localizadas en el lado del suscriptor (puede ser un DSLAM o un cable módem por ejemplo.) y que se encuentran conectadas con el canal de comunicaciones del proveedor (cobre, fibra o cable coaxial) o portador de información, sean estos datos, voz o video.

El CPE provee, dependiendo del proveedor de servicios de Internet una dirección IP, estática o dinámica al equipo que se le conecte.

4.3 Aplicaciones adicionales para el modelo IPTV

IPTV no es exclusivamente para el consumo doméstico. El modelo IPTV es una buena opción para los proyectos empresariales que se consideran demasiado difíciles o caros de implementar con otras tecnologías, de echo la mayoría de proveedores de servicios de telecomunicaciones utilizan los

DSLAM's para dar las últimas millas a sus clientes corporativos. El modelo IPTV simplifica la integración de video y otras aplicaciones, disminuye los costos en compra de equipo nuevo, y reduce los costos de mantenimiento. Numerosas aplicaciones en el mundo de los negocios podrían utilizar las bases de la tecnología IPTV, incluyendo videoconferencias, transmisión de datos, capacitación a distancia. Esta tendencia seguirá creciendo a medida que más compañías vayan explorando las ventajas y capacidades de IPTV, y vayan descubriendo la manera de implementarlo en sus redes. Por lo tanto, las aplicaciones de IPTV a los negocios podrían ser explotados en las grandes empresas, almacenes, supermercados, tiendas de conveniencia, gasolineras, compañías aéreas, casinos y centros comerciales.

4.3.1 Señalización digital (vallas publicitarias)

En los últimos años se ha producido un cambio en las organizaciones en el forma utilizada para emitir mensajes importantes para su público, incluidos los clientes, empleados, socios y estudiantes. Las empresas se están alejando de las vallas impresas, ahora se esta migrando a medios más flexible como señales digitales, a menudo referida como señalización digital (*digital signage*), vallas publicitarias electrónicas, o e-señalización.

Los presupuestos de telemarketing y publicidad están siendo dirigidos a este nuevo medio electrónico. Las organizaciones están aprovechando la señalización digital para promover productos y servicios en sus sucursales y tiendas, y obtener mayores ganancias, al hacer la publicidad más interactiva con sus clientes. Otras organizaciones, como las educativas, de salud, deportivas, de entretenimiento y transporte, son también potencialmente áreas de aplicación de la señalización digital como una herramienta para atraer más

clientes y mejorar sus utilidades. Lo que resulta en nuevos usos y demandas en las redes de proveedores.

Uno de los componentes críticos para el éxito de señalización digital es el despliegue de las redes y la disponibilidad de ancho de banda. La alta calidad de los archivos de vídeo, como los utilizados en la señalización digital, son inherentemente grandes y pueden causar graves problemas de congestión de la red si no se diseñan y administran correctamente. La correcta evaluación inicial y planificación puede ahorrar tiempo, dinero, la prevención de la pérdida de productividad, el rendimiento bajo de la red, y usuarios descontentos.

Los tipos de contenido publicitario que se pueden tener en una señalización digital incluyen video digital (MPEG-2, AVC, o VC1), gráficos animados (como los que se construyen utilizando *macromedia Flash*), imágenes de alta resolución de brillo (JPEG), y las imágenes generadas por computadoras con texto enriquecido (*Power Point*). Posiblemente la pieza más importante para la señalización digital es el dispositivo de visualización (pantalla), lo que es, en última instancia donde el consumidor ve el anuncio. Estos dispositivos pueden ser pantallas muy grandes, monitores de alta definición (por ejemplo, LCD o plasma), televisores medianos o grandes, o pantallas LCD portátiles.

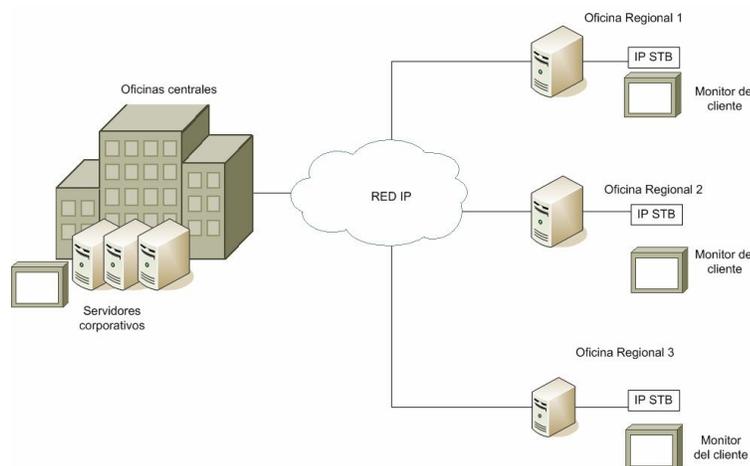
4.3.2 Video empresarial

El video empresarial es un tema que incluye muchas de las aplicaciones antes mencionadas. Un buen ejemplo de video empresarial es el que se muestra en la figura 45 en el cual la aplicación requerida de IPTV es B2B. En este ejemplo, se muestra una compañía financiera que maneja las inversiones de sus clientes (acciones, bonos, etc.) Esta empresa quiere distribuir información de los analistas financieros a los clientes en las oficinas regionales.

Los analistas financieros se encuentran en la sede central de la compañía. El analista supervisa los distintos mercados financieros y genera numerosos informes, recomendaciones, y videos para sus clientes (las estrategias de inversión, planes de jubilación, la matrícula universitaria planes de ahorro, y así sucesivamente).

El contenido es creado, revisado y aprobado en la sede. Cuando el contenido esta listo para su distribución, la oficina de la sede se traslada a las oficinas regionales a través de la red de banda ancha o vía satélite (y el analista puede interactuar con el cliente a través de una videoconferencia). Cada oficina regional se conecta a la sede a través de la red de banda ancha. El contenido puede ser enviado a todas las oficinas regionales (la sede envía a cada oficina) o enviado a una sola oficina (la oficina regional solicita los archivos de la sede). Parte de este contenido podría ser objeto de edición en las oficinas regionales (consejos regionales de riesgos). Una vez que se tiene el contenido en la oficina regional, el contenido es transferido al disco duro del IP STB para la reproducción o por transmisión directa desde el servidor de la sede central a través de la red IP.

Figura 45. Diagrama de un sistema de Video Empresarial



5. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA IPTV (IPTV en el Hogar)

El modelo del sistema IPTV está diseñando para ser aplicado sobre redes de proveedores de servicios, como las compañías de telecomunicaciones y operadores de cable, quienes ya cuentan con la infraestructura necesaria para la comunicación entre centrales y así puede llegar a todos usuarios de diferentes comunidades. Al hablar de la infraestructura nos referimos al *backbone* de fibra óptica y equipos de transmisión de alta velocidad (enlaces de 1 ó 10 Gbps) con que cuentan las compañías de telecomunicaciones, además hoy en día la mayoría de operadores ofrecen servicios en tecnologías DSL, *metroethernet* y *Wimax*, también los operadores de cable ofrecen servicios de banda ancha por cable módem. Al hablar de implementación del sistema vamos a hacer referencia a la parte del sistema en casa, ya que la infraestructura del operador es existente y únicamente se tienen que instalar los servidores necesarios en cada central de distribución e implementar el *headend* del cual se mencionó. En Guatemala existen varias empresas que prestan servicios de telecomunicaciones, estas empresas ya dan enlaces en DSL para el servicio básico de *Internet*, esto nos indica que el escenario para prestar el servicio de IPTV está listo. En esta sección se hablara de los componentes necesarios para implementar la red IP del cliente, algunas características técnicas que se deben considerar para la implementación del sistema, equipo a utilizar y tecnologías existentes.

5.1 Redes digitales para el hogar (DHN)

Las redes DHN se han vuelto cada día más significativas por la cantidad de hogares que han adquirido más de una computadora lo cual ha desarrollado un fuerte deseo por compartir información entre ellas. La utilización de la red doméstica puede ser para compartir una conexión a *Internet*, juegos en red, compartir archivos, y compartir impresoras. Con los últimos avances tecnológicos en el video digital y la televisión sobre IP los consumidores desean incluir la distribución de video en la red doméstica. Algunos ejemplos de esta aplicación es IPTV, compartir videos de un dispositivo a otro, tener una biblioteca de DVD's, y videoconferencias.

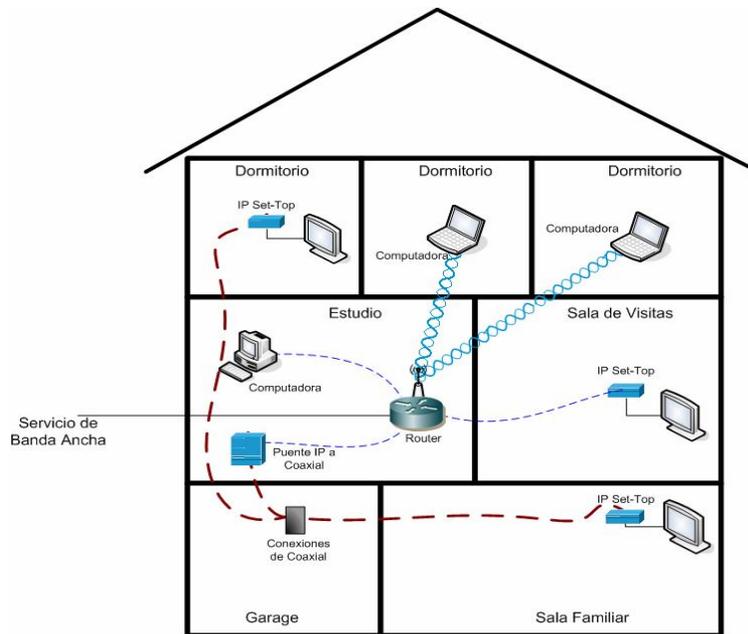
Como el uso de las redes domésticas (*Domestic Home Network, DHN*) crece, la atención se dirige a la capa física de esta red, métodos de conexión de estos dispositivos a la red, y que tecnología DHN a utilizar. La forma más básica de una red doméstica es un cable *ethernet* CAT5 entre dos computadoras, suponiendo que se encuentran bastante cerca. Pero normalmente una computadora esta bastante distante de la otra. De hecho, en la mayoría de ocasiones las computadoras se encuentran en diferentes habitaciones y muy posiblemente en diferentes pisos de la casa. Con una casa de múltiples habitaciones y varios pisos, la pregunta es como se distribuye la red dentro de la casa. Tanto el consumidor cómo el operador de red desean una instalación fácil y simple cuando se conecta o construye la red dentro de la casa.

Con el avance de la tecnología y el crecimiento del mercado, esperamos que las instalaciones de redes domésticas puedan ser más personalizadas para cada usuario y se tenga la capacidad de adecuar la red doméstica DHN dentro del ambiente físico del hogar. El único elemento común en toda la red doméstica es el protocolo IP, el cual es la base para la televisión sobre IP

(IPTV). Además, se espera que la mayoría de las redes domésticas sean híbridas; esto significa que puedan manejar múltiples medios de transmisión y diferentes tecnologías. Por ejemplo, hoy en día se utiliza una mezcla de cableado estructurado con cable CAT5 y red inalámbrica para interconectar las computadoras en los hogares. A medida que los consumidores van incluyendo datos de video en la red, se requieren nuevas soluciones ya que la tecnología inalámbrica utilizada en la actualidad no es adecuada para la distribución de video debido a que no da el ancho de banda suficiente, no tiene calidad de servicio (QoS), tiene interferencias, etc.

Un ejemplo de red digital para el hogar se muestra en la figura 46. Esta casa tiene tres computadoras y tres televisores. El centro de esta red es el *router/gateway* que conecta la red de la casa al proveedor de banda ancha. Una conexión *Ethernet* conecta el router con el dispositivo puente (convierte *ethernet* a RF para utilizar coaxial) en el estudio para poder llevar la señal por medio de cable coaxial hacia los IP *set-top boxes* que conectan cada televisor. Uno se encuentra en la sala familiar del sótano y el otro un piso arriba. Dos dispositivos se conectan por medio de cable categoría 5 (CAT5); una computadora en el estudio y un *set-top box* en la sala. La red se complementa con dos computadoras situadas en el segundo piso, conectadas de manera inalámbrica.

Figura 46. Ejemplo de una red DHN híbrida.



5.2 Medios de transmisión para redes domésticas DHN

El cambio del cableado en algunas casas puede ser una tarea muy difícil y desagradable para el cliente. Por lo tanto el objetivo fundamental de DHN es no disponer de nuevos cableados. Los medios de transmisión adecuados para una DHN son los que se describen a continuación.

- **Cable UTP categoría 5 (CAT5).** Debido a la popularidad que han ido ganando las computadoras y las redes domésticas, muchas de las viviendas nuevas incluyen cableados de UTP CAT5 para poder tener conectividad *ethernet*. El número de estas instalaciones es actualmente bajo, pero va en crecimiento. Lo que hace al cable UTP conveniente es que la mayoría de los dispositivos IP ya tienen interfaz con conector RJ-45, además ofrece el mejor desempeño en las tecnologías existentes.

- **Medio inalámbrico (*Wireless*).** Conectar los dispositivos en la casa con tecnología inalámbrica es una de las alternativas más fáciles de implementar ya que no requiere de cableados. La industria de la computación ha estado proporcionando soluciones de red inalámbrica desde hace varios años. Sin embargo las tecnologías inalámbricas se han dirigido a aplicaciones de datos y para la distribución de video.

- **Líneas de potencia (*Power Line*).** La energía eléctrica es distribuida en casi todas las casas del mundo. Por otra parte todas las habitaciones que tienen una computadora o un televisor tiene que tener una conexión a las líneas de energía eléctrica. Por lo tanto la red eléctrica esta presente en todos los sitios de la casa, lo que hace que la tecnología *power line* sea una solución muy atractiva para redes DHN. Los adaptadores de *power line* hacen la interconexión entre la red IP y la red eléctrica, convirtiendo la toma de corriente eléctrica en una toma de CAT5 RJ-45, los datos viajan a través de las paredes hacia algún otro lugar dentro de la casa donde pueden ser recibidos con el mismo tipo de adaptador de red eléctrica, después de pasar por el adaptador pueden ser ingresados a los dispositivos IP (Por ejemplo, una computadora o un STB).

- **Teléfono o línea telefónica.** La mayoría de las casas tiene una conexión telefónica, y por lo regular tienen múltiples conexiones telefónicas hacia las habitaciones, lo que hace que la tecnología de red DHN basada en líneas telefónicas sea una de las más atractivas. Si embargo no todas las habitaciones de las casas tienen toma de teléfono. Si embargo, aunque una toma de teléfono se encuentre en la misma habitación en la que se encuentra un televisor, puede que esta toma de teléfono se encuentre en otro lado de la habitación, lo que también resta un poco el uso de líneas telefónicas para la distribución de datos IP.

- **Cable coaxial.** Con la popularidad de la televisión por cable la mayoría de casas nuevas (construidas después de la aparición de la televisión por cable), tienen circuitos de cable coaxial dentro de ellas, y por lo regular todas las habitaciones tienen toma para televisión por cable. Por lo regular las tomas de cable se instalan cerca de donde normalmente se coloca el televisor. El cable coaxial esta disponible en muchas habitaciones pero no en todas.

Debido a que el enfoque de las redes DHN es no hacer nuevos cableados dentro de la casa, esto obliga a que estos medios de transmisión sean utilizados. Por tal motivo se tienen que verificar las tecnologías DHN adecuadas para estos medios de transmisión y sus respectivas soluciones para ser implementados. Aparte del soporte físico hay otros factores importantes en la implementación de la red DHN, entre los cuales figuran los siguientes.

- **Costos.** Cualquier modelo de red DHN seleccionado tendrá un costo, por lo que se recomienda buscar siempre el que menos costo involucre y que cumpla con las necesidades a cubrir.
- **Estándares en los que se basa la tecnología.** Normalmente todos los proveedores de equipo y servicios manejan los mismos estándares, esto hace que los costos se reduzcan un poco.
- **Durabilidad.** Siempre se deben de considerar equipos y cableados que sean de alta durabilidad dentro de la casa.
- **Ancho de banda.** Se debe considerar la cantidad de dispositivos que se tendrán dentro de la casa, para hacer el diseño de la red DHN, ya que ésta

debe soportar las demandas de ancho de banda que requieran los dispositivos instalados dentro de la casa.

- **QoS (calidad de servicio).** La calidad de servicio es sumamente importante para el tráfico de audio y video. Este tráfico no puede ser perdido o retardado, de lo contrario, se tendrá una mala calidad en la recepción del audio y video, se tiene que considerar dispositivos que manejen algún tipo de calidad de servicio (QoS).

5.2.1 Cableado con UTP.

El cableado estructurado en categoría 5 es el tipo de cableado más solicitado hoy en día. El cable UTP (*Unshielded Twisted Pair*) posee 4 pares de cable de cobre bien trenzados entre sí.

- Par 1: Blanco/Azul * Azul -----Contactos: 5 * 4
- Par 2: Blanco/Naranja * Naranja-----Contactos: 3 * 6
- Par 3: Blanco/Verde * Verde-----Contactos: 1 * 2
- Par 4: Blanco/Marrón * Marrón-----Contactos: 7 * 8

Este tipo de cableado ofrece la más alta confiabilidad en cuanto a niveles de ancho de banda y estabilidad. Tiene la particularidad que se pueden ocupar todo el ancho de banda que soporta en cualquiera de sus 4 pares. Utilizando UTP CAT5, la limitación del medio de se ajusta a 100 Mbps lo cual es suficiente para la distribución de video.

Esta normalizado por los apéndices EIA/TIA TSB 36 (cables) y TSB 40 (conectores). Los elementos certificados bajo esta categoría permiten mantener las especificaciones de los parámetros eléctricos dentro de los límites fijados

por la norma hasta una frecuencia de 100 Mhz en todos sus pares. Como comparación se detallan los anchos de banda de las otras categorías:

- Categoría 1y 2: No están especificadas
- Categoría 3: hasta 16 Mhz
- Categoría 4: hasta 20 Mhz
- Categoría 5: hasta 100 Mhz

Los parámetros eléctricos que se miden son:

- Atenuación en función de la frecuencia (db)
- Impedancia característica del cable (Ohms)
- Acoplamiento del punto mas cercano (NEXT- db)
- Relación entre Atenuación y Crostalk (ACR- db)
- Capacitancia (pf/m)
- Resistencia en DC (Ohms/m)
- Velocidad de propagación nominal (% en relación C)

Distancias permitidas. Se debe tener en cuenta que la distancia del cable no puede ser excesiva; un buen cable de categoría 5, podría llegar a los 75m., aunque si el cable es de muy buena calidad, blindado, y las condiciones son óptimas, se pueden alcanzar más. El total de la distancia especificado por la norma es de 99 metros. El límite para el cableado fijo es 90 m y no está permitido excederse de esta distancia, especulando con menores distancias de *patch cords*, el límite para los *patch cord* en el panel es 6 m. El límite para los *patch cord* en la conexión del Terminal es de 3 m.

5.2.2 Redes inalámbricas (*Wireless*)

Sin lugar a dudas los medios inalámbricos son los más sencillos para interconectar dispositivos dentro de una red DHN ya que no requiere cables. La industria de la informática ha marcado el camino para la adopción masiva de la tecnología inalámbrica basada en *WiFi* (estándar IEEE 802.11x). Hoy en día los *router's* para banda ancha traen integrada ya la antena para *WiFi*, lo cual hace mucho más fácil el acceso por medio de *WiFi* en muchas casas, ya que viene integrado en el router que el proveedor de banda ancha le instala. Lo mejor es conectar los dispositivos con un cable CAT5 para garantizar el rendimiento la confiabilidad de la red, pero si esto requiere un nuevo cableado, es más conveniente utilizar *WiFi*, por lo menos en el caso en que se transmiten solamente datos, *WiFi* funciona bastante bien.

Existen otras tecnologías inalámbricas (como por ejemplo Hiper LAN), pero centraremos nuestra atención en el estándar 802.11. No solo porque WiFi domina el mercado actual, sino porque también esta tecnología sigue avanzando y cada día se van diseñando más dispositivos que manejan el estándar de WiFi. Si embargo WiFi tiene sus limitaciones y deficiencias. La tabla VIII muestra las distintas tecnologías 802.11x y sus características asociadas.

Tabla VIII. Parámetros de Tecnologías inalámbricas 802.11x

Tecnología	Frecuencia	Ancho de banda	Ideal Para Video	Estándar	Rango	Costo
802.11a	5 GHz	54 Mbps	No	IEEE	Bajo	Bajo
802.11b	2.4 GHz	11 Mbps	No	IEEE	Bajo	Bajo
802.11g	2.4 GHz	54 Mbps.	No	IEEE	Medio	Bajo

- **802.11a.** Es una tecnología *WiFi* que opera a 5 GHz y ofrece una velocidad de datos relativamente alta, 54 Mbps. Utiliza modulación OFDM (Multiplexación Ortogonal por División de Frecuencia), lo cual le permite operar a 54 Mbps, pero esa tasa se puede reducir según las necesidades a 48, 36, 24, 18, 12, 9 y 6 Mbps según las necesidades. Como 802.11a opera a 5 GHz no experimenta las mismas interferencias como las de 802.11b/g. Sin embargo esta mayor frecuencia significa que 802.11a no puede penetrar paredes y pisos al igual que 802.11b, ya que la energía se absorbe más fácilmente.

- **802.11b.** Fue la primera tecnología *WiFi* que funciona a 2.4 GHz y proporciona un nivel relativamente de datos que está en 11 Mbps. Utiliza modulación CCK (Modulación de código complementario), lo cual le permite trabajar a 11 Mbps, pero estas tasas de transmisión se pueden adecuar a 5.5, 2 y 1 Mbps, según lo requerido. Debido a que 802.11b opera en la banda de 2.4 GHz, tiene muy buenas características de propagación, sin embargo, hornos de microondas, teléfonos inalámbricos y dispositivos *Bluetooth* pueden interferir con la señal de 802.11b.

- **802.11g.** Es la tecnología *WiFi* más utilizada en la actualidad, sustituyó completamente a 802.11b. Funciona en la misma frecuencia de 2.4 GHz, pero ofrece una mayor velocidad de transmisión de datos. También utiliza modulación OFDM (al igual que 802.11a), que le permite manejar la misma velocidad de datos que 802.11a (54, 48, 36, 24, 12, 9 y 6 Mbps), pero también puede trabajar con modulación CCK (802.11a) para operar a 11 y 5.5 Mbps. La tecnología 802.11g es la más reciente y su popularidad ha hecho obsoleta la tecnología 802.11b para todos los fines prácticos.

Hay que tener en cuenta que ninguna de estas tecnologías (802.11a/b/g) es adecuada para la distribución de video por los siguientes problemas:

- La distribución de video requiere un alto y constante ancho de banda, estas tecnologías inalámbricas experimentan una pérdida significativa de velocidad de transmisión con respecto a la distancia. Por lo tanto, como el receptor de *WiFi* se coloca mas lejos que el transmisor (hay que agregar a esto las pérdidas en atravesar pisos y paredes), la velocidad de transmisión se reduce en forma dramática.
- La distribución de video requiere un canal constante libre de errores en los datos. Estas tecnologías inalámbricas a menudo experimentan errores de transmisión (por la interferencia en la señal), lo que lleva a que se vea la imagen distorsionada.

Ninguna de estas tecnologías proporciona QoS garantizada, aunque hacen su mejor esfuerzo por lograrlo. Por lo tanto para la distribución de video lo más probable es que la señal de video se pierda en algunos momentos.

802.11n abriga la posibilidad o la esperanza de resolver muchos de estos problemas con respecto a la distribución de video. El estándar 802.11n se estima que tendrá una velocidad de transmisión de 600 Mbps y tendrá QoS para aplicaciones de video, pero aun esta en desarrollo. 802.11n también incorporara múltiple entrada múltiple salida (MIMO), lo que significa que tendrá múltiples antenas de transmisión en el receptor y transmisor. MIMO permite al estándar 802.11n que alcance el ancho de banda indicado a través de la multiplexación espacial y la diversidad de espacio.

Por todo lo anterior es importante tomar en cuenta para un diseño de red DHN, que no se puede tener confianza en los medios inalámbricos para la distribución de video, ya que estos no garantizan el ancho de banda y la disponibilidad del enlace en todo momento. Se pueden utilizar los medios inalámbricos solamente para la transmisión de datos (Compartir archivos, Internet, etc.), pero para el caso de IPTV no es recomendable, si se desea tener la máxima satisfacción al momento de ver el contenido de video en la red.

5.2.3 Líneas de potencia (*Power Line*)

Power Line Communications (Comunicaciones mediante línea de energía) abreviada en inglés PLC es un término que describe diferentes tecnologías que utilizan las líneas de energía eléctrica convencionales para transmitir señales de radio para propósitos de comunicación.

La comunicación *Power Line* (PLC) es una tecnología fácil de implementar en las redes DHN. No son necesarios cableados nuevos, y por lo regular las tomas de corriente eléctrica están ubicadas cerca de los televisores o de los dispositivos utilizados para IPTV. Por lo tanto tomando en cuenta los principios para una red DHN, la tecnología PLC puede ser una muy buena solución. Los avances recientes en la tecnología PLC la han posicionado como un importante competidor en el mercado como lo es *WiFi*, *ethernet* y cable coaxial. PLC utiliza modulación OFDM, un sistema de modulación muy eficiente que permite la utilización de anchos de banda bastante competitivos. Otro aspecto importante de las tecnologías PLC es que también pueden funcionar sobre cable coaxial. Las tecnologías *Power Line* no son interesantes solamente para los consumidores, sino también para los operadores de redes IPTV; ya que estas ayudan a reducir costos de instalación. La tabla IX muestra varias tecnologías *Power Line* y sus respectivas características.

Tabla IX. Parámetros de la tecnología *Power Line*

Tecnología	Frecuencia	Ancho de banda	Ideal Para Video	Estándar
Home Plug 1.0	4.5-21 MHz	13.78 Mbps	No	Home Plug
Home Plug AV	2-28 MHz	200 Mbps	Si	Home Plug
Digital Home Standard (DHS) for <i>power line</i> AV	1.6-30 MHz	200 Mbps	Si	UPA
HD-PLC	4-28 MHz	190 Mbps.	Si	CEPCA

A primera vista, la tecnología *Power Line* parece ofrecer ventajas con respecto a las conexiones regulares de banda ancha basadas en cable coaxial o en DSL: la amplia infraestructura disponible permitiría que la gente en lugares remotos tenga acceso a Internet con una inversión de equipo relativamente pequeña para la compañía de electricidad. También, tal disponibilidad haría mucho más fácil para otros dispositivos electrónicos, tal como televisiones o sistemas de sonido, el poderse conectar a la red.

Sin embargo, las variaciones en las características físicas de la red eléctrica y la carencia actual de estándares por parte de IEEE significan que el suministro del servicio está lejos de ser un proceso estandarizado y repetible, y que el ancho de banda que un sistema *Power Line* puede proporcionar comparado con sistemas de cable e inalámbricos está en duda. Algunos observadores de la industria creen que la perspectiva de *Power Line* motivará a las empresas operadoras de DSL y de cable a suministrar más rápidamente el servicio de acceso a banda ancha a las comunidades rurales.

Los módems PLC transmiten en las gamas de media y alta frecuencia (señal portadora de 1,6 a 30 MHz). La velocidad asimétrica en el módem va generalmente desde 256 kbit/s a 2,7 Mbit/s. En el repetidor situado en el cuarto de medidores (cuando se trata del suministro en un edificio) la velocidad es hasta 45 Mbit/s y se puede conectar con 256 módems PLC. En las estaciones de voltaje medio, la velocidad desde los centros de control de red ("*headend*") hacia Internet es de hasta 135 Mbit/s. Para conectarse con Internet, las empresas de electricidad pueden utilizar un *Backbone* de fibra óptica o enlaces inalámbricos para interconectar las estaciones.

Las tecnologías de banda ancha sobre líneas eléctricas se han desarrollado más rápidamente en Europa que en Estados Unidos debido a una diferencia histórica en las filosofías de diseño de sistemas de energía. Casi todas las grandes redes eléctricas transmiten energía a altos voltajes para reducir las pérdidas de transmisión, después en el lado de los usuarios se usan transformadores reductores para disminuir el voltaje. Puesto que las señales de *Power Line* no pueden pasar fácilmente a través de los transformadores (su alta inductancia los hace actuar como filtros de paso bajo, bloqueando las señales de alta frecuencia) los repetidores se deben unir a los transformadores. En Estados Unidos, es común colocar un transformador pequeño en un poste para uso de una sola casa, mientras que en Europa, es más común para un transformador algo más grande servir a 10 ó 100 viviendas. Para suministrar energía a los clientes, esta diferencia en diseño es pequeña, pero significa que suministrar el servicio *Power Line* sobre la red de energía de una ciudad típica de los Estados Unidos requerirá más repetidores en esa misma proporción, que los necesarios en una ciudad europea comparable. Una alternativa posible es utilizar los sistemas *Power Line* como redes de retorno para las comunicaciones inalámbricas, por ejemplo colocando puntos de acceso *WiFi* o radio bases de telefonía celular en los postes de energía, permitiendo así que los usuarios

finales dentro de cierta área se conecten con los equipos que ya poseen. En un futuro próximo, *Power Line* se podría utilizar también como redes de retorno para las redes de WiMAX.

Otro problema de *Power Line* tiene que ver con la intensidad de la señal junto con la frecuencia de operación. Se espera que el sistema utilice frecuencias en la banda de 10 a 30 MHz, que ha sido utilizada por décadas por los radio aficionados, así como por emisoras radiales internacionales en onda corta y por diversos sistemas de comunicaciones (militar, aeronáutico, etc.). Las líneas de energía carecen de blindaje y pueden actuar como antenas para las señales que transportan, y tienen el potencial de eliminar la utilidad de la banda de 10 a 30 MHz para los propósitos de las comunicaciones en onda corta.

5.2.4 Líneas telefónicas

Una línea telefónica o circuito telefónico (o simplemente línea o circuito dentro de la industria) es un circuito de un sistema de comunicaciones por teléfono. Típicamente, se refiere a un cable físico u otro medio de transmisión de señales que conecte el aparato telefónico del usuario a la red de telecomunicaciones, y normalmente supone también un único número de teléfono asociado a dicho usuario para poder facturarle el servicio prestado.

Con los avances en las tecnologías de cables, las líneas telefónicas cumplen parcialmente el requisito necesario para la distribución de video. La mayoría de los hogares tienen servicio telefónico, lo cual hace a las líneas telefónicas un medio bastante atractivo a igual que *Power Line*. Sin embargo las tomas de teléfono a menudo no se encuentran cerca de los televisores o de las computadoras dentro de los hogares. Es cierto que se pueden instalar más de una línea telefónica dentro de la casa (en el caso que se tengan múltiples tomas

de teléfono en diferentes habitaciones de la casa), sin instalar nuevos cables para datos dentro de la casa, pero es difícil no agregar nuevos cables en una habitación para llegar a la computadora o a la televisión.

La solución tecnología para DHN a través de líneas de teléfono está regulada por la HPDA (*Home Phoneline Networking Alliance*), una asociación sin fines de lucro trabajan junto a las empresas líderes en la industria de telefonía, para ayudar a garantizar la adopción de un único estándar de línea telefónica, y lograr que las redes telefónicas sean una solución viable para las redes domésticas.

En la tabla X se muestra las especificaciones y parámetros para las tres generaciones de HPNA. Estas especificaciones permiten conectar computadoras a las líneas telefónicas de manera similar a las redes LAN *ethernet*. Esto permite compartir dispositivos entre computadoras (Impresoras, escaner's, etc.), Internet y juegos en red. Adicionalmente HPNAv3 utiliza frecuencias diferentes para las llamadas de voz y de fax. Finalmente la tasa de transmisión de datos para HPNAv3 es de 128 Mbps, lo que lo hace muy adecuado para la distribución de video.

Tabla X. Parámetros para las tecnologías de línea telefónica

Tecnología	Frecuencia	Ancho de banda	Ideal Para Video	Estándar
HPNAv1	4-10 MHz	1 Mbps	No	HPNA
HPNAv2	1-10 MHz	10 Mbps	No	HPNA
HPNAv3	4-21 MHz	128 Mbps.	Si	HPNA

5.2.5 Cable coaxial

El cable coaxial es un cable eléctrico formado por dos conductores concéntricos, uno central o núcleo, formado por un hilo sólido o trenzado de cobre (llamado positivo o vivo), y uno exterior en forma de tubo o vaina, y formado por una malla trenzada de cobre o aluminio o bien por un tubo, en caso de cables semirrígidos. Este último produce un efecto de blindaje y además sirve como retorno de las corrientes. El primero está separado del segundo por una capa aislante llamada dieléctrico. De la calidad del dieléctrico dependerá principalmente la calidad del cable. Y todo el conjunto puede estar protegido por una cubierta aislante. Presenta propiedades mucho más favorables frente a interferencias y a la longitud de la línea de datos, de modo que el ancho de banda puede ser mayor. Esto permite una mayor concentración de las transmisiones analógicas o más capacidad de las transmisiones digitales.

La utilización de cable coaxial de 75 ohms en las redes DHN es una alternativa muy atractiva ya que por lo regular este tipo de cableados se encuentra presente en las casas para el servicio de cable, lo cual evita la instalación de nuevos cableados. A pesar de que el cable coaxial no es tan común como el cableado eléctrico, es uno de los medios de transmisión que no requiere mayor inversión en cableado nuevo tanto para el proveedor de servicios como para el consumidor final en casa. Pero el principal aspecto del cable coaxial es que normalmente se encuentra ubicado en los sitios donde se tienen los televisores, lo cual lo hace muy versátil para los dispositivos de IPTV.

Para las tecnologías que utilizan cables coaxiales para su diseño de redes domésticas DHN se tienen que diseñar tratando la manera de alcanzar los siguientes objetivos:

- Instalar dispositivos que tengan impedancia de 75 Ohms, que es el estándar del cable coaxial que utilizan los operadores de cable y vía satélite.
- Que la red a diseñar contenga equipos y cableados que sean capaces de transmitir voz, datos y servicios de video.
- Que la red a diseñar sea capaz de mantener un tráfico de información bidireccional, esto con el fin de que sea más eficiente al momento de su utilización, y que los conectores y adaptadores que sean necesarios en su implementación introduzcan la menor cantidad posible de pérdidas de señal.

La tabla XI muestra una comparación entre parámetros para las dos tecnologías utilizadas para la implementación de redes por medio de cable coaxial. Estas tecnologías difieren en los esquemas de modulación y espectros de frecuencia Utilizados. HCNA utiliza modulación QAM y MoCA utiliza modulación OFDM. MoCA opera en frecuencias que están entre 860 MHz y 1.5 GHz, estas frecuencias no interfieren con la señal de cable o dispositivos cablemódems que se estén utilizando. Por otro lado HCNA opera entre 4 MHz y 21 Mhz, lo cual crea conflicto con los servicios de cablemódem. Si un servicio de cablemódem es utilizado en la tecnología HCNA, es necesario utilizar un separador de frecuencias, para aislar el cablemódem del resto de la red coaxial DHN.

Tabla XI. Comparación entre las dos tecnologías de Cable Coaxial.

Tecnología	Frecuencia	Ancho de banda	Ideal Para Video	Estándar
MoCA V1.0	> 860 MHz	aprox. 250 Mbps	No	MoCA
HCNAv3	4 – 21 MHz	128 Mbps	Si	HPNAv3

Ya que ambas tecnologías operan con diferentes espectros de frecuencia, también tiene diferentes capacidades de ancho de banda y muestran diferentes características de atenuación en el cable con respecto a la distancia. En general la tecnología MoCA puede manejar un ancho de banda mayor pero la distancia a la que se puede transmitir será más corta, mientras que la tecnología HCNA puede operar a mayor distancia con un ancho de banda menor.

Tal como ocurre con las tecnologías de líneas telefónicas, en las redes DHN sobre cable coaxial se diseñan nuevos estándares, pero al final tendrá que quedar como estándar universal la tecnología que tenga mejores características a un menor costo.

Estas tecnologías para la construcción de redes domésticas DHN se desarrollan con el objetivo de utilizar los cableados existentes en los hogares ya que realmente crear una red ideal para la transmisión de video sería utilizando cableados y equipos de fibra óptica lo cual hace que el costo de la red sea demasiado elevado. Al momento de hacer el diseño e implementación de la red hay que tomar en cuenta la infraestructura existente para poder aprovecharla y de esta manera hacer un diseño mucho más económico.

5.3 Dispositivos IP en la red DHN

Los dispositivos de cliente son los portales para que los consumidores tengan la experiencia visual de IPTV. Por esta razón haremos énfasis en el funcionamiento de estos dispositivos, la forma tan rápida como responden a las solicitudes que recibe a través del control remoto vía infrarrojo, y como se crea una imagen de tanta calidad en la pantalla. Una red doméstica típica podría constar de varios dispositivos IP de cliente.

Los dispositivos de cliente que se utilizan en la implementación de una red DHN son dos: los *router's* y los IP STB. El punto central de la red DHN es el *router/gateway*, este da la conexión entre el proveedor de banda ancha y la red doméstica (es el puente). Todos los demás dispositivos IP instalados en la red solamente reciben y envían tráfico a este *router*. El IP STB es el receptor de los servicios de video digital, y es el encargado de convertir las señales digitales provenientes del *router* en señales de televisión que puedan ser vistas en un televisor común y corriente. La conexión de n *router* a cualquier tipo de dispositivo IP se hace por medio de cableados UTP con conectores RJ-45 o puede ser a través de cables UTP, en caso que no se tenga cableado UTP en la casa se pueden utilizar convertidores para utilizar las tecnologías disponibles en el mercado, esto puede agregar algún costo adicional al proyecto.

5.3.1 *Router's/ Gateways*

El *router* es el dispositivo que da ingreso al servicio de banda ancha al la casa y por lo tanto es la puerta de enlace (*Gateway*) del servicio IPTV. Un *router* es un dispositivo IP de red necesario para el transporte y distribución de tráfico IP tanto dentro del hogar como hacia fuera del mismo (red del proveedor de banda ancha) y provee la conexión a todos los servicios que el proveedor

ofrece. Es un elemento crítico en la red DHN ya que si el *router* falla la red DHN queda incomunicada totalmente a los servicios de banda ancha, y normalmente el router provee la comunicación entre los dispositivos dentro de la red DHN esto hace que se vuelva muy indispensable porque al momento de fallar también la red interna quedaría incomunicada. Un *router* típico tiene una interfase WAN la cual puede variar dependiendo de la tecnología de acceso que se utilice este puede ser xDSL, RF (en caso del cable coaxial), o fibra óptica en el caso de las redes PON, y ofrece varias interfaces de red LAN para conectar los dispositivos IPTV y computadoras; estas interfaces LAN normalmente son *ethernet* con conectores RJ-45. Gracias a la integración muchos *router's* tienen también interfase inalámbrica lo que los hace muy versátiles. Debido a que los *router's* operan en la capa de red del modelo OSI, un *router* es capaz de transmitir paquetes de datos de una red local hacia otra, y tal como su nombre lo indica el *router* determina la ruta que estos paquetes deben tomar para llegar a su destino. Los *router's* se comunican con otros *router's* por medio de protocolos de enrutamiento para construir y compartir tablas de rutas diseñadas para optimizar el enrutamiento de datos.

5.3.2 IP STB (IP Set-Top Box)

Set-top Box (STB), cuya traducción literal al español es aparato que se coloca encima del televisor, es el nombre con el que se conoce el dispositivo encargado de la recepción y opcionalmente decodificación de señal de televisión analógica o digital (DTV), para luego ser mostrada en un dispositivo de televisión.

Un STB, principalmente se encarga de recibir una señal digital, en alguno de los estándares (cable, satélite, terrestre, IPTV), comprueba que tengamos permiso para ver esa señal, lo demodula y la envía al televisor. También

posibilita todas las ventajas que ofrece la nueva televisión digital, como pueden ser: Video por demanda, televisión interactiva (MHP) o la televisión en alta definición.

Debido a que la gran mayoría de televisores en todo el mundo son analógicos, podemos observar rápidamente la importancia de este dispositivo, el cual será básico hasta que tengamos en el mercado televisores digitales a un precio accesible. Mientras tanto los consumidores que deseen acceder a los servicios de la televisión digital, necesitaran un *set-top box* para su recepción.

Actualmente un STB, puede ofrecerte muchos servicios, desde utilizarlo como grabador (PVR) en los STB que incorporen disco duro, como utilizarlos para hacer consultas meteorológicas, hacer la reserva de una visita médica, o hacer compras en los que disponen de interactividad. También muchos de ellos nos dan la opción de conectarles dispositivos externos como podrían ser videocámaras o impresoras.

En las redes IPTV, los *set-top box* integran una pequeña computadora que proporciona comunicación en dos vías dentro de la red IP, y la decodificación de vídeo *streaming*. Los dispositivos IP *set-top box* se han diseñado con una interfaz de red que puede ser *ethernet* o coaxial.

Los STB's para IPTV están siendo utilizados por las compañías telefónicas (a menudo en redes ADSL o redes de fibra óptica) como un medio para competir con los tradicionales monopolios de operadores de televisión por cable locales.

5.3.2.1 Arquitectura de Hardware de IP STB

Los equipos IP STB vienen en diferentes configuraciones cada uno con diferentes características. Los STB's pueden variar sus características dependiendo de los requerimientos del consumidor o de las posibilidades del operador de red, y por lo mismo se tienen en el mercado diversos modelos de equipos de este tipo. Vamos a hacer ver algunas arquitecturas de estos dispositivos para tener una idea de su funcionamiento. El principal punto será la arquitectura para los servicios de audio y video en las redes DHN.

La base de todo STB son los circuitos integrados para la decodificación de audio y video, la interfaz de usuario y el control de acceso a la red. Estos circuitos integrados forman la base de la arquitectura del *IP Set Top Box* y desempeñan un papel muy importante en el costo final del equipo. Como ya sabemos el origen de los STB's viene de de la televisión por cable y televisión vía satélite. Afortunadamente los avances que se tienen en la fabricación de circuitos integrados, cada día se van agregando mayores funciones en cada generación de circuitos integrados. El diseño de un dispositivo STB para una tecnología emergente como IPTV se ha optimizado con la utilización de estos circuitos integrados y los fabricantes de equipos aprovechan las ventajas en costos y arquitectura de este sistema para fabricar estos dispositivos a grandes escalas con costos muy bajos. Sin embargo los circuitos integrados que se utilizan no son diseñados directamente para televisión sobre IP, sino que se pueden utilizar para televisión vía satélite, por cable o IPTV. Las diferencias entre un sistema y otro son muy evidentes y los diseñadores de STB's tienen que poner mucho cuidado en las características de cada sistema para hacer el diseño del dispositivo.

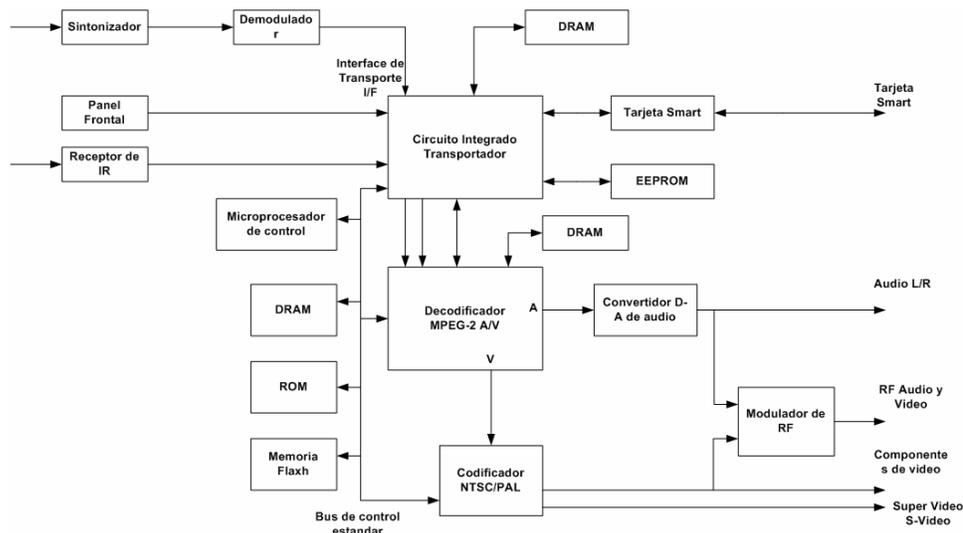
En esta sección se realizara una revisión de la primera generación de receptores digitales orientados para el mercado de televisión vía satélite y televisión por cable, y los dispositivos híbridos que manejan IP que son utilizados para el mercado de televisión sobre IP.

5.3.2.1.1 Primera Generación de Receptores Digitales.

Los primeros receptores digitales son dispositivos que sirven nada más de puente entre el video digital y el televisor analógico. Estos dispositivos reciben la señal digital comprimida a través de una interfaz RF y ejecutando un descifrador de MPEG-2 descomprimen las imágenes de televisión. La función de decodificación se lleva a cabo en un decodificador basado en hardware, la función real y el algoritmo se han diseñado para que sea ejecutado dentro un solo circuito integrado.

En la figura 47 se muestra el diagrama de bloques de un receptor o decodificador de primera generación.

Figura 47. Diagrama de Bloques de un receptor de primera generación



Este diseño está formado por una combinación de circuitos integrados, los principales componentes de este diseño se explican a continuación.

- **Sintonizador:** este selecciona la frecuencia de RF específica para cada canal que selecciona el usuario. Una vez que el sintonizador a sintonizado la frecuencia requerida, ya sea de televisión por cable o televisión vía satélite, el sintonizador pasa la señal de radiofrecuencia seleccionada al demodulador IC.

- **Demodulador:** este circuito lleva a cabo una conversión de analógico a digital y corrige errores. La salida del demodulador es un flujo constante de bits digitales que son llevador al transportador digital por medio de la interfase de transporte.

- **Transportador:** este circuito integrado es una parte clave de este diseño. El STB lleva a cabo una demultiplexación del flujo de bits provenientes de la interfase de transporte, esto se realiza dentro del circuito integrado de transportador. La operación de demultiplexación separa los paquetes de audio de los paquetes de video para que luego pasen al decodificador. El demultiplexor también separa el programa específico (PSI) de los paquetes de flujo, este programa específico es utilizado por el microprocesador de uso general. Los datos más útiles PSI incluirán la guía electrónica de programas (EPG), así como el software con el derecho a sintonizar las frecuencias y programas de metadatos (como por ejemplo títulos de eventos, duración de los eventos, etc.). El circuito Integrado transportador también proporciona el acople con otras funciones importantes, tales como el procesamiento de comandos infrarrojos del control remoto, interfase del panel frontal y la interfaz de la tarjeta *smart* para accesos condicionados.

- **Decodificador MPEG-2 A/V.** El decodificador MPEG-2 A/V es un circuito integrado a donde toda la carga se reduce a las fotografías que serán mostradas en la televisión. Es el receptor de audio y video digital, hace la descodificación o descompresión del *bitstream*, y lo convierte en imágenes y sonido. Adicionalmente el decodificador MPEG-2 contiene las funcionalidades de gráficos. Este circuito integrado contiene una plataforma para video y otra para gráficos. La plataforma de gráficos normalmente es utilizada para generar la interfaz de usuario y generalmente se muestra en la parte superior de la plataforma de video. En circuitos integrados más complejos la plataforma de gráficos puede ser opacada o verse translúcida. El usuario puede ver el video sobre la plataforma gráfica (Modo opaco) o puede verlo mezclado píxel por píxel (modo translúcido). Las salidas del decodificador MPEG-2 son interfases de audio y video (que son llevadas al codificador de video NTSC/PAL y al convertidor digital analógico de audio), las cuales son convertidas en señales analógicas para ser vistas en el televisor. La interfase de audio es conectada a un convertidor Analógico digital. Y la interfase de video es llevada a un codificador NTSC/PAL para que pueda ser procesada y convertida nuevamente una señal que se pueda ver un televisor análogo estándar.
- **Microprocesador de propósito general.** El microprocesador de propósito general (también conocido como procesador principal o CPU, es un microprocesador de 32 bits) es donde todo las instrucciones de *software* del sistema son ejecutados (normalmente no se incluye el código de programa dentro del los circuitos, este es programado por cada empresa). Aquí se ejecuta el sistema operativo, recibiendo instrucciones del la interfaz de usuario y con un lenguaje de bajo nivel controla las funciones del dispositivo. Por ejemplo el microprocesador necesita crear una pantalla en la interfaz de usuario y envía esta grafía a la TV hacia el decodificador de MPEG-2.

- **Codificador de video NTSC/PAL.** El codificador de Video NTSC/PAL recibe una interfase de video digital y la convierte a una señal de video estándar que pueda ser vista en los televisores estándar (NTSC o PAL). Adicionalmente, el decodificador de video realiza otras funciones relacionadas con el video tales como protección macrovisión (Protección para copias de VCR) y características de blanqueo vertical tales como *Closed Caption* y CGMS-A (Sistema analógico para administración y generación de copias).

- **Memoria volátil (DRAM).** La memoria volátil es un dispositivo de almacenamiento que guarda los datos provisionalmente, es decir no los retiene en caso de que el sistema pierda energía o se reinicie la misma. Tanto el microprocesador principal, el transportador y el codificador MPEG-2 requieren el uso de una memoria dinámica de acceso aleatorio (DRAM). El transportador utiliza esta memoria para almacenar temporalmente los paquetes de datos MPEG. El codificador MPEG-2 utiliza esta memoria para almacenar temporalmente los datos, mientras esta decodificando el *bitstream* y pasándolo a la señal original de audio y video. El microprocesador principal utiliza esta memoria para ejecutar el sistema operativo.

- **Memoria no volátil.** La memoria no volátil es un dispositivo de almacenaje que retiene la información cuando el sistema pierde la energía o es reseteado. El microprocesador principal requiere el uso de esta memoria no volátil. El modelo del receptor muestra dos diferentes tipos de memoria no volátil: ROM (memoria de solo lectura) y la memoria flash. El software requerido para iniciar el sistema reside en la memoria ROM. Este software de inicio es programado en la fábrica del dispositivo y es muy pequeño y robusto. El sistema también permite descargar software de la red (esto se da

cuando se desea actualizar el software del STB por una versión nueva) y es en la memoria *flash* donde se guarda este *software*. Para reducir al mínimo el consumo de la memoria *flash* (ya que esta es mucho más cara que la memoria dinámica), los diseñadores a menudo emplean compresión de datos para el *software* que se guarda en la *flash* a menudo se conoce como imagen. Como parte del proceso de arranque del equipo, el sistema operativo arranca de la ROM mientras descomprime la imagen luego es salvado en la memoria dinámica, entonces el sistema operativo arranca de esta memoria y de ahí inicia la aplicación para IPTV. El *software* en la *flash* puede ser actualizado y corregido si tiene errores, pero en la memoria ROM no puede ser sustituido; por esta razón el *software* en la memoria ROM debe ser lo más robusto posible y libre de errores.

Otro dispositivo de memoria no volátil es la EEPROM (Memoria de sólo lectura eléctricamente borrable). La memoria EEPROM es un pequeño dispositivo con la mínima capacidad de almacenaje. La memoria EEPROM esta conectada a un pequeño bus serial hacia el circuito transportador. En la memoria EEPROM se guardan las preferencias de programación del usuario como por ejemplo: el lenguaje y canales favoritos.

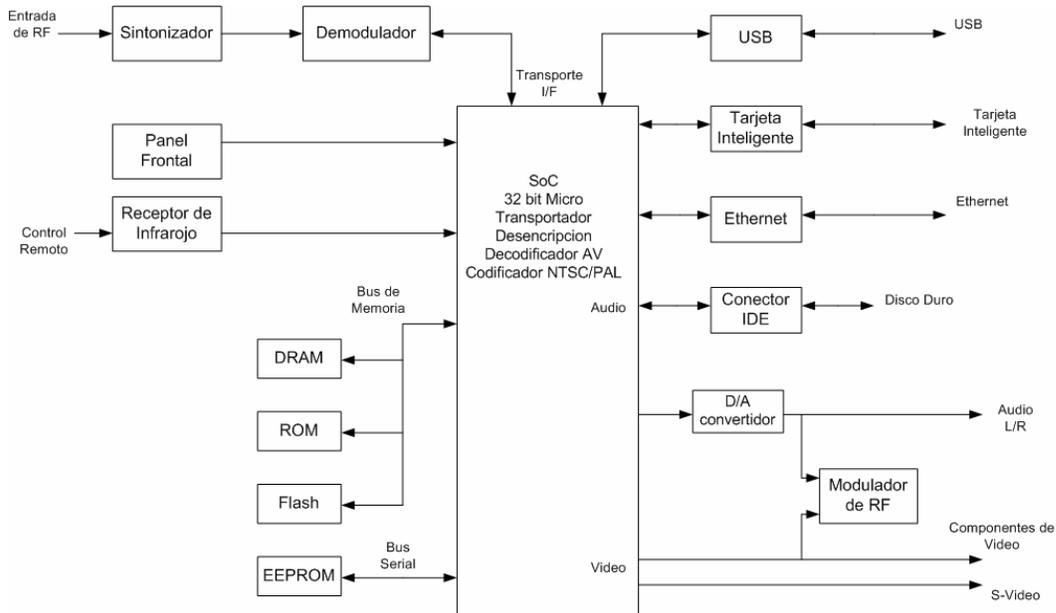
- **Tarjeta inteligente.** Muchos STB's integran una tarjeta inteligente (*Smart Card*) como parte del sistema de acceso condicional. Una tarjeta inteligente es un dispositivo que tiene un tamaño aproximado al de una tarjeta de crédito dispone de un microprocesador y memoria. La tarjeta inteligente puede proveer la descriptación de las llaves (claves de acceso) y la asistencia en la administración de derechos. El circuito de transporte tiene una interfase para tarjeta inteligente (ISO 7816) la cual conecta la tarjeta inteligente a un *socket*. El chasis del STB a menudo tiene un *eslot* que

habilita un *socket* para que los consumidores inserten una tarjeta inteligente, la cual esta asociada con el proveedor de servicios.

5.3.2.1.2 Segunda y tercera generación de receptores digitales.

La figura 48 muestra el diagrama de bloques de los receptores de segunda y tercera generación. El avance progresivo de la electrónica a provocado una reducción en los costos de los receptores digitales, mediante la integración de muchas de las funciones del dispositivo en un solo circuito integrado, como resultado de esta integración se consigue un sistema integrado en un Chip (SoC). La figura 48 muestra como los cuatro circuitos integrados se integran ahora en un solo SoC (El microprocesador, el Transportador, el decodificador MPEG-2 y el codificador NTSC/PAL). El receptor de segunda generación tiene la misma funcionalidad y muestra las mismas características técnicas que el receptor de primera generación, con la única diferencia que su costo es mucho más barato. La tercera generación aumenta el decodificador para incluir los sistemas de compresión avanzados como AVC y VC-1, y la integración de otras características de hardware, tales como interfaz *ethernet* (para utilizarse en IPTV), interfaz IDE (para conectar un disco duro), y algunos ya tienen puertos USB. La compresión avanzada es importante para la transmisión de IPTV ya que esta reduce el requerimiento de ancho de banda para conservar la experiencia de video de alta resolución.

Figura 48. Diagrama de bloques de un receptor digital de segunda generación.



Fuente: IPTV Crash course

Los servicios de IPTV emergen entre la segunda y tercera generación de receptores digitales. La industria de la televisión por cable y vía satélite ha impulsado el proceso de reducción de costos y aumentado la funcionalidad, para la segunda generación de dispositivos. La primera generación de STBS para IPTV reemplaza el sintonizador RF por un circuito integrado controlador de *ethernet*. Permitiendo así que el video *streaming* pase a través de redes IP en lugar de señales de radiofrecuencia. Los primeros STBS IPTV se basan en el estándar MPEG-2 y han sido objeto de pruebas en todo el mundo. El diseño de ingenieros de hardware y software llegó a estos equipos de segunda generación y así se comenzaron a diseñar sistemas y productos específicamente para IPTV. Las diferencias entre un receptor de cable/satélite y uno de IPTV no son muy visibles pero sí son significativas. La diferencia más importante es el flujo de video y audio a través del hardware. Tanto los la televisión por cable como la televisión vía satélite reciben el video y el audio en

una interfaz RF, y luego esta señal es llevada hacia el transportador quien a su vez los separa para llevarlos a sus respectivos decodificadores de audio y video. El transportador y el decodificador de audio y video de un SoC en circuito integrado esta diseñado (interconectado) para funcionar perfectamente uno con otro. Un IP STB, por otra parte no recibe el audio y el video de una interfaz RF, sino de un controlador de *ethernet*.

La primera preocupación en el diseño de la arquitectura del IP STB era la de garantizar que se podía sostener una transferencia ininterrumpida de audio y video de la controladora *ethernet* hacia la memoria del sistema. Por esta razón se utilizan controladores de acceso directo a memoria (DMA) en estos diseños. Cada SoC tiene un número limitado de controladores DMA por lo que deben ser utilizados discretamente, por cada transferencia que se hace se hace uso de un controlador, el cual queda liberado para ser reutilizado una vez se termina de transmitir la trama *ethernet* que lo ocupo. Una vez los diseñadores solucionaron el problema de transfererir los datos de la controladora de *ethernet* a la memoria del sistema, el siguiente paso es llevar estos datos a la interfaz de transporte (I/F).

Muchas de las soluciones SoC activan transferencia DMA de la memoria del sistema hacia la interfaz de transporte. Si el SoC no tiene esa capacidad tendría que ser implementado un software demux para hacer esa transferencia. La utilización de un software demux no resulta ser muy buena idea ya que agrega mayor complejidad al sistema y puede crear nuevos problemas que deben ser abordados como por ejemplo un retardo adicional. Los STB's para cable y satélite no necesitan preocuparse por el enrutamiento de el audio, video y datos de la interfaz RF hacia la interfaz de transporte porque todos estos ya existen dentro del SoC, una vez el audio y el video llega a la interfaz de transporte, el SoC debe ser capaz de descifrarlos y procesarlos, otro problema que se ha

tenido que solucionar en el diseño de estos equipos a sido el *jitter* y la recuperación de la señal de reloj. El *jitter* no es mas que la variación que existe en el tiempo que se toma un paquete de datos en llegar de un punto a otro (este tiempo nunca es constante).

5.3.2.2 Arquitectura de *software* de IP Set-Top-Box

En todos los mercados emergentes, cada empresa que proporciona los componentes del sistema intenta mejorar su posición y ofertas. En lo que se refiere al mercado de IPTV muchas empresas invierten recursos en el diseño y fabricación de quipos para estos fines. Con respecto al *Software* para IPTV, varias empresas están desarrollando diversidad de programas para encontrar la mejor solución de software que se pueda dar al cliente. Para tener una idea del tipo de empresas y las soluciones que están disponibles, estas se dividen en categorías amplias.

- Hardware. Los fabricantes de *Set Top box's* proveen el *hardware* y el *software* básico que maneja la plataforma, así como la integración de software para otros componentes.
- Controladores. Los controladores manejan ciertas partes del equipo, se elaboran junto con los componentes del equipo y luego se integran dentro del *Set-Top Box*, y se hacen sólidos dentro del equipo en el entorno operativo.
- Sistema operativo. El sistema operativo es un software de sistema, es decir, un conjunto de programas de computadora destinado a permitir una administración eficaz de sus recursos. Comienza a trabajar cuando se

enciende el STB, y gestiona el hardware del mismo desde los niveles más básicos, permitiendo también la interacción con el usuario.

- DRM. Diversas soluciones de software CA/DRM están disponibles en materia de seguridad, ya que para las empresas estas soluciones son cada vez más importantes. La Gestión de derechos digitales (*Digital Rights Management, DRM*) es un término genérico que se refiere a las tecnologías de control de acceso usadas por editoriales y dueños de derechos de autor para limitar el uso de medios o dispositivos digitales. También se puede referir a las restricciones asociadas a instancias específicas de obras digitales o dispositivos. Los DRM se traslapan con la protección de copia (AC) de *software* hasta cierto punto, aunque, el término DRM es generalmente aplicado a medios creativos (música, películas, etc.) mientras que el término "protección de copia" tiende a referirse a los mecanismos de protección de copia en software computacional.

- Componentes Web especializados. Numerosas empresas ofrecen módulos de software que realizan operaciones en la Web relacionadas con las funciones que son parte integrante o necesaria para el equipo STB. En el caso de que se desee ver un programa de televisión que se encuentre alojado en una página Web.

- *Middleware*. En IPTV, el término *middleware* se utiliza para describir los paquetes de aplicaciones asociados con la distribución del servicio IPTV. El *middleware* es típicamente una construcción cliente/servidor, donde el cliente interactúa con el STB.

El *middleware* controla la experiencia del usuario y, debido a esto, define cómo el consumidor interactúa con el servicio. Por ejemplo, el uso de la

interfase y los servicios que están al alcance del consumidor (como la guía electrónica de programas, identificador de llamadas, recordatorios, favoritos, servicios del tiempo, *video-on-demand* y servicios *pay-per-view*) están disponibles y son controlados a través del *Middleware*.

Para el operador, el *middleware* es el punto de acceso para el gerenciamiento de los servicios de la televisión. Esto le permite la personalización de la interfaz con su identidad corporativa. La integración del *Middleware* con los sistemas internos de las empresas de teléfonos hace posible la administración de los servicios de la TV a través de los sistemas de facturación existentes y de los sistemas de CRM.

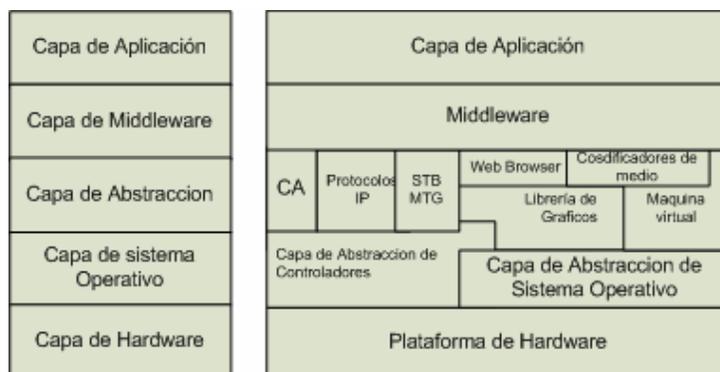
Las soluciones tradicionales en '*middleware*' dependían del hardware STB, resultando en infraestructuras cerradas, "*hard coded*", inflexibles, basadas en herramientas no estándar, incompatibles con otras plataformas. Los operadores de esas soluciones tienen actualmente limitaciones con problemas de administración de flujo, de adición de aplicaciones, de personalización de su interfaz y de integración con infraestructura OSS/BSS (Sistemas de Soporte Operativo/Sistemas de Soporte de Cobros).

- Aplicaciones. El *software* de aplicación es el que se muestra en la pantalla, es la parte visible, este provee el acceso a varios servicios a través del STB. Idealmente el *software* de aplicación está diseñado para que el usuario interactúe con él.

5.3.2.2.1 Arquitectura de capas del software IPTV

Las arquitecturas de *hardware* para IP STB, están diseñadas para el uso de televisión por cable o vía satélite, y las diferencias en hardware con un STB para IPTV puede ser simplemente la red de entrada: RF para el caso de televisión por cable y televisión vía satélite frente a una interfaz IP (como *ethernet* o *WiFi*) para IPTV. Esta diferencia no es necesariamente la misma para una arquitectura de software. Los controladores de bajo nivel en la pila de software son básicamente los mismos. Debido a que los diseñadores han integrado los mismos controladores que se utilizaron en los STB's para cable y televisión satelital en los STB's para IPTV. Así mismo, el sistema operativo puede ser el mismo para ambos. Sin embargo, aquí es donde la pila de *software* empieza a desviarse. Debido a que los STB's IP son dispositivos de red IP, la arquitectura de software incluye paquetes completos de protocolos IP y módulos para aplicaciones Web. Una manera de conceptualizar toda la pila de software de un dispositivo STB es dividirlo en cuatro capas, tal como se muestra en la figura 49.

Figura 49. Diagrama de Capas de *software* para un IP STB



Fuente: IPTV *Crash course*

➤ **Capa de sistema operativo.** La capa de sistema operativo OS está formada principalmente del sistema operativo básico y de los controladores de bajo nivel. La arquitectura típica de un STB emplea sistemas operativos que puedan procesar (transportar, decodificar y mostrar) audio y video en tiempo real. Los usuarios no aceptan equipos que no son capaces de reproducir el contenido sin problemas. Si el sistema operativo no permite que el audio y video se presenten sin errores y lo más cercano al tiempo real, la arquitectura del software se vería seriamente afectada. Un ejemplo de este problema es la latencia, o tiempo que tarda en responder a una petición o reenviar un paquete. Si el tiempo de latencia es demasiado grande podría interferir con el tiempo general de los procesos que realiza el equipo. Si un diseño no cumple con los requisitos mínimos de latencia entonces no es adecuado para la televisión sobre IP. El transporte y la decodificación del sistema tienen que responder con un tiempo de interrupción muy pequeño para mantener el proceso y descifrado correctamente.

Originalmente los STB eran pequeños y tenían un *software* pequeño, rápido y de muy bajo costo. El diseño de estos sistemas operativos sencillos atendían únicamente las principales funciones establecidas por el fabricante, con el paso de los años la arquitectura de un STB va demandando mayores funciones y por ende el sistema operativo se va haciendo mas extenso y complejo para que pueda soportar muchas aplicaciones de uso comercial y la variedad de protocolos IP para poderlo conectar a las redes IP. La elección de sistemas operativos propietarios, de un fabricante de equipos es un desafío para los diseñadores de *software*, ya que la plataforma se puede volver obsoleta ya que los operadores de servicios IPTV van actualizando el software de sus equipo sen las centrales debido a que tienen que estar al día con las versiones mas recientes de los protocolos IP. Por esta razón es cada vez mas importante que los operadores de servicios utilicen sistemas

operativos comerciales, en caso contrario sus plataformas quedarían desactualizadas en un corto plazo.

Por ejemplo, el protocolo de gestión de grupo en *Internet* (IGMP) a evolucionado de una manera que podría haber excluido a algunos fabricantes. IGMP inicio con la versión 0, y ha migrado a la versión 3 (IGMPv3). Si un consumidor requiere IGMPv3, pero la plataforma de protocolo IGMP es IGMPv1, la arquitectura de software necesita una solución inmediata para poder entender IGMPv3, lo cual puede ocasionar perdidas al proveedor de servicios.

Cuando se selecciona un sistema operativo para un STB para la plataforma de IPTV se deben considerar varias características del sistema, de lo contrario no cumplirá con los requisitos mínimos para que opere en una red de paquetes IP.

Los requerimientos mínimos para un sistema operativo típico son los siguientes:

- Operación en Tiempo real. Para poder proveer un sistema de televisión IPTV es necesario que los tiempos de respuesta de los equipos y sistemas operativos sean lo más cercanos al tiempo real, ya que un retardo muy grande afecta la transmisión de la voz y por ende de la televisión.
- Características de red IP. Es necesario que el sistema operativo sea capaz de entender los diferentes protocolos IP que existen y que le servirán para comunicarse con el proveedor de servicios.

- Requerimientos de memoria. Es muy indispensable que el sistema operativo o demande más memoria de la que puede darle el hardware del STB por lo que un sistema muy extenso no es funcional, se tiene que disponer de un sistema lo más pequeño que cumpla con los requerimientos técnicos.
 - Soporte para aplicaciones. Otro factor a considerar es que aplicaciones puede manejar el sistema operativo.
- **Capa de abstracción.** Las plataformas van cambiando, y por lo tanto los diseñadores deben ser capaces de ir haciendo los cambios respectivos en el hardware del equipo de manera rápida y eficiente para poder satisfacer los requerimientos del cliente y poder mantener sus precios bajos. La capa de abstracción es una técnica de *software* que permite hacer cambios en el diseño del equipo fácilmente y sin afectar dramáticamente el resto del mismo. La capa de abstracción en si es relativamente pequeña y todo el *software* de capas superiores utilizan la capa de abstracción para poder llevar al *software* de capas inferiores. Una capa de abstracción es reducida debido a que esto permite reducir el tiempo requerido para hacer los cambios en requeridos y además ayuda a reducir la latencia de *software* al momento de su ejecución. Prácticamente la capa de abstracción hace la conexión entre las interfaces de usuario y el *software* de control de bajo nivel (Controladores de dispositivos), en síntesis ayuda a la optimización del *software* del equipo STB.
- **Capa de *Middleware*.** De momento no se tiene ningún estándar para el *middleware* de IPTV, ya que esta todavía en sus inicios. La capa de *middleware* se compone de numerosos módulos funcionales, que son diseñados por distintas empresas, y normalmente estos módulos son una

partición de modo que cada uno de ellos realiza un trabajo para un propósito específico. Los módulos en los que se divide el *middleware* se especializan en diferentes funciones como por ejemplo; graficas, acceso condicional y guías electrónicas de programas. Entre los módulos del *middleware* se encuentran los siguientes:

- CA o DRM. Acceso condicional (CA) o administrador de derechos digitales, es una solución utilizada por el proveedor de servicios IPTV. La principal función de este módulo es la de proteger el contenido de piratería o de que el contenido sea visto sin previa autorización.
- Protocolos IP. Este módulo provee los estándares necesarios para que el equipo pueda conectarse a una red IP.
- STB MGT. Este módulo habilita el *middleware* para la administración en una plataforma más robusta (por ejemplo líneas de comandos).
- *Web Browser*. Un navegador de *Internet* es utilizado para que el equipo pueda conectarse a *Internet*, esto es invisible para el usuario ya que únicamente se ve el contenido de Internet en la pantalla.
- Librería de gráficos. Como todo computador un STB necesita tener una librería de gráficos. Una librería de gráficos es muy compleja y pueden ser utilizadas plataformas como las de Microsoft X-box o las de Sony *PlayStation*. En un típico STB IP, la librería de gráficos tiene que ser necesariamente tan sofisticada, así que si provee gráficos en dos dimensiones es funcional.

- *Media codecs*. Los *media codecs* son la base de los decodificadores. Para un STB, estos se encargan de decodificar las tramas de bits y traducirlas en imágenes y sonido, (cuando la codificación se hace por *software* y no por *hardware*).
- **Capa de aplicación.** La capa de Aplicación es donde el grupo de aplicaciones de IPTV reside. En la capa de aplicación se encuentran los programas que interactúan con el usuario en forma gráfica, entre los programas comerciales más utilizados están los siguientes: *Macromedia Flash*, *Active X* y *SVG*. Las aplicaciones que se pueden llevar a cabo con estos programas son las siguientes:
- Menús del sistema STB.
 - Guía electrónica del programas
 - Correo Electrónico
 - Video por demanda
 - Video conferencia
 - Cargar contenido
 - Seguridad del hogar

5.4 Servicios avanzados

Hasta el momento hemos examinado la arquitectura del dispositivo STB y la red digital en el hogar. Las plataformas de *hardware* y *software* avanzadas unidas a los avances en los dispositivos para redes digitales DHN, hace posible que cada día se pueda integrar más servicios a una conexión de banda ancha. Un operador de red IPTV puede proveer a sus clientes servicios avanzados a través de sus enlaces de banda ancha. Entre los servicios avanzados que pueden tener hoy en día a través de estas redes tenemos los siguientes: Triple

play, Movilidad, Juegos en Red, Video Conferencia, Control a Distancia y diagnósticos remotos.

5.4.1 Triple *Play*

El concepto del servicio triple *play* se escucha en todo el mundo, pero solo las empresas de cable han sido capaces de expandir redes que prestan servicios triple *play* en los últimos años, realmente triple *play* es el empaquetamiento de servicios y contenidos audiovisuales (voz, banda ancha y televisión). Es la comercialización de los servicios telefónicos de voz junto al acceso de banda ancha, añadiendo además los servicios audiovisuales (televisión sobre IP).

El servicio Triple *Play* es el futuro cercano para el desarrollo integral de comunicación entre hogares. El desarrollo actual de las empresas proveedoras de servicios (empresas de telecomunicaciones, televisión por cable, televisión satelital, eléctricas, etc.) conlleva una solución única para varios problemas: el servicio telefónico, televisión interactiva y acceso a *Internet*, todo en un mismo servicio. La diferencia que distingue a esta nueva categorización de tecnología consiste en que todos los servicios se sirven por un único soporte físico, ya sea cable coaxial, fibra óptica, cable de par trenzado, red eléctrica, o bien microondas.

Posibilita un servicio más personalizado al usuario debido a que el cliente dispone de los servicios y contenidos que él desea utilizar en el momento idóneo. La mejora en la calidad de los servicios, llegando hasta los hogares la calidad digital. Nuevas posibilidades en telefonía y un abaratamiento del acceso a *Internet*.

La conexión se basa en datagramas IP para todos los servicios. El servicio telefónico, se basa en la tecnología VoIP. Se transmiten llamadas de voz de manera similar al envío de datos electrónicos (Internet), convirtiendo la voz en paquetes de datos, que viajan a través de redes multiservicio IP de las operadoras. La “Centralita IP” *Softswitch* es el elemento que registra los teléfonos conectados a la red multiservicio a través del ADSL. Los teléfonos analógicos se conectan a la línea ADSL a través de un conversor llamado ATA/IAD. Si la llamada se produce entre teléfonos registrados en el *Softswitch* se establecerá una llamada VoIP entre ambos. El IP *Gateway* es un elemento esencial, para procesar llamadas externas con teléfonos IP no asociados al *Softswitch*. Su misión es la de enlazar la red VoIP con la red telefónica analógica o RDSI para llamadas externas.

La televisión evolucionará en un futuro hacia una televisión por cable con total interactividad con el usuario permitiendo una televisión “a la carta”.

Figura 50. Ejemplo de servicios Triple Play



Fuente: <http://blog.pucp.edu.pe/item/15757>

El objetivo del Triple Play no es sólo ofrecer estos servicios de voz, datos y video con una única facturación, sino aprovechar los recursos de red para combinarlos inteligentemente, por ejemplo, se puede estar viendo televisión y contestar una llamada entrante o una invitación a chatear en la terminal donde precisamente se ve TV, e incluso se puede hacer una consulta a *Internet* si se necesita alguna información usando el mismo terminal.

¿Qué se necesita para ofrecer Triple *Play*? Una red de próxima generación (NGN) para la convergencia de servicios, una plataforma de contenidos y aplicaciones, y sobre todo una mentalidad para ir más allá de servicios independientes que se han convertido por sí mismos en productos básicos, y creatividad para innovar y diferenciarse, esta será la ventaja competitiva de quienes ofrezcan servicios en forma combinada.

5.4.2 Movilidad

La movilidad se ha convertido rápidamente en un mercado creciente, sobre todo con la popularidad de los teléfonos celulares y con el éxito de *Apple* ha tenido con la línea de productos *iPod*. Con los esfuerzos que hacen los operadores de servicios por acercarse rápidamente al triple play necesitan añadir servicios que se puedan incluir en un paquete, y la movilidad es muy atractiva para ellos. Una ampliación de un servicio de Televisión de IPTV sería la de permitir que el suscriptor digital pueda descargar y decodificar el contenido de audio y video, o solo el contenido de audio en un formato portátil adecuado para reproductores portátiles (como por ejemplo reproductores de MP3). La descarga y decodificación del contenido es un trabajo que hace el receptor STB. El receptor STB no solamente tiene que transcodificar, sino que es posible que tenga que volver a codificar el contenido con un sistema protección y posiblemente tenga que guardarlo en una unidad de disco duro. Finalmente el

STB puede transferir el contenido a un dispositivo portátil a través de una interfase de alta velocidad con interfase USB 2.0.

Estos dispositivos portátiles presentan la desventaja frente a los televisores y monitores de televisión de tener un tamaño notablemente menor. Si se utilizan a distancias muy cortas podrían llegar a conseguir una sensación visual aproximada a la de los anteriores, pero aún así no resulta igual de cómoda su utilización principalmente porque habitualmente han de ser sostenidos en la palma de la mano. Esto condiciona su uso a periodos de tiempo mucho más cortos.

El primer uso que viene a la mente es el del acceso a la televisión móvil mediante aquellos dispositivos, generalmente teléfonos móviles, que integran alguna de las tecnologías disponibles, en la mayoría de los casos DVB-H. Cuando sí se dispone de conexión a Internet de banda ancha se puede acceder a los contenidos almacenados en el hogar, por ejemplo utilizando soluciones como la de *Slingbox*. Y si se dispone de un reproductor portátil con capacidad suficiente, generalmente gracias a que incorporan un disco duro, se pueden utilizar a modo de video portátil para acceder a programación grabada de una emisión en directo o comprada de algún servicio como el de *iTunes*.

Figura 51. Ejemplos de televisión móvil



Televisión en un teléfono Móvil con tecnología DVB-H



Acceso a la Television en una PDA



iPod Reproduciendo contenido de video

Fuente: <http://blog.pucp.edu.pe/item/15757>

5.4.3 Juegos en red

Los juegos de computadora son cada día más populares y hoy en día es una industria que genera miles de millones de dólares. Por ejemplo la plataforma multi jugador en red es muy popular ya que muchas personas disfrutan jugando con o contra sus amigos a través de la red IP. El mercado de los juegos está orientado a dos segmentos separados: los juegos destinados a computadora y las plataformas que utilizan los juegos de consola (como por ejemplo *Xbox*, *Play Station* y *nintendo*). Ambas plataformas son tan potentes que se pueden correr juegos y aplicaciones muy complejas. Los dispositivos IPTV son máquinas diferentes para estas plataformas de juego ya que el procesador el STB no tiene mucha capacidad gráfica. Sin embargo, muchas plataformas de STB son capaces de correr aplicaciones computacionales que no sean muy intensivas (por ejemplo, juegos de cartas o tableros de ajedrez o damas). Un operador de servicios IPTV podría generar ingresos con una red de juegos estratégicamente basados en esta clase de aplicaciones. Estos juegos podrían ser multijugador o de un solo jugador, y las aplicaciones podrían ser descargadas de la red lo cual eliminaría la necesidad de contar con una unidad de disco duro. La red de juegos puede ser un área potencial de crecimiento para IPTV en los próximos años.

5.4.4 Video conferencia

Es la comunicación simultánea bidireccional de audio y vídeo, permitiendo mantener reuniones con grupos de personas situadas en lugares alejados entre sí. Adicionalmente, pueden ofrecerse facilidades telemáticas o de otro tipo como el intercambio de informaciones gráficas, imágenes fijas, transmisión de ficheros desde el pc, etc.

El núcleo tecnológico usado en un sistema de videoconferencia es la compresión digital de los flujos de audio y video en tiempo real. Su implementación proporciona importantes beneficios, como el trabajo colaborativo entre personas geográficamente distantes y una mayor integración entre grupos de trabajo.

Muchas personas consideran la videoconferencia como el servicio adicional de más peso para IPTV, sobre todo porque los dispositivos IPTV operan en redes IP lo cual permite aprovechar los protocolos IP para entablar la conexión necesaria para establecer la videoconferencia. Los avances en la videoconferencia se vienen dando gracias a los estándares de la ITU (Unión internacional de Telecomunicaciones), el estándar creado por la ITU para videoconferencia es el H.3xx. Estas recomendaciones hacen referencia a los estándares, protocolos y codec's de audio y video. H.323 cubre la videoconferencia sobre redes de banda estrecha en las cuales no se garantiza calidad de servicio en la red (QoS). Este es un punto muy crítico ya que la red de Internet no tiene calidad de servicio, lo cual puede afectar a la calidad de la imagen y el audio que se transmite, lo que en la actualidad se hace es aumentar el ancho de banda de la conexión en los extremos de la videoconferencia.

5.4.5 Control a distancia

A medida que las redes en el hogar van creciendo, se van agregando más dispositivos, esto hace que los usuarios deseen acceder a sus equipos en forma remota. El control a distancia no es más que administrar el dispositivo STB desde una localidad distante conectada a Internet. Algunos casos en los que se puede incluir esta aplicación se enlistan a continuación.

- Alguien que se encuentre en su trabajo, y desea grabar el programa que están transmitiendo, solamente se conecta de forma remota y puede programar la grabación del programa en el STB IPTV instalado en su casa.
- Otro caso sería que el usuario se encuentre de vacaciones y desea acceder al contenido IPTV de su casa.
- Un consumidor puede querer monitorear el sistema de seguridad de su casa y administrarlos remotamente (Por ejemplo cámaras de video)

Como los receptores STB se vuelven más avanzados, y las redes DHN crecen en tamaño, los usuarios pueden ir encontrando más razones para necesitar el acceso remoto al dispositivo IPTV.

5.4.6 Diagnósticos remotos

El diagnóstico a distancia no es nada nuevo en dispositivos que se conectan en red, este es un elemento crítico para el operador de servicios, ya que este le permite saber el estado del dispositivo, además que le permite dar seguimiento en el caso de una falla (además el diagnóstico remoto va de la mano con el control a distancia para la administración del equipo). Los protocolos utilizados para el monitoreo a distancia son el SNMP y el TR069 (establecido por el forum DSL). Entre las aplicaciones que incluye el diagnóstico remoto tenemos las siguientes:

- Monitorear el buen funcionamiento de los dispositivos (STB y Router). Notificaciones de fallas de los dispositivos con el fin de prevenir un corte del servicio.

- Verificar si se necesitan nuevas descargas de software para los dispositivos IPTV.
- Administrar las herramientas de seguridad para acceso a los equipos remotamente (por ejemplo claves de acceso).
- Monitorear el tráfico en la red, para prevenir fallas en los equipos por trabajar más allá de su capacidad, y verificar que el tráfico no sobrepase la capacidad del enlace con el fin de el servicio no se interrumpa por saturación del mismo.

Los diagnósticos remotos, le dan las herramientas al operador de red para administrar los dispositivos remotamente desde un punto central (headend) y es un punto crítico a la hora de operar una red IPTV comercial.

5.5 Ancho de banda necesario para IPTV

Para un suscriptor que desea tener el servicio de IPTV es necesario que disponga de más ancho de banda que el que se tiene para el tráfico de Internet. El tráfico para IPTV crece debido a que el video se entrega en flujos constantes en el *Set Top Box*. La calidad de la imagen es controlada por el proveedor del servicio, el cual determina la tarifa de codificación (cantidad de bits por trama). Por ejemplo, el estándar de la compresión MPEG-2 consume aproximadamente 3.75 Mbps. El nuevo estándar de compresión, MPEG-4, consume solamente 2 Mbps mientras que proporciona la misma imagen de alta calidad. La TV varía de 6 Mbps a 15 Mbps dependiendo de la tarifa de codificación. Otra consideración importante es cuando accedamos a una arquitectura de IPTV es que requiere *broadcast* TV a además video sobre demanda. Se entrega *broadcast* TV en los canales usando el *multicast* IP, con esto se logra que el

ancho de banda consumido dependa solamente del número de canales ofrecidos y de la tarifa de codificación. Por ejemplo, 200 canales de contenido del programa MPEG-2 en la definición estándar consumirán aproximadamente 750 Mbps de ancho de banda. El video por demanda, sin embargo es *unicast*, canal por espectador. Los espectadores del estándar VoD consumen aproximadamente 3.75 Gbps. Esto hace complejo el manejo del ancho de banda VoD. Estos anchos de banda serían los que estaría manejado el proveedor de servicios ya que para el usuario final se requiere tener conexiones de banda ancha entre 6 y 15 mbps como se describió anteriormente.

5.6 Transmisiones de banda ancha con tecnologías xDSL

xDSL es un grupo de tecnologías de comunicación que permiten transportar información multimedia a mayores velocidades, que las que se obtienen vía modem, simplemente utilizando las líneas telefónicas convencionales.

Puesto que la red telefónica también tiene grandes limitaciones, tales como la de que su ancho de banda tan solo llega a los 4Khz, no permite el transporte de aplicaciones que requieran mayor amplitud de banda, nace la tecnología DSL (*Digital Subscriber Line*), que soporta un gran ancho de banda con unos costes de inversión relativamente bajos y que trabaja sobre la red telefónica ya existente, y que convierte la línea analógica convencional en una línea digital de alta velocidad.

Son unas tecnologías de acceso punto a punto a través de la red telefónica pública (circuitos locales de cable de cobre) sin amplificadores ni repetidores de señal a lo largo de la ruta del cableado, que soportan un gran ancho de banda entre la conexión del cliente y el primer nodo de la red, que permiten un flujo de

información tanto simétrico como asimétrico y de alta velocidad sobre el bucle de abonado.

xDSL es una tecnología en la que se necesita un dispositivo módem xDSL terminal en cada extremo del circuito de cobre, que acepte flujo de datos en formato digital y lo superponga a una señal analógica de alta velocidad.

El factor común de todas las tecnologías xDSL es que funcionan sobre líneas de cobre simples, y aunque cada una tiene sus propias características, todas utilizan la modulación para alcanzar elevadas velocidades de transmisión.

Esta tecnología ofrece servicios de banda ancha sobre conexiones que no superen los 6 kms de distancia entre la central telefónica y el lugar de conexión del abonado; dependiendo de:

- Velocidad alcanzada
- Calidad de las líneas
- Distancia
- Calibre del cable
- Esquema de modulación utilizado.

La ventaja de las técnicas consiste en soportar varios canales sobre un único par de cables. Basándonos en esto, los operadores telefónicos proporcionan habitualmente tres canales: dos para datos (bajada y subida) y uno para voz.

5.6.1 ADSL

ADSL son las líneas de *Asymmetric Digital Subscriber Line* (Línea de Abonado Digital Asimétrica) y se trata de una técnica de modulación de datos a

altas velocidades sobre las existentes líneas telefónicas de par trenzado de cobre. Puede alcanzar hasta los 6 Megabits por segundo hacia el abonado y unos 800 kbits por segundo desde el abonado. De esta diferencia en la velocidad de transmisión dependiendo del sentido de la misma viene el término "*Asymmetric*".

Pero estas velocidades son velocidades máximas teóricas de la tecnología ya que las compañías de telefonía suelen "cobrar por velocidad" es decir, existe una relación entre la velocidad contratada y el precio que cobra el operador telefónico.

No se trata de una técnica nueva ya que existía mucho antes que el uso masivo de Internet, y era solamente utilizada para líneas de alta velocidad dedicadas, pero las compañías telefónicas han empezado a ofertarla debido a la competencia de los operadores de cable.

Es un servicio dirigido a internautas y profesionales que hagan uso intensivo de la red, de forma que puedan beneficiarse tanto de la alta velocidad para la transmisión y recepción de datos como de la tarifa plana que los proveedores ofrecen para sus conexiones de Internet con tiempo ilimitado.

5.6.1.1 Rendimiento del sistema ADSL

Para hacer posible esta tecnología hay que instalar un modem ADSL en cada extremo de una línea telefónica de cobre (Usuario – central telefónica). Sus velocidades hacia el usuario final van desde 1.0 a más de 9 Mbps y hacia el proveedor de acceso va desde 16 Kbps a 800 Kbps, dependiendo de la calidad y longitud del cableado de cobre. Entre sus características mas resaltantes están: con ADSL es posible hablar por teléfono mientras se

transfieren datos y video, gracias a filtros que distinguen entre voz y datos; con ADSL se puede ofrecer a cada suscriptor servicios de altas velocidades a Internet y el acceso en línea (trabajo en casa), VoD, etc.

5.6.1.2 Como funciona ADSL

Un circuito ADSL tiene un modem ADSL conectado en cada uno de los extremos de la línea telefónica de par trenzado convencional. Esta conexión crea tres canales de información. Por un lado, un canal de alta velocidad "desde la red" hacia el abonado. Por otro lado, un canal *duplex* (información en ambas direcciones) de velocidad media. Por último, el circuito telefónico convencional.

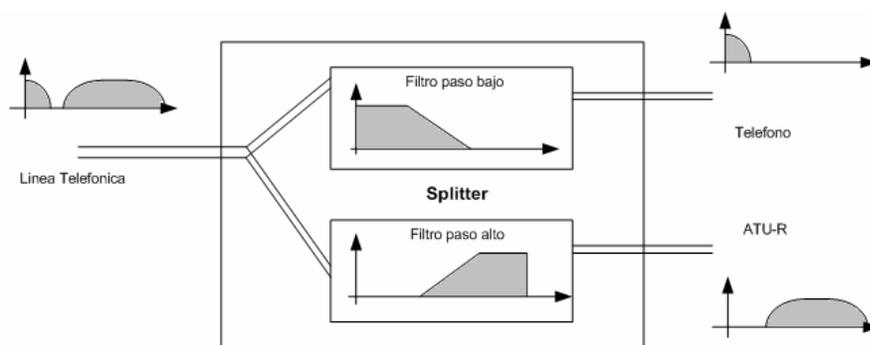
Para separar las señales de alta velocidad de la información telefónica convencional se utilizan una serie de filtros pasivos, que aseguran el funcionamiento de la línea telefónica aunque fallen los módems o la alimentación.

Como ya se ha comentado, ADSL utiliza dos caudales diferentes en los sentidos "abonado hacia red" y "red hacia abonado", por lo que los módems colocados en uno u otro extremo son diferentes. Desde el punto de vista del abonado la compañía instala un discriminador (*splitter*) en su domicilio. Este discriminador tiene dos entradas, a una de las mismas se instalan los aparatos telefónicos que siguen funcionando como habitualmente. A la otra entrada se conecta un modem ADSL (ATU-R o ADSL *Terminal Unit-Remote*) que a su vez se conecta al ordenador por medio de una tarjeta de red.

Nótese que las instalaciones ADSL permiten el uso simultáneo de aparatos telefónicos convencionales y la línea de datos de alta velocidad, es decir, no ocupa el teléfono mientras se este conectado a *Internet*.

La compañía por su parte tiene que colocar otro módem ADSL (ATU-C o ADSL *Terminal Unit-Central*) conjuntamente con otro discriminador o *splitter* en la central antes de los circuitos de conmutación. Este *splitter* no es más que un conjunto de dos filtros, uno de paso alto y otro de paso bajo para separar las señales de baja frecuencia (telefonía, 300 Hz a 3400 Hz) y las de alta frecuencia (ADSL, 24KHz a 1.100KHz aproximadamente), en la figura 52 se muestra el funcionamiento de un **splitter**.

Figura 52. Funcionamiento del *Splitter* y separación de las señales en ADSL.



Fuente: DSL Forum

5.6.1.3 Modulación ADSL

Los módems ADSL permiten el transporte ATM y protocolos IP. Aparte de las ya comentadas diferencias en la velocidad según la contratación, existen también limitaciones físicas en cuanto a la distancia del abonado a la central y al tipo de cable.

En la tecnología ADSL existen varias formas de alterar la señal portadora de alta frecuencia para convertirla en una señal modulada y ser enviada a través de la línea telefónica. Los dos sistemas de modulación más utilizados son el

CAP y el DTM. Tanto CAP como DMT están basados en el sistema QAM aunque cada uno lo adopta de una forma distinta. CAP y DMT son actualmente dos códigos de línea o sistemas de modulación en el mercado para ADSL.

La modulación DMT (*Discrete Multi Tone*). En un principio y antes de la estandarización llevada a cabo por los organismos pertinentes (ANSI, ETSI e ITU) la modulación DMT coexistía con la modulación CAP (*Carrierless Amplitude/Phase*).

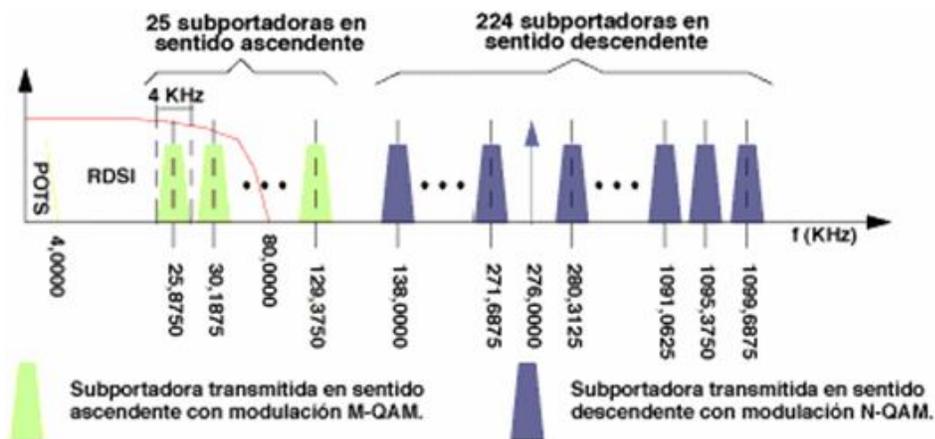
DMT consiste básicamente en la utilización de varias portadoras simultáneas para la transmisión de la señal de datos, a diferencia de los módems "convencionales" que transmiten utilizando una única portadora. Cada una de las portadoras que usa el DMT se denominan subportadoras y una vez moduladas ocupan un ancho de banda de 4KHz. El reparto entre el flujo de datos entre las subportadoras, o simplificando, "la cantidad de información que va a transportar cada una de ellas" depende de la proporción señal ruido que se estima al principio de la comunicación entre el modem ADSL del abonado y el de la compañía.

El tipo de modulación CAP, ofrece una solución al problema de generar una onda modulada capaz de transportar cambios de amplitud y de fase. La versión CAP de la modulación AQM almacena partes de una señal en una memoria y luego une los fragmentos de la onda modulada. La señal portadora se suprime antes de la transmisión ya que no contiene información y se vuelve a componer de nuevo en el modem receptor. De ahí la expresión sin portadora. Al comienzo de la transmisión CAP también comprueba la calidad de la línea de acceso y utiliza la versión más eficaz de QAM para obtener el mayor rendimiento en cada señal.

En la figura 53 se presenta la modulación DTM para ADSL, los espectros de las señales ascendentes y descendentes no se solapan, lo que simplifica el diseño de los módems, aunque reduce la capacidad de transmisión en sentido descendente, no tanto por el menor número de subportadoras disponibles como por el hecho de que las de menor frecuencia, aquellas para las que la atenuación del par de cobre es menor, no están disponibles.

En la figura 53 se muestran los aspectos de las señales transmitidas por los módems ADSL tanto en sentido ascendente como descendente. Los aspectos nunca se solapan con la banda de reserva para el servicio telefónico básico (POTS) y en cambio si se solapan con los correspondientes al acceso básico RSDI. Por eso el ADSL y el acceso básico RSDI son incompatibles

Figura 53. Espectro de Modulación ADSL DMT



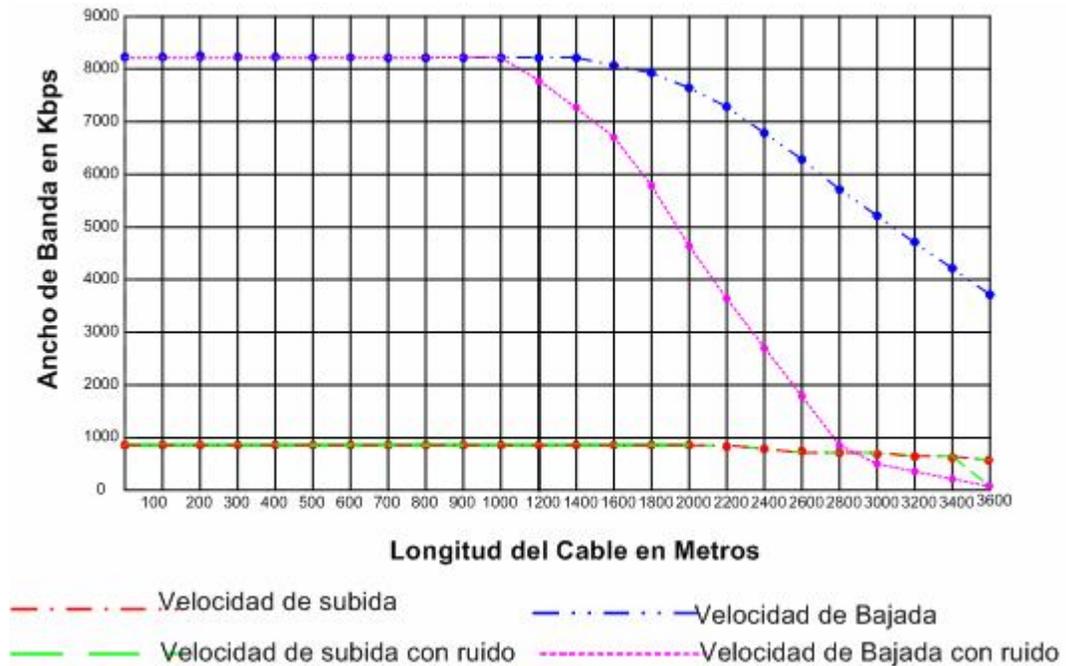
Fuente: Forum ADSL

En un par de cobre la atenuación por unidad de longitud aumenta a medida que se incrementa la frecuencia de las señales transmitidas. Cuanto mayor es la longitud del cable, mayor será la atenuación total que sufren las señales transmitidas. Ambas cosas explican que el ancho de banda máximo que se puede conseguir mediante los módems ADSL varíe en función de la longitud del

cable de cobre del abonado. En la figura 54 se representa la curva del ancho de banda máximo en Kbps, tanto en sentido ascendente como descendente, que se puede conseguir con un cable de cobre de abonado con un calibre de 0.405 mm.

En la figura 54 se representan las curvas con y sin ruido. La presencia de ruido externo provoca la reducción de la relación señal/ruido con la que trabaja cada una de las subportadoras, esa disminución se traduce en una reducción del caudal de datos que modula a cada subportadora, lo que a su vez implica una reducción del ancho de banda total que se puede transmitir a través del enlace entre el ATU-R y el ATU-C, Hasta una distancia de 2.6 Kms de la central en presencia de ruido, se obtiene un caudal de 2 Mbps en sentido descendente y 0.9 Mbps en sentido ascendente. Esto supone que en la práctica, teniendo en cuenta la longitud media del cable de abonado en las zonas urbanas, la mayor parte de los usuarios están en condiciones de recibir por medio de ADSL un ancho de banda superior a 2 Mbps. Este ancho de banda es suficiente para muchos servicios de banda ancha y desde luego puede satisfacer las necesidades de cualquier internauta, teletrabajador así como de muchas empresas pequeñas y medianas.

Figura 54. Ancho de banda en función de la longitud del cable de abonado con un calibre de 0.45 mm, sin ruido y con ruido de una fuente de -46dBm



Fuente: ADSL Forum

Las variantes de la tecnología ADSL son: ADSL G.Lite y RADSL. RADSL (Línea de abonado digital de tasa adaptable), como su nombre lo indica se ajusta a la velocidad de acceso de acuerdo a las condiciones de la línea funciona en los mismos márgenes de velocidad que ADSL, pero tiene la ventaja de ajustarse de forma dinámica a las condiciones de la línea y su longitud.

5.6.2 VDSL

VDSL: *Very High rate digital subscriber Line*. La modalidad VDSL es la más rápida de las tecnologías XDSL, ya que puede llegar a alcanzar una velocidad

entre 6 y 51 Mbps desde la central hasta el abonado y de 1.5 a 2.3 Mbps en sentido contrario, por lo que se trata de un tipo de conexión asimétrica también.

La máxima distancia que puede haber entre los dos módems VDSL no puede superar los 1371 metros. Es la tecnología ideal para suministrar los servicios de IPTV.

VDSL está destinado a proveer el enlace final entre una red de fibra óptica y las instalaciones del consumidor. El medio físico utilizado es independiente de VDSL. Una posibilidad es utilizar la infraestructura existente de cableado local.

Aunque es muy probable que ADSL se convierta en el más utilizado en pocos años, su uso apunta al suministro de servicio banda ancha en las casas sobre cableados POTS, con distancias relativamente grandes (5.5 Kms sobre cable 25 AW). Por lo otro lado VDSL operará sobre distancias mucho más cortas y suministrará rangos de ancho de banda mucho más grandes. VDSL es utilizado junto con una red de fibra óptica, la fibra óptica será extendida lo más cerca de las áreas residenciales, VDSL es una evolución natural de ADSL para aumentar la tasa de bits y usarlo a mayor ancho de banda.

Al igual que las otras tecnologías xDSL, VDSL provee un canal de flujo hacia abajo y un canal de flujo hacia arriba. El canal de flujo hacia abajo posee usualmente un rango de bit mucho más alto. Esto es apropiado para las clases de aplicaciones que las tecnologías xDSL utilizarán para proveer un alto rango de flujo de datos dentro del hogar.

5.6.2.1 Anchos de banda para VDSL

Las tasas de bajada son submúltiplos de SONET y SDH de 155.52 Mbps, normalmente es 51.84 Mbps, 25.92 Mbps y 12.96 Mbps. Las tasas de subida están entre rangos generales de 1.6, 2.3 y 19.2 Mbps y la distancia es igual que las de bajada.

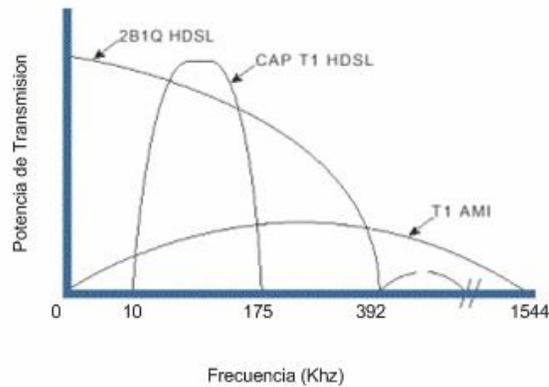
Como ADSL, VDSL puede transmitir video comprimido, para detectar tasas de errores compatibles con video comprimido, VDSL incorpora FEC con un intervalo suficiente para corregir todos los errores producidos por el ruido.

5.6.3 HDSL (High Bit Rate Digital Subscriber Line)

HDSL es una nueva tecnología que permite aprovechar los pares de cobre que conforman la planta externa telefónica para la transmisión de señales digitales con velocidades de hasta 2.048 Mbps. En el desarrollo de HDSL, los expertos tuvieron que ajustarse a las características físicas y a las distancias medias empleadas en los servicios de telefonía básica 2 a 4 km.

HDSL se basa en un código de línea orientado a obtener más distancia de cable de cobre sin repetidores. Está basado en 2B1Q (dos-binario, uno cuaternario) a diferencia del ISDN básico. Al contrario de T1 que usan un par de alambre para transmitir y un par para recibir a 1.544 Mbps (*half duplex*), HDSL emplea dos pares de cada uno operando en modo *full duplex* (traslado bidireccional). Campo E1 - T1 operan a 1.544 Mbps o 2.048 Mbps *full duplex*. El alcance de la transmisión depende en la medida del alambre de cobre desplegado. En la mayoría de los tendidos se utilizan alambres 24 AWG, con longitudes promedio de 3,000 pies (915 metros) a 4,200 pies (1,280 metros). El Campo T1 /E1 puede alcanzar 5 millas (8 km). Con conductores 19 AWG.

Figura 55. Comparación de los espectros de frecuencia entre HDSL y T1



Fuente: DSL Forum

También existe la posibilidad de emplear un sólo par, en cuyo caso se pueda transmitir solo 15 canales de 64 kbps. Sin embargo, las interfaces externas de la HTU-C y la HTU-R siguen siendo de 2.048 Mbps de acuerdo a las normas G.703/G.704 del ITU-T. Para soportar la atenuación y posibles disturbios que se presentan en la línea, HDSL emplea una sofisticada técnica de ecualización adaptativa. Esto quiere decir que en todo momento se tiene respuesta a la frecuencia que presenta el canal.

5.6.4 SDSL

Es muy similar a HDSL, ya que soporta transmisiones simétricas, pero con dos particularidades: utiliza un solo par de cobre y tiene un alcance máximo de 3048 metros. Dentro de esta distancia será posible mantener una velocidad similar a HDSL. Esta norma se encuentra aun en la fase de desarrollo.

Esta tecnología provee el mismo ancho de banda en ambas direcciones, tanto para subir y bajar datos; es decir que independientemente de que este cargando o descargando información de la *web*, se tiene el mismo rendimiento

de excelente calidad. SDSL brinda velocidades de transmisión entre un rango de T1/E1, de hasta 5 Mbps y a una distancia máxima de 3700 metros a 5,500 metros desde la oficina central, a través de un único par de cables de cobre. Este tipo de conexión es ideal para las empresas pequeñas y medianas que necesitan un medio eficaz para subir y bajar archivos de la *web*.

5.6.5 RADSL

RADSL (la Proporción - DSL Adaptable) es una tecnología de ADSL que el software puede determinar la proporción a que pueden transmitirse los signos en un cliente dado la línea telefónica y pueden ajustarse la proporción de la entrega de acuerdo con. El sistema de *FlexCap2* de *Westell* usa RADSL para entregar de 640 Kbps a 2.2 Mbps de bajada y de 272 Kbps a 1.088 Mbps de subida en una línea existente.

5.6.7 G.SHDSL

G.SHDSL es un estándar de la ITU el cual ofrece un conjunto de características muy ricas, por ejemplo tasas adaptables y mayores distancias que cualquier estándar actual. Un nuevo estándar que sustituirá a SDSL.

Este método ofrece anchos de banda simétricos comprendidos entre 192 Kbps y 2.3 Mbps, con un 30% mas de longitud del cable que SDSL y presenta cierta compatibilidad con otras variantes DSL. G.SHDSL se espera aplicarse en todo el mundo.

G.SHDSL puede negociar el número de tramas del protocolo incluyendo ATM, T1, E1 ISDN e IP. G.SHDSL esta solicitado para empezar a reemplazar las tecnologías T1, E1, HDSL, SDLS, HDSL, ISDN e UDSL.

5.6.8 Ancho de banda en función de la distancia y medio de transmisión

En la tabla XII se hace una comparación de las tecnologías xDSL y sus limitaciones con la distancia y el tipo de cable utilizado para transmitir los datos.

Tabla XII. Ancho de banda, limitaciones de distancia para tecnologías xDSL

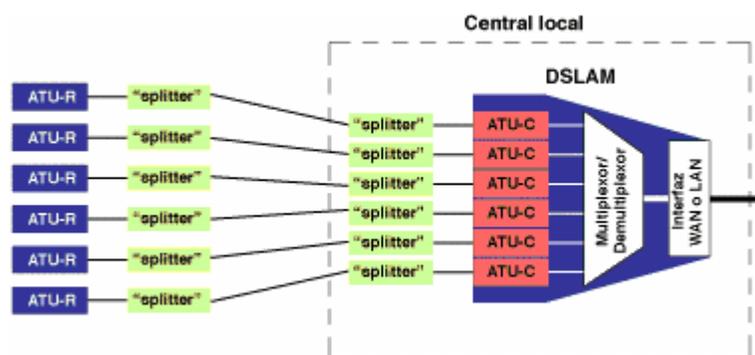
Tecnología	Descripción	Velocidad	Distancia (Limitaciones)	La aplicación
IDSL	ISDN de línea de suscriptor digital	128 Kbps	5.5 Kms en cable 24 AWG	Similar al ISDN BRI (pero no puede transmitir voz)
G.SHDSL	G.SHDSL	Entre 192 Kbps y 2.3 Mbps sobre un par de cobre	3.952 mts en cable 24 AWG	Compatible con otras variantes de DSL, puede negociar el número de tramas del protocolo, incluyendo ATM, T1, E1, ISDN e IP.
HDSL	Línea de abonado digital de índice alto de datos	1.544 Mbps full duplex, 2.048 Mbps full duplex, utiliza 2 o 3 pares	3.6 Kms en cable 24 AWG	Sustitución de varios canales T1/E1 agregados, interconexión mediante PBX, extensiones de LAN's
SDSL	Línea de abonado digital simétrica	1.544 Mbps duplex (Para Estados Unidos y Canadá); 2.048 Mbps (Europa), utiliza un solo par de cobre	3.6 Kms en cable 24 AWG	Sustitución de varios canales T1/E1 agregados, servicios interactivos y LAN's
RADSL	Línea de abonado digital de tasa ajustable	De 640 a 7 Mbps de bajada y 128 Kbps a 1.088 Mbps de subida	Se ajusta de manera dinámica a las condiciones de la línea y su longitud	Es espectralmente compatible con voz y otras tecnologías DSL.
VDSL	Línea de abonado digital de tasa muy alta	De 6 a 51 Mbps de bajada y de 16 a 640 Kbps de subida	305 a 1371 mts	Igual a ADSL mas TV de alta definición (IPTV)
ADSL	Línea de abonado digital asimétrica	1.544 a 6.1 Mbps de bajada; de 16 a 640 Kbps de subida	5,847 mts máximo a bajas velocidades (para mayores velocidades la distancia se reduce)	Acceso a Internet. Video de baja demanda, servicios telefónicos tradicionales

5.7 DSLAMS

DSLAM son las siglas de *Digital Subscriber Line Access Multiplexer* (Multiplexor digital de acceso a la línea digital de abonado). Es un multiplexor localizado en la central Telefónica que proporciona a los abonados acceso a los servicios DSL sobre cable de par trenzado de cobre. El dispositivo separa la voz y los datos de las líneas de abonado.

La comunicación del DSLAM y el MODEM xDSL se realiza a través de dos interfaces llamadas (ATU-R o *ADSL Terminal Unit-Remote*) del lado del cliente o abonado y (ATU-C o "*ADSL Terminal Unit-Central*") del lado del proveedor del servicio. Delante de cada uno de ellos se ha de colocar un dispositivo denominado *splitter*. Este dispositivo no es más que un conjunto de dos filtros: uno paso alto y otro paso bajo. La finalidad de estos filtros es la de separar las señales transmitidas de baja frecuencia (telefonía) y las de alta frecuencia (datos).

Figura 56. Diagrama de un DSLAM



FuenTe: DSL forum

El DSLAM reparte el contenido de la nube de la red a los abonados en casa sobre líneas DSL. El DSLAM puede informar IGMP y no informar IGMP. Un DSLAM que informa IGMP tiene la habilidad de copiar el tráfico de multicast existente automáticamente a un nuevo abonado cuando el canal es suscrito. También debe tener la habilidad de poner fin al torrente de multicast apropiadamente cuando la suscripción de canal termina. Por el otro lado un DSLAM que no informa IGMP, solo pasa las solicitudes IGMP a través de él y el tráfico de multicast de un lado a otro, hacia y desde la red. El DSLAM tiene un papel importante en el tiempo de cambio de canal, la latencia de enlace y desconexión en la red.

5.7.1 Tipos de DSLAMA's

Los DSLAMS pueden ser clasificados dependiendo de los protocolos que utilizan para establecer la conexión con los módems xDSL. Realmente la clasificación de los DSLAM's se hace con respecto a este parámetro ya que existen modelos que van de 8 puertos a 1024 puertos, pero su principio de funcionamiento es básicamente el mismo. Existen dos tipos de DSLAMA los que se comunican por medio de ATM (DSLAMS sobre ATM) y los que hacen su comunicación por medio de protocolos IP (IP-DSLAMS).

5.7.1.1 DSLAM sobre ATM

Los estándares y la industria han impuesto mayormente el modelo de ATM sobre ADSL. En ese contexto, el DSLAM pasa a ser un conmutador ATM con múltiples interfaces, las interfaces WAN pudieran ser STM-1, STM-4, E3 u otras estandarizadas, y el resto ADSL-DMT. El núcleo del DSLAM es una matriz de conmutación ATM. De este modo, el DSLAM puede ejercer funciones de control de parámetros y conformado sobre el tráfico de los usuarios con acceso ADSL.

Los analistas estiman que cerca del 90% de los DSLAM instalados usan ATM como método de transporte. Las primeras técnicas usaron el tipo AAL1 en la capa de adaptación de ATM, empleando multiplexación con entrelazado de byte a la que se le llama en ocasiones TDM sobre ATM. El ADSL Forum ha adoptado el tipo AAL2 para el transporte del servicio sobre ATM el cual resulta más eficiente para el tráfico de voz y emplea multiplexación con entrelazado de paquete. Este último también es más eficiente por el hecho de que permite a la red asignar ancho de banda dinámicamente sobre el servicio DSL entre la demanda de voz y el servicio de datos.

5.7.1.2 IP-DSLAM

IP-DSLAM es un nuevo protocolo de Internet sobre ADSL basado en IP. Los IP DSLAMs ofrecen ventajas sobre tecnologías tradicionales como el aumento de eficacia, velocidades más rápidas, y gestión mejorada. Por ejemplo, reducen la complejidad de conversión de formatos de datos, solucionan problemas de congestión de tráfico con alta velocidad, tecnología de conmutación *ethernet* anti-bloqueo, y también proporcionan un buen mecanismo para aplicaciones *multicast* de vídeo. Así, eliminando la transformación de protocolos de acceso de la red, las compañías de telecomunicaciones tienen un método alternativo de despliegue de una infraestructura de *ethernet* más rentable de Redes metropolitanas y de núcleos urbanos.

5.8 Seguridad en el sistema IPTV

La tecnología que esta detrás de los medios digitales hace que sea fácil crear y distribuir ampliamente muchas copias de los contenidos digitales haciendo uso de una computadora y una conexión a Internet, un solo pirata

puede enviar miles de copias de una prelicua o programa de televisión a todo el mundo. Como resultado de esto los propietarios de contenido digital y sus distribuidores deben aplicar medidas de seguridad para impedir la distribución de copias no autorizada de contenidos digitales.

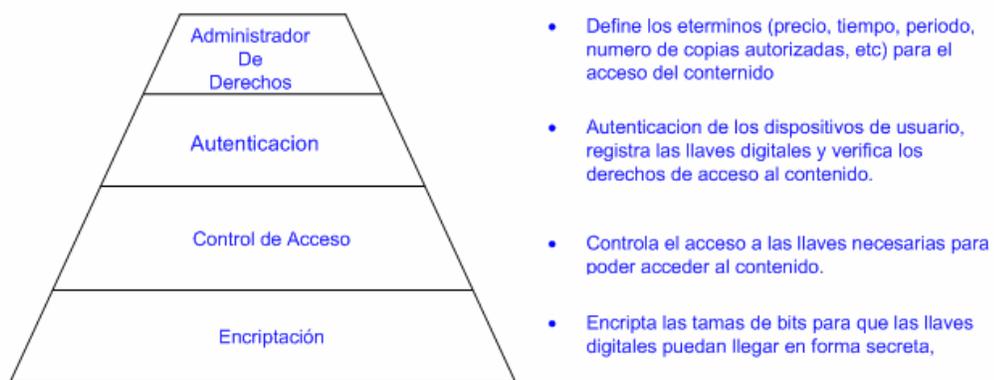
Un Administrador de Derechos Digitales (DRM) hace posible que un distribuidor pueda entregar de forma segura los contenidos digitales a los abonados y al mismo tiempo protege los derechos de los propietarios de contenido digital. Utilizando varias tecnologías de encriptación digital, un sistema DRM permite a los abonados ver y disfrutar el contenido digital, pero no permite realizar copias no autorizadas que podrían ser distribuidas a otras personas. Es por esta razón que se hace muy importante que un sistema de IPTV se tenga un buen nivel de seguridad para la protección de los contenidos y puede mantener un servicio de alta calidad.

5.8.1 Un modelo de capas para un sistema DRM.

Un sistema completo de administración de derechos digitales (DRM) se compone de varias capas o niveles que protegen el contenido de copias no autorizadas y garantiza los derechos tanto del usuario como del propietario del contenido. La figura 57 muestra los distintos elementos de un sistema de gestión de derechos digitales (DRM). En la base del sistema se tiene la parte de encriptación digital, que se utiliza para codificar cada bit que compone el contenido digital y hace que sean muy difíciles de utilizar sin las llaves digitales para descifrarlos. El sistema de control de acceso o sistema de acceso condicional (CAS), asegura que solo los dispositivos autorizados puedan recibir las llaves digitales para descifrar el contenido. El sistema de autenticación verifica a los usuarios y dispositivos dentro del sistema y garantiza la comunicación entre los diversos elementos que llevan la información secreta de

acceso condicionado. Es el sistema de gestión, que define tanto el contenido del proveedor como los derechos del consumidor respecto al uso del contenido. Un sistema de gestión de derechos define los tipos de modelo de negocios que se pueden desarrollar para la compra, renta o el almacenamiento de contenidos digitales.

Figura 57. Modelo de capas de un sistema DRM



Fuente: IPTV Crash Course

No todos los sistemas DRM contienen todos los elementos de este modelo. Algunos pueden tener una aplicación limitada de un solo componente. Por ejemplo, en las transmisiones digitales de contenido protegido (CTPC), la incorporación de información de derechos se limita a unos pocos bits para el control de copias.

5.8.1.1 Encriptación

La encriptación digital es el proceso con la cual se cambian las series de bits de forma aleatoria con el fin de oscurecer la información que estos llevan. Para poder deshacer la encriptación y recuperar la información original es necesario tener la clave única, la cual es una serie de bits digitales. Un algoritmo típico de

encriptado toma los bits originales no codificados (sin formato) y por medio de una clave propone una serie de bits al azar. En un sistema simétrico de encriptación, la clave de encriptación es la misma para la desenscriptación. La Encriptación simétrica se utiliza cuando necesito almacenar información crítica, que deberá poder descifrarse, y seré yo el único que haga todo el proceso. Nadie más tendrá acceso a la llave con que se encriptará y desenscriptará la información.

La encriptación asimétrica nos permite que dos personas puedan enviarse información encriptada, sin necesidad de compartir la llave de encriptación. Se utiliza una llave pública para encriptar el texto y una llave privada para desenscriptarlo. A pesar de que puede sonar extraño que se encripte con una llave pública y desenscripte con una llave privada, el motivo para hacerlo es el siguiente. Si alguien necesita que le envíen la información encriptada, él deja disponible la llave pública para que quienes le desean enviar algo lo encripten. Nadie puede desenscriptar algo con la misma llave pública. El único que puede desenscriptar es quien posea la llave privada, quien justamente es el que recibe la información encriptada.

El número de posibles llaves digitales puede ser muy grande. Si una llave tiene un tamaño de n bits de largo, entonces tenemos 2^n posibles llaves. Una llave muy pequeña de 32 bits, por ejemplo contiene 4 billones de posibles llaves. En la encriptación simétrica se utilizan llaves que van desde 64 a 512 bits de largo, resultando en un gran número de llaves para la encriptación.

5.8.1.2 Control de Acceso

Una vez que el audio y el video han sido encriptados en un servicio de IPTV, la llave secreta utilizada para la encriptación debe ser entregada a los usuarios del servicio de alguna manera para que puedan acceder al contenido de IPTV. Cada dispositivo puede obtener diferentes servicios por llave, dependiendo para los servicios que tiene autorizados. Las autorizaciones pueden cambiar de un día a otro ya que los consumidores pueden cambiar los paquetes de suscripción. La gestión de este complejo y dinámico sistema de distribución de llaves es una parte vital en el proceso de autenticación, ya que debe controlar la totalidad de las llaves al mismo tiempo que debe mantenerlas en secreto.

5.8.1.3 Autenticación

El control de Acceso de un sistema DRM gestiona la gran cantidad de llaves digitales de encriptación que se utilizan para la encriptación del contenido digital. Ya que estas tienen que ser entregadas al receptor de IPTV, esto para poder descryptar la información. La autenticación se utiliza para verificar tanto la validez de los mensajes que contienen la información así como la identidad del emisor. Antes de entregar la llave digital a un determinado dispositivo, el sistema DRM debe autenticar la identidad del receptor para asegurarse que esta autorizado a recibir dicha llave. Por el otro lado, el receptor debe asegurarse que los mensajes que le sean entregados provengan del emisor correcto. Esto puede lograrse mediante la utilización de un código secreto compartido entre ambas partes, o mediante el establecimiento de una red segura, que provea una comunicación confiable entre en remitente y el receptor.

5.8.1.4 Administrador de derechos DRM

Después de la encriptación digital del contenido de audio y video, la gestión y administración de las diversas claves de encriptación, la recepción y autenticación de dispositivos, el sistema DRM debe decidir que dispositivos están autorizados a descifrar el contenido digital. Para un simple STB, el número de tareas que puede realizar son muy limitadas, simplemente decodifica el programa de televisión y lo envía al televisor. Sin embargo si el dispositivo tiene otras funcionalidades como la de almacenamiento interno para grabar programas, u otras interfaces que le permiten compartir el contenido con otros dispositivos como una PC portátil o un dispositivo multimedia, el sistema DRM debe definir que es permitido conectar al equipo. Por ejemplo el abonado puede haber comprado los derechos para ver el contenido, pero no para almacenarlo y verlo mas tarde, o puede tener una ventana de alquiler en la cual puede ver el contenido, luego de pasada esta el contenido ya no puede ser visto. Un sistema DRM define los derechos que tiene cada cliente con respecto al contenido digital que contrata.

El sistema DRM puede incluir el uso de controles, limitaciones, y la información de tarifas. Algunos de los controles de uso incluyen el derecho a descifrar y mostrar el contenido, la capacidad de almacenar una copia local de seguridad, y la capacidad de compartir contenidos con otros dispositivos confiables. Limitaciones que se pueden poner mediante el uso de estos controles pueden ser establecer el tiempo valido para que un dispositivo pueda descifrar el contenido o el número de copias que se pueden hacer del mismo.

Los DRM están siendo incluidos en todo tipo de dispositivos digitales, sin informar a quienes los compran respecto de sus consecuencias. Aunque han

sido comunes las medidas de control técnico sobre la reproducción y el uso de software de aplicación desde los ochenta, el término DRM se refiere usualmente al creciente uso de medidas referidas al contenido/trabajo artístico. En el mercado se ofrecen hoy muchos dispositivos equipados con circuitos electrónicos de *Trusted Computing*, entre ellos evidentemente ordenadores, pero también reproductores de DVD, reproductores de audio, teléfonos, televisores, radios, juguetes, contestadores automáticos, fotocopadoras, impresoras, y muchos otros.

Según algunos proyectos de ley impulsados por parte de la industria, estará prohibido producir o comercializar cualquier dispositivo que tenga la capacidad de grabar o reproducir sonido, video, texto o cualquier otra forma de expresión, a menos que esté equipado con hardware adecuado para la implementación de DRM.

5.9 Protección de salidas analógicas y digitales

Un proveedor de servicios IPTV tiene que contar con los sistemas DRM para la protección de copias digitales en el entorno de red, pero este proveedor entrega una señal ya decodificada a otros dispositivos electrónicos como televisiones o grabadoras de video. Un proveedor de servicios IPTV tiene que asegurarse que también estas interfaces que interactúan con estos dispositivos estén protegidas también. Si el contenido está protegido por el sistema IPTV hasta el dispositivo del cliente, esto no garantiza que el abonado tenga dispositivos de grabado dentro de su propia red y pueda piratear el contenido. Un aspecto típico en los contratos de los propietarios de contenido hacia los distribuidores de IPTV es que estos garanticen medidas de protección de los dispositivos finales en sus servicios. Para parte del sistema punto a punto de protección de contenidos, los dispositivos de cliente (STB's) deben emplear

medidas de seguridad sobre las interfaces donde se conectan otros dispositivos analógicos o digitales, como por ejemplo las que se conectan a la TV o al VCR, y proteger las interfaces que dan conexión a otros componentes de electrónica de consumo como DVD's.

5.9.1 Protección de copias en salida digital

Las salidas de los dispositivos cliente IPTV preservan la calidad de las señales originales DTV. La conversión a analógico puede introducir ciertas alteraciones que no están presentes en la señal original. Si bien la mayoría de televisores y video grabadoras solo tienen entradas analógicas, mas y mas dispositivos están incorporando entradas digitales. Las entradas digitales no solo conservan la calidad de la señal digital, sino que también facilitan la integración de seguridad a través de la interfase. Esto se puede hacer en tres interfaces digitales: directas punto a punto como las que se utilizan interfaces multimedia de alta definición (HDMI), interfaces de grabación digital como grabadoras de DVD y las interfaces que se conectan a redes digitales.

5.9.1.1 HDMI

HDMI (*High-Definition Multi-media Interface*). Interfaz multimedia de alta definición- es una norma de audio y vídeo digital cifrado sin compresión apoyada por la industria para que sea el sustituto DRM del euroconector. HDMI provee un interfaz entre cualquier fuente DRM de audio y vídeo digital como podría ser un sintonizador TDT, un reproductor de *Blu-ray*, un ordenador (con Windows, Linux, etc.) o un receptor A/V, y monitor de audio/vídeo digital compatible, como un televisor digital (DTV).

Figura 58. Conector HDMI



Fuente: Wikipedia. ORG

5.9.1.2 DTCP

DTCP es la sigla en inglés de *Digital Transmission Content Protection* (Protección de contenido en transmisiones digitales), y consiste en un método de protección contra copias en los medios audiovisuales e informáticos. La especificación DTCP ofrece una protección de los contenidos audiovisuales para que no sean copiados de forma ilegal, no sean interceptados en la red o no circulen por ella libremente. Se basa en técnicas criptográficas que proporcionan una protección flexible y robusta contra copias ilegales a través de los buses digitales, como el estándar IEEE 1394. Se puede implementar tanto en PC's como en aparatos electrónicos. Está formado por cuatro capas de protección de copia de igual importancia. A continuación, se explica brevemente de que trata cada una de ellas.

5.9.1.2.1 Información de control de copia (CCI)

Los propietarios del contenido necesitan una manera de especificar si éste puede ser duplicado. El sistema de protección del contenido, utilizando el CCI, debe soportar transmisiones de datos cifrados entre dispositivos. Si el aparato origen de la transmisión y el destino tienen conflictos, deben seguir los métodos

del CCI, que están determinados por el aparato origen. Para ello disponemos del Indicador de Modo de cifrado (EMI) que proporciona una transmisión segura del CCI. El cifrado del EMI nos permite saber que tipo de copia tiene el contenido: copiar gratuitamente, copiar nunca, copiar una vez o no más copias. Localizando el EMI en una posición fácil de acceder, los aparatos pueden determinar inmediatamente el CCI sin necesidad de extraerlo. En el caso de que los bits EMI sean falsos, los modos de cifrado y descifrado no se encontrarán por lo que la decodificación del contenido será errónea.

5.9.1.2.2 Cifrado del contenido

Las cifras del contenido suelen ser el algoritmo que cifra el contenido digital en sí mismo. Debe ser lo suficientemente robusto para proteger el contenido en PC's y dispositivos electrónicos. En el caso de la especificación DCTP, se requiere un M6 Hitachi como base de cifrado. Éste consiste en un algoritmo de cifras en bloque basado en la permutación y sustitución. Esta rotación está basada en algoritmos de cifrado que por ejemplo se utilizan en los sistemas digitales de difusión japoneses. El subsistema de cifrado del contenido de ser capaz de soportar el ancho de banda de un MPEG-2. Para PC's, este subsistema debe estar implementado en software; en cambio, para dispositivos electrónicos normalmente está implementado en hardware.

5.9.1.2.3 Autenticación del dispositivo

Antes de compartir cualquier información, los aparatos que utilizan DTCP han de verificar la autenticidad del otro dispositivo a través de la red ya que sólo se transmitirá el contenido a través de un canal seguro. La especificación incluye dos niveles de autenticación:

1. Full: se usa para todos los contenidos protegidos del sistema y mayoritariamente para contenidos que nunca se puedan copiar.
2. Restringido: se usa para la protección de contenidos que se pueden copiar una vez o que ya no se pueden hacer más copias.

5.9.1.2.4 Sistema *Renewability* (SRM)

El empleo de la especificación DCTP requiere una licencia del DTLA. Ésta se mantiene en los dispositivos que apoyan la autenticación mediante la recepción de Mensajes del Sistema *Renewability* (SRM). Éstos son generados por el DTLA. Aseguran la longevidad del sistema y evitan el uso de aparatos no autorizados.

5.9.2 Proyección de copia en salida analógica

Aunque los servicios de IPTV entregan únicamente información digital, la mayoría de televisores y grabadoras de video en los hogares de los abonados son analógicos. Por lo tanto el STB para IPTV incluye salidas analógicas para poderlo conectar a estos dispositivos. Para los propietarios de contenido el hecho de que este pueda ser copiado es de suma preocupación, ya que puede ser copiado a través de las salidas analógicas. Estos propietarios exigen al proveedor de IPTV para que adopte medidas de protección en las salidas analógicas antes de permitir el acceso al contenido al abonado. El sistema utilizado para la protección de salidas analógicas es el macrovision.

5.9.2.1 Macrovision

Para aplicar una señal anti copia a un determinado programa, las operadoras de TV por satélite o cable transmiten un comando de software hacia los decodificadores de los televidentes. Un circuito integrado dentro del decodificador recibe el comando y adiciona una forma de onda a la señal de vídeo analógica, que torna a la señal resultante prácticamente imposible de ser grabada. Esto funciona en aproximadamente el 95% de los VCR's. Este sistema es totalmente invisible para el televisor, por lo que el espectador ve su programa sin siquiera saber de la existencia, pero si intenta grabar en una cinta la imagen obtenida será un total desastre e incluso algunas VCR's siquiera graban. Cuando se intenta hacer una copia a partir de una cinta protegida, los pulsos introducidos durante la duplicación confunden al sistema de AGC de la VCR que está grabando la cinta copia, causando fluctuaciones de brillo, ruido y perdida de color en la imagen, dependiendo del tipo de codificación Macrovision que está siendo usado en ese instante. El patrón Macrovision introducido varía a lo largo de la película. En promedio, esta protección funciona en el 85% de los VCR's del mercado.

6. EVALUACIÓN ECONÓMICA

6.1 Equipos que se tienen que agregar partiendo de una topología de red ya establecida

El análisis que se ha hecho hasta el momento es sobre enlaces existentes de banda ancha, asumiendo que el proveedor de servicios ya cuenta con las conexiones de *Backbone* entre sus centrales y los equipos para la distribución de servicios de banda ancha (DSLAMS, o tecnologías PON). Por lo tanto, también existe la red de cobre en la cual se llevarán los enlaces de banda ancha a través de tecnologías DSL. Es de hacer notar que la mayoría de empresas telefónicas tienen años de utilizar sus redes por lo que en los costos de infraestructura únicamente se debe considerar el costo de mantenimiento de la misma ya que la recuperación del capital se asume que ya se dio con anterioridad.

Otro punto muy importante es que normalmente el *backbone* para que una red de banda ancha soporte el tráfico que demanda ya está implementado, el *backbone* debe estar interconectado con interfaces Gigabit *ethernet*, y debido al gran avance de las tecnologías ethernet ya existen enlaces de 10 Gigabit *ethernet* entre las centrales de los proveedores. El costo del *Backbone* no se agrega ya que es parte de la infraestructura de la compañía de telecomunicaciones únicamente una renta por la utilización del mismo.

Partiendo de este punto los equipos que se tendrían que agregar a una red con estas características vienen siendo mínimos, ya que los abonados que tienen acceso a estos servicios es porque tienen un DSLAM ubicado por lo

menos a 1400 metros de distancia hacia su casa. Todos los usuarios que estén fuera de este límite de distancia se les puede ofrecer el servicio por fibra óptica lo cual llevaría a que la tarifa sea mas alta o los contratos sean por mayor tiempo.

La red de acceso tiene que estar lo más cercana a donde se encuentran los abonados, ésto se realiza extendiendo la red de F.O. que se encarga de levantar los DSLAM's en cada sector. Los DSLAM's más pequeños son de 48 puertos y de ahí varían en cantidad de abonados en múltiplos de 48 puertos, hasta llegar a un máximo de 768 puertos. Esto se debe a que el diseño de estos equipos soporta 1 ó 2 tarjetas de abonado de 48 puertos cada una. Volviendo al punto de que ya contamos con esta infraestructura, la cual el proveedor de servicios está en fase de recuperación del capital invertido y en algunos casos este capital ya fue recuperado; esto se refleja en la baja de las tarifas de los servicios.

Los equipos que se consideran como nuevos en la red para poder habilitar un servicio de IPTV estarían todos los equipos relacionados con el *Headend*, que es donde se haría el procesamiento del contenido de video y todos los controles de seguridad y el empaquetamiento de la televisión digital en IP. Otro equipo de suma importancia que se tiene que evaluar a la hora de prestar el servicio de IPTV es el *Set-top-box* que se le instalará en la casa del abonado, este es un equipo agregado porque el *router* de Internet ya existe y únicamente se tiene que conectar a la red interna después de *router*.

Por lo tanto, el análisis más rápido es en cuanto se incrementaría la cuota de un servicio de banda ancha, adquiriendo el nuevo servicio de IPTV.

Los anchos de banda que se ofrecen actualmente se en el mercado van desde 128 kbps hasta 1 Mbps, que lo necesario para navegar por Internet, al agregar el servicio de IPTV se debe tener tener conexiones de 8 Mbps como mínimo.

Los equipos que se tendrían que adicionar a la red existente son servidores de video, convertidores de analógico a digital (codificadores), servidores de DRM, servidores para video por demanda y los equipos STB que se instalarían en la casa de los abonados.

6.2 Costos para implementación e una red existente.

El costo que se contempló en este análisis está básicamente para una central con un DSLAM de 768 puertos donde se concentrara todo este tráfico. Únicamente se esta contemplando una inversión para montar un pequeño *headend* donde se pueda dar el servicio de IPTV es este pequeño sector de usuarios, para mayor número de suscriptores habría que agrandar esta red con los equipos necesarios para que soporten la cantidad de clientes que se agregarían.

Tabla XIII. Costos a implementar en una red existente de 768 usuarios

	Equipo	Marca	Costo Unitario en dólares	Valor total	Costo Unitario en Quetzales	Valor total En Quetzales
4	CISCO IP/TV 3411 CONTRAOOL SERVER	Cisco	\$10,750.00	\$43,000.00	Q82,452.50	Q329,810.00
4	SMARTNET 24X7X2 Cisco IP/TV 3427 Broadcast Server	Cisco	\$16,160.00	\$64,640.00	Q123,947.20	Q495,788.80
4	Codificadores de Video	Axis	\$18,000.00	\$72,000.00	Q138,060.00	Q552,240.00
2	Servidores DRM	DELL	\$31,311.00	\$62,622.00	Q240,155.37	Q480,310.74
2	Servidores para VoD	DELL	\$31,311.00	\$62,622.00	Q240,155.37	Q480,310.74
12	Mensualidad por Paquete de canales básicos		\$10,000.00	\$120,000.00	Q76,700.00	Q920,400.00
12	Mensualidad por Paquete de canales Avanzados		\$15,000.00	\$180,000.00	Q115,050.00	Q1,380,600.00
	Rentas por el uso de backbone 10 Gbps		\$25,000.00	\$25,000.00	Q191,750.00	Q191,750.00
	Instalación del equipo		\$32,000.00	\$32,000.00	Q245,440.00	Q245,440.00
800	STB	Axis	\$75.00	\$60,000.00	Q575.25	Q460,200.00
			Total en dólares	\$721,884.00	total en Quetzales	Q5,536,850.28

Nota: tipo de cambio septiembre de 2008 Q.7.67 = \$1.00

Se contempla la compra de 800 STB's debido a que en una red de este tipo, siempre se tendrán que cambiar algunos por mal funcionamiento o por daños hechos por los abonados.

6.3 Costos por usuario

La inversión hecha para la implementación en red debe ser distribuida entre todos los usuarios y tomando en cuenta las utilidades que la empresa debe recibir por prestar el servicio.

El costo actual por una tarifa plana de Internet de banda ancha asimétrico esta entre los siguientes valores.

Tabla XIV. Precios promedio de un servicio de Internet de banda ancha en el mercado Guatemalteco

Ancho de banda	Costo en dólares
128 Kbps	De \$20 a \$25
256 Kbps	De \$35 a \$40
512 Kbps	De \$50 a \$60
1024 Kbps	De \$65 a \$75

Estos precios son los que se pagan actualmente por el servicio de Internet de banda ancha, por lo tanto, se tiene que evaluar la cantidad en que aumenta la renta de un enlace agregando el servicio de IPTV.

Para hacer este cálculo se hace uso de los cálculos del TIR (Tasa Interna de Retorno) y el VAN (Valor Actual Neto) para calcular aproximadamente el costo de la tarifa mensual, y verificando que realmente la inversión es segura.

Como se puede ver en la tabla XV, con una cuota de US \$20.00 (Q153.00) y 450 usuarios se recupera la inversión a 3 años, analizando el TIR con la tasa de corte de 10% tenemos que $TIR = 30.2\% > 10\%$ lo cual nos indica que es seguro hacer la inversión, por otro lado analizando el resultado del Van don de VAN = 722,223.00 > 721844.00, se observa que la inversión se recupera en el tiempo establecido. El costo de US \$20.00 se hizo colocando valores al azar hasta encontrar la tarifa más baja y que esta dara la recuperación de la inversión en un periodo no mayor a 3 años.

Tabla XV. Calculo del TIR y del VAN para la implementación de IPTV

Cantidad Estimada de Usuarios	450
Precio de la renta x usuario	20
Tasa de corte	10%

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos											
Rentas Imponibles a los abonados		108.000	108.000	108.000	108.000	108.000	108.000	108.000	108.000	108.000	108.000
Anuncio publicitarios		240.000	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000
Total ingresos		348.000									
Egresos											
Depreciación		(72.184)	(72.184)	(72.184)	(72.184)	(72.184)	(72.184)	(72.184)	(72.184)	(72.184)	(72.184)
Costos de Operación		(14.400)	(14.400)	(14.400)	(14.400)	(14.400)	(14.400)	(14.400)	(14.400)	(14.400)	(14.400)
Electricidad		(24.000)	(24.000)	(24.000)	(24.000)	(24.000)	(24.000)	(24.000)	(24.000)	(24.000)	(24.000)
Mantenimiento		(4.800)	(4.800)	(4.800)	(4.800)	(4.800)	(4.800)	(4.800)	(4.800)	(4.800)	(4.800)
Total gastos		(115.384)									
Beneficio antes imp.		232.616	232.616	232.616	232.616	232.616	232.616	232.616	232.616	232.616	232.616
Impuestos (30%)		(69.785)	(69.785)	(69.785)	(69.785)	(69.785)	(69.785)	(69.785)	(69.785)	(69.785)	(69.785)
Beneficio neto		162.831									
Más: depreciación		-	72.184	72.184	72.184	72.184	72.184	72.184	72.184	72.184	72.184
Inversión	(721.844)										
Flujo neto efectivo	(721.844)	235.015									

VAN	722.223
TIR	30,2%
Período recup.	3,07 años

Nota: tipo de cambio septiembre de 2008 Q.7.67 = \$1.00

Este análisis toma en cuenta que no se brindan todos los servicios (los 768 que tiene de capacidad un DSLAM grande), sino que se opera con tan solo 450

y aun así la inversión es recuperada, teniendo el DSLAM lleno el tiempo de inversión se reduce a dos años y medio y las ganancias son mayores.

Para completar este análisis tenemos la tabla XVI que muestra las tarifas actuales del Internet de banda ancha, a las cuales hay que sumar las tarifas de IPTV para que el servicio sea completo (Triple play) ya que la línea telefónica está en el paquete de los *internet's* de banda ancha.

6.4 Costos para los usuarios finales.

En la tabla XVI se da una tarifa aproximada que tendría el servicio para un abonado.

Tabla XVI. Costos finales para usuarios de IPTV

Ancho de Banda	Costo en Dólares	Tarifa de IPTV	Costo en Dólares (Triple Play)	Costo en quetzales (Triple Play)
128 Kbps	De \$20 a \$25	\$20.00	De \$40 a \$45	De Q306.80 a Q345.15
256 Kbps	De \$35 a \$40	\$20.00	De \$55 a \$60	DE Q421.85 a Q460.20
512 Kbps	De \$50 a \$60	\$20.00	De \$70 a \$80	De Q536.90 a Q613.60
1024 Kbps	De \$65 a \$75	\$20.00	De \$85 a \$95	De Q651.95 a Q728.65

Nota: tipo de cambio septiembre de 2008 Q.7.67 = \$1.00

En el cálculo de este servicio se tiene contemplado que el proveedor que implemente el sistema provee al abonado del STB y de un paquete básico de canales, si el cliente contrata un paquete avanzado tendría un costo de US \$5.00 a US \$15.00 adicionales lo cual es muy económico.

CONCLUSIONES

1. La televisión desde sus inicios hasta las tecnologías actuales sigue siendo el mayor entretenimiento de millones de personas, por lo que se hace importante que cada día se busquen mejores tecnologías que den una satisfacción a todos los teleespectadores.
2. La Internet es la red de redes, ya que ella concentra millones de redes alrededor del mundo, cada día es más la cantidad de computadoras que se integran a esta red, lo cual la hace la mejor plataforma para la difusión de mejores servicios: la voz sobre IP y la televisión sobre IP.
3. El *broadcast* de TV está formado por corrientes de video que distribuyen a todos los usuarios que tengan un receptor, y es el sistema que se ha utilizado desde los comienzos de la televisión, y sigue siendo utilizado por las televisoras locales en cada ciudad.
4. El *Multicast* de TV es la forma de transmitir TV a un grupo seleccionado de usuarios (normalmente pagando suscripción). Este sistema se utiliza para la transmisión de IPTV, ya que las redes IP no están diseñadas para transmitir *Broadcast*. *Unicast* es otra modalidad que se utiliza en IPTV para ofrecer el servicio de Video por Demanda, y consiste en entregar la corriente de video a un solo usuario.
5. XDSL es un grupo de tecnologías que están diseñadas para ofrecer servicios de banda ancha a un costo muy bajo. Estas tecnologías están siendo utilizadas por las empresas que proveen *Internet*, por lo tanto es

la mejor tecnología para la distribución de IPTV, ya que no representa mucha inversión para proveedor de servicios y el abonado no tiene que cambiar su instalación actual, únicamente agregar a su red un STB.

6. Los DSLAM's son los concentradores de servicios xDSL, estos equipos tienen la capacidad de entregar y recibir el tráfico de la *Internet*. Con algunas modificaciones a las topologías existentes estos equipos pueden entregar el video y ser incorporados a una red de IPTV.
7. Entre las tecnologías de red utilizadas en los hogares están: el cable coaxial, el cable UTP, *Wireles* y *Power Line*. De estas tecnologías las más utilizadas en un sistema de IPTV son el cable UTP y el coaxial; ya que este tipo de conexión permite entregar los anchos de banda necesarios para mantener el flujo de video a través de la red.
8. Integrando los componentes de red que los proveedores de servicios poseen para dar los servicios de Internet de banda ancha, es poca la inversión que se tiene que hacer para agregar los equipos necesarios para ofrecer los servicios de IPTV, esta inversión haciendo un estudio de recuperación inversa de capital nos revela que puede recuperarse en un período de tres años con una tasa de retorno del 10%.

RECOMENDACIONES

1. Hacer un estudio del estado de las redes de cobre para ofrecer los servicios de IPTV, a fin de determinar las pérdidas que éstos pares de cobre puedan estar introduciendo al sistema.
2. Considerar el crecimiento que pueda tener la demanda del servicio al momento de invertir en el equipo, seleccionar el que mejor se adecuó a la demanda; ya que un mal diseño inicial puede llevar como consecuencia que se tenga que estar cambiando equipos constantemente.
3. Considerar que el término IP y tiempo real no son sinónimos, lo cual indica que cualquier información que viaje a través de una red IP tendrá retardos. Considerar que estos retardos no sean demasiado altos, para que se tenga una mejor calidad en el servicio entregado.
4. Configurar calidad de servicio en los enlaces que transporten voz y video, para minimizar los retardos de la red IP. Una red sin calidad de servicio realmente no podrá garantizar la entrega de los paquetes de voz y video en el menor tiempo posible.
5. Solicitar al proveedor de servicios que cumpla con un diseño óptimo de sus sistema *multicast* y *unicast*, un buen manejo de ingeniería de tráfico (QoS), sistemas de protección de la red, red de redundancia para sus enlaces de *backbone* (*core* y distribución), y buen control de sobreescripción.

6. El proveedor de servicios debe monitorear constantemente el ancho de banda que está demandando la red, ya que tiene que los equipos nunca deben estar operando al 100% de su capacidad. Si un equipo opera al 100% de su capacidad está en el límite de llegar a la sobresuscripción (operar arriba del 100% de su capacidad), lo cual provoca que el equipo deje de funcionar correctamente. Una sobresuscripción en los equipos del *backbone* puede hacer que la red colapse completamente.

7. Hacer un estudio de mercado y determinar el sector óptimo para la implementación del servicio de IPTV, este estudio debe contemplar que la inversión necesaria sea recuperada en un período de 3 años, porque la tecnología cambia drásticamente, y los equipos pueden volverse obsoletos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Weber, Joseph. IPTV Crash Course. Editorial McGraw Hill, 2007
2. Caballero, José M. Redes de banda Ancha. Barcelona, España. Editorial Marcombo. 1988
3. Odon, Wendell. CCNA INTRO, Cisco Press. 2004
4. Odon, Wendell. CCNA ICND. Cisco Press, 2004
5. Ginsburg, David, Implementing ADSL. Editorial Addison Wesley. 1997
6. Held, Hilbert. Understanding IPTV. Auerbach Publications. 2007
7. Hibrahim, K.F. Newnes guide to television an video & technology. Elseiver Ltd. 2007
8. Hirchoren, Gustavo. El estándar IEEE 802.16 para Banda Ancha. Inalámbrica. Instituto Tecnológico de Buenos Aires. 2006
9. Dinsdale, Alfredo. Televisión. Exclusivas-Lot. Barcelona.1929
10. Aggregation/DSLAM (DSL Access Multiplexer)
http://www.cisco.com/en/US/tech/tk175/tk176/tsd_technology_support_protocol_home.html
28 de marzo 2008

11. Internet Protocol Multicast

http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/sisintwk/ito_doc/ipmulti.html

28 de marzo de 2008

12. <http://dslforum.org>

14 de mayo de 2008

13. <http://wikipedia.org/wiki>

Mayo de 2008

14. Multicast Virtual Private Networks Concepts

http://www.cisco.com/es/US/tech/tk828/technologies_while_paper09186a00800a3db6.html

Julio de 2008

15. Jim Lane. Personal Broadband Services: DSL and ATM.

http://www.virata.com/virata_dsl-pdf.

Julio de 2008

16. http://www.portalplanetasedna.com.ar/medio_tv.htm

Mayo de 2008