



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

**DESARROLLO DE UNA RED DE COMUNICACIONES DE DATOS,
AUDIO Y VIDEO UTILIZANDO LA INFRAESTRUCTURA DE LAS
REDES DE TELEVISION POR CABLE**

Juan Carlos Portillo Martínez

Asesorado por Ing. Mario Alberto Miranda

Guatemala, septiembre de 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DESARROLLO DE UNA RED DE COMUNICACIONES DE DATOS, AUDIO Y
VIDEO UTILIZANDO LA INFRAESTRUCTURA DE LAS REDES DE
TELEVISIÓN POR CABLE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JUAN CARLOS PORTILLO MARTINEZ

ASESORADO POR ING. MARIO ALBERTO MIRANDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRÁCTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Julio Roberto Urdiales Contreras
EXAMINADOR	Ing. Francisco Tzirin
EXAMINADOR	Ing. Yuri Omar Urbina Cotto
SECRETARIA	Ing. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DESARROLLO DE UNA RED DE COMUNICACIONES DE DATOS, AUDIO Y VIDEO UTILIZANDO LA INFRAESTRUCTURA DE LAS REDES DE TELEVISIÓN POR CABLE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha 24 de Mayo de 1999.

Juan Carlos Portillo Martínez

DEDICATORIA A.

- Dios y la Virgen María: Por su bondad e infinito amor.
- Mis padres: Víctor Hugo Portillo Ambrosio (Q.E.P.D.)
Romelia Martínez de Portillo
Por su gran apoyo y sacrificio.
- Mi esposa: Vilma Elizabeth Oliva Archila de Portillo
Por su amor, apoyo y comprensión.
- Mi Hermano: Héctor Armando Portillo Martínez
Gran compañero y amigo.
- Mi Familia: En especial a mis tías, a mi querida abuelita Norberta
Ucelo de Martínez, a mis tíos, primos, primas y sobrinos.
Con cariño especial.
- Mis suegros: Santana Oliva Hernández
Maria Luz Archila de Oliva
Por su apoyo incondicional.
- En especial a: Familia Oliva, Martínez, Portillo, Lemus, Valenzuela.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VI
LISTA DE ABREVIATURAS	VIII
GLOSARIO	XIV
RESUMEN	XXIV
OBJETIVOS	XXV
INTRODUCCIÓN	XXVI
1. GENERALIDADES	1
1.1 Historia y desarrollo de las redes de televisión por cable	1
1.2 Aspectos fundamentales de las redes analógicas y digitales	3
1.3 Comunicación <i>full-duplex</i> , <i>half-duplex</i> y <i>simplex</i>	5
1.4 Atenuación y limitaciones de los medios utilizados	5
1.5 Partes de un sistema básico de televisión por cable (CATV).....	7
1.6 Redes de cable de banda ancha HFC	10
1.7 Topología del sistema.....	14
1.7.1 Características de la topología tipo árbol	16
2. CABECERA O CENTRO DE GOBERNACION DE TODO EL SISTEMA	17
2.1 Equipo de planta	19
2.2 Estación central de control	20
2.2.1 Ruido en el canal ascendente.....	22
2.2.2 Propagación por el canal ascendente	23
2.2.3 Modificaciones en la cabecera.....	25

2.2.4	Sistemas simétricos	26
2.2.5	Sistemas asimétricos.....	29
2.3	Modulación digital y analógica	32
2.3.1	Modulación PSK	33
2.3.2	Modulación BPSK.....	34
2.3.3	Modulación QPSK	35
2.3.4	Modulación QAM	36
2.4	Equipo de monitorización	37
2.5	Control de servicios prestados y tarificación a los abonados.....	39
2.5.1	Multidistribuidores direccionables	40
2.5.2	La tecnología direccionable en una opción	43
2.5.3	La tecnología direccionable a dos opciones	44
3.	LA RED TRONCAL	46
3.1	Anillos de fibra óptica	50
3.1.1	Sistemas de CATV de fibra óptica	52
3.1.2	Redes de CATV de fibra óptica.....	53
3.1.3	Reducción de cascada.....	54
3.1.4	Redes hasta la distribución	55
3.1.5	Redes de gran dimensión.....	56
3.1.6	Extensión de una red	57
3.1.7	Interconexión de cabecera	58
3.2	Redes <i>ethernet</i>	58
3.2.1	Elementos del sistema <i>ethernet</i>	59
3.2.2	Funcionamiento de <i>ethernet</i>	59
3.2.3	Tramas y direcciones <i>ethernet</i>	60
3.3	Fast Ethernet.....	61
3.3.1	La subcapa MAC.....	62

3.3.2	Interfaz independiente del medio (MII)	64
3.3.3	La capa física.....	65
3.3.3.1	Capa física 100BaseT4.....	65
3.3.3.2	Capa física 100Base TX.....	66
3.3.3.3	Capa física 100Base FX.....	67
3.3.4	<i>Fasth ethernet</i> , características <i>Full-Duplex</i>	67
3.3.5	Los problemas del cableado	68
3.4	Gigabit <i>Ethernet</i>	70
3.5	Descripción RSDI.....	73
3.5.1	Velocidad.....	75
3.6	<i>Frame relay</i>	75
3.6.1	Características técnicas.....	76
3.6.2	Estructura de trama.....	77
3.7	Descripción FDDI	79
3.8	Descripción ATM.....	82
4.	RED DE DISTRIBUCIÓN.....	85
4.1	Nodos ópticos.....	86
4.2	Troncales y amplificadores bidireccionales.....	86
4.2.1	Amplificador troncal básico.....	91
4.2.2	Amplificador híbrido.....	93
4.2.3	Amplificador <i>feedforward</i>	94
4.2.4	Amplificador <i>line extender</i>	97
4.2.5	Amplificador de distribución interna	98
4.3	Filtros	99
4.3.1	Filtro pasa bajas.....	100
4.3.2	Filtro pasa altas.....	101
4.3.3	Filtro pasa bandas.....	103
4.4	Elementos pasivos	107

4.4.1	<i>Splitters</i>	108
4.4.2	Acopladores direccionables.....	110
4.4.3	Taps.....	113
4.5	Canales de retorno	115
4.5.1	Transmisiones en doble vía	116
4.5.2	Variación y pérdida en retorno	120
4.5.3	Incremento del espectro de retorno	121
4.5.4	Aplicaciones de retorno y sus requerimientos específicos	122
5.	RED DE ACOMETIDA DE ABONADOS.....	125
5.1	Recepción de datos por modems asimétricos y simétricos	125
5.1.1	Funcionamiento de los modems de cable.....	127
5.1.2	Conexiones del módem de cable	127
5.2	Acceso por contienda	129
5.3	Acceso por solicitud-reserva	131
5.4	Tecnología de los módems de cable.....	133
5.5	La capa física.....	134
5.6	Ubicación de módem de alta velocidad en los abonados	136
5.7	Consideración de equipos a instalar en abonados de acuerdo a servicio requerido.....	136
6.	MANTENIMIENTO Y CRECIMIENTO DE LA RED.....	139
6.1	Ajuste del sistema.....	142
6.1.1	Pruebas en el láser de retorno	143
6.1.2	Pruebas en la red coaxial	146
6.2	Estudio de tráfico de señales y posible saturación	147
6.3	Analizadores de señales de Red	148

6.3.1	Analizadores verticales de redes	149
6.3.2	Analizadores de espectros	152
6.3.3	Analizadores de modulación	153
6.3.4	Analizadores vectoriales.....	154
6.3.5	Analizadores dinámicos	155
6.3.6	Analizadores de dominio de modulación	156
6.3.7	Analizadores de potencia de pico	157
6.3.8	Analizadores de distorsión	158
6.3.9	Analizadores de combinado	159
6.4	Desarrollo de servicios a prestar a consumidores finales	161
6.4.1	Servicios interactivos	162
6.4.2	Servicios de telefonía	163
6.4.3	Datos de alta velocidad.....	163
6.5	Posibilidades de crecimiento y mejoras de velocidad	165
6.6	Desventajas del sistema.....	167
6.6.1	Ruido por efecto antena.....	168
6.6.1.1	Interferencia de banda estrecha (<i>ingress</i>).....	168
6.6.1.2	Ruido impulsivo	169
6.6.1.3	Ruido a ráfagas.....	170
6.6.2	Ruido térmico	171
6.6.3	Microreflexiones	171
6.6.4	Zumbido	172
6.6.5	Distorsión de camino común	172
6.6.6	No-linealidades.....	173
6.6.7	Ruido de fase y desplazamiento de frecuencia.....	174
CONCLUSIONES		175
RECOMENDACIONES		177
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		178
APENDICE		179

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Red híbrido-coaxial (HFC).....	2
2	Partes de un sistema CATV.....	10
3	Comparación del canal ascendente.....	22
4	Esquema de propagación con canales de retorno multiplexados	24
5	Equipos necesarios en la cabecera de un sistema simétrico	29
6	Equipos necesarios en la cabecera de un sistema asimétrico	31
7	Modulación DPSK con dato digital 1011.....	34
8	Modulación QPSK	35
9	Modulación QAM	36
10	Multidistribuidores direccionables.	41
11	Multidistribuidores direccionables una opción	44
12	Multidistribuidores direccionables dos opciones	46
13	Arquitectura FTTN.....	48
14	Esquema de anillos de fibra óptica.....	51
15	Esquema de reducción de cascada.....	54
16	Fibra hasta la distribución.	55
17	Redes de gran dimensión.....	56
18	Extensión de una red	57
19	Interconexión de cabeceras.....	58
20	Estructura de una trama <i>frame relay</i>	78
21	Formato de una celula ATM	83

22	Diagrama simplificado de un amplificador	87
23	Amplificador bidireccional.....	88
24	Amplificador AGC	89
25	Diagrama de amplificador de distribución	90
26	Diagrama esquemático con detalle de cada modulo de amplificador básico.....	92
27	Amplificador <i>push-pull</i>	93
28	Diagrama de un amplificador híbrido	93
29	Diagrama de un amplificador <i>feedforward</i>	94
30	Diagrama esquemático de un amplificador troncal	96
31	Circuito de filtro pasa bajas.....	100
32	Gráfica de salida de filtro pasa bajas.....	101
33	Circuito de filtro pasa altas.....	102
34	Gráfica de salida de filtro pasa altas.....	102
35	Circuito de filtro pasa bandas	104
36	Dibujo de circuito de filtro	106
37	Curvas características ideales de los filtros.....	107
38	<i>Splitter</i> de dos vías	108
39	<i>Splitter</i> de tres y cuatro vías	109
40	Salida acoplada y acoplador de 8dB.....	110
41	Direccionalidad del acoplador.....	111
42	Acoplador combinador de señales.....	112
43	Esquema de un tap de cuatro salidas	113
44	Ejemplo de <i>tap</i>	114
45	Mapa del espectro en cable.....	118
46	Compartiendo el ancho de banda de <i>upstream</i>	119
47	Transmisión de <i>upstream</i>	120
48	Conexión del módem a la red de CATV	128
49	Pasos en el esquema CSMA/CD	130

TABLAS

I	Espectro de canales de cable	178
II	Simbología de Componentes de CATV	179

LISTA DE SIMBOLOS

AGC	Control automático de ganancia.
AM	Amplitud modulada.
ANSI	<i>American National Standar Institute.</i>
ATM	Transferencia de modo asincrono.
BPSK	Modulación por desplazamiento bifásico.
CATV	Televisión por cable.
CIM	Gestión de ingreso en cable.
CIR	<i>Committed Information Rate.</i>
CSMA	Acceso múltiple con detección de portadora.
CV	Circuito virtual.
DB	Decibeles.
DC	Corriente directa.

DTE	Equipo terminal de datos.
EM	Equipos de monitorizado
FEC	Corrección de errores en la capa física.
FCS	<i>Frame Check Sequence.</i>
FDMA	Acceso múltiple por división de frecuencia
FDDI	Interfase de datos distribuidos por fibra.
FFT	Analizadores dinámicos.
FLP	Pulso enlace rápido.
FM	Frecuencia modulada.
FTTN	Fibra en la red.
GHz	<i>Giga Hertz.</i>
HFC	Fibra híbrido coaxial.
HF	Frecuencias altas.

IEEE	Instituto de Ingenieros Electrónicos y Electricistas.
IP	Protocolo de internet.
IPOP	Presencia de punto de internet.
Kbps	Kilo <i>bits</i> por segundo.
KHz	Kilo <i>hertz</i> .
LO	Osciladores locales.
LAN	Red de área local.
MAC	Control de acceso al medio.
Mbps	Mega <i>bits</i> por segundo.
MDA	Analizador dominio de modulación.
MDF	Múltiplex por división de frecuencia.
MII	Interfaz de media independiente.
MHz	<i>Mega hertz</i> .

MMDS	Sistema de distribución multipunto multicanales.
MPEG	Grupo de expertos en imágenes en movimiento.
NNOD	Vídeo casi bajo demanda
ON/OFF	Encendido/apagado.
OSS/BSS	Sistema de soporte operacional/Sistema soporte de negocios.
PDH	Jerarquía digital pliesicrona.
PPV	Pago por visión.
PSK	Modulación digital por desplazamiento de fase.
QAM	Modulación de amplitud en cuadratura.
QPSK	Modulación por desplazamiento bifásico cuaternaria.
QoS	Calidad de servicio.
RDSI	Red digital de servicios integrados.
RF	Radio frecuencia.

RTC	Red telefónica conmutada.
SDH	Jerarquía digital sincronía.
SMTP	Protocolo de transferencia de correo simple.
SNA	Analizadores escalares de redes.
TCP	Protocolo de control de transmisión.
TDMA	Acceso múltiple por división de tiempo.
TPS	Selector punto de prueba.
UCC	Unidad de control de cabecera.
UHF	Ultra alta frecuencia.
UTP	Par trenzado sin blindaje.
VCO	Analizadores de espectros combinados.
VCR	Control remoto de vídeo.
VHF	Frecuencias muy altas.

VLAN	Red de area local virtual.
VNA	Analizadores vectoriales de redes
VOD	Video por demanda.
WEB	<i>World wide web</i>

GLOSARIO

10Base-2	Especificación <i>ethernet</i> que utiliza tipo de cable coaxial RG-58 muy económico y probado. Topología en bus.
10Base-5	Especificación <i>ethernet</i> que utiliza cable coaxial RG-8 0 RG-11, utilizando originalmente en las primeras etapas de desarrollo. Topología en bus.
10Base-T	Especificación <i>ethernet</i> que utiliza cable multipar trenzado en topología estrella.
10Base-FL	Especificación <i>ethernet</i> que utiliza fibra óptica en topología estrella.
100Base-Tx	Especificación fast <i>ethernet</i> para cable multipar trenzado en topología estrella.
100Base-Fx	Especificación fast <i>ethernet</i> para fibra óptica en topología estrella.
802.3	El estándar IEEE oficial empleado para la tecnología de acceso al medio CSMA/CD.

Activo	Se define a un elemento activo en la línea a todo aquel que necesita para su funcionamiento de una alimentación, como por ejemplo un amplificador, un nodo óptico, como también una fuente de alimentación.
Amplificador	Dispositivo usado para elevar el nivel de señal de una señal electrónica, los amplificadores son colocados “espaciados”, a intervalos regulares de u sistema de cable para reconstruir el nivel de la señal de TV, la cual se ve atenuada al circular por la red de cable.
Ancho de banda	Es un indicador de la cantidad de datos que pueden transmitirse en determinado periodo de tiempo por un canal de transmisión.
<i>Backbone</i>	Enlace troncal usado para interconectar redes entre si utilizando diferentes tipos de tecnologías.
Bidireccional	Un sistema de CATV con capacidad bidireccional o de dos vías puede conducir señales desde y hacia la cabecera.
<i>Bridger</i>	Amplificador conectado directamente dentro del troncal de un sistema de CATV pero aislado del mismo.
<i>Broadcast</i>	Paquete o trama de datos que es transmitido por cada nodo en un segmento de red local, el cual esta definido como un dominio de <i>broadcast</i> .

Cabecera	Es el origen o punto de partida de un sistema de televisión por cable (CATV). En el se procesan señales, ya sea generadas en forma local, o recepcionadas de aire, satélite o microondas.
Cable	Conducto que conecta dispositivos de la red entre sí, el tipo de cable a utilizar depende del tamaño de la red y la topología de la misma.
Cable TV	Antiguamente llamado televisión por antena comunitaria (CATV). Sistema de comunicación para la transmisión de canales de TV, programación original y servicios a través de cable coaxial.
<i>Clipping</i>	Limitante o recortante en ingles. Es un fenómeno donde los picos de corriente o voltaje de una señal están agudamente limitados a un valor (por ejemplo, en los diodos láser de los transmisores.
Decibel	Unidad logarítmica de medidas que expresan la relación entre dos potencias eléctricas.
Dieléctrico	Material aislante eléctrico. Cuerpo que carece de conductibilidad eléctrica, pero en el interior del cual puede existir un campo electrostático. Elemento aislador puesto entre el conductor central y el aluminio que recubre a un cable coaxial.

<i>Diplexor</i>	Es un modulo que se coloca en la tarjeta principal de algunos amplificadores de cable. Su función es filtrar y/o separar las frecuencias en la via directa y de retorno que pasan por el.
<i>Downstream</i>	En ingles es cadena de bajada. Se refiere a los canales o frecuencias donde los datos son transportados desde la cabecera central hacia los suscriptores a través de la red de cable.
<i>Ethernet</i>	Es un estándar de red que transfiere datos a una velocidad máxima de 10 millones de <i>bits</i> por segundo (Mbps).
Fase	Es una onda, cambios sucesivos de posición en su ciclo en un instante especificado.
<i>Fast ethernet</i>	Es un estándar de transmisión similar a ethernet pero con velocidad de 100 mbps.
Fibra óptica	Medio fisico que puede conducir la transmisión modulada de luz. En comparación con otros medios de transmisión, el cable de fibra óptica es mas caro, pero por otro lado no es susceptible a la interferencia electromagnética y permite mayores velocidades.

Filtro	Circuito para seleccionar la frecuencia del canal deseado, usando líneas de alimentación o troncales para servicios especiales de CATV.
Frecuencia de corte	Se refiere a los límites, inferior o superior de una banda de frecuencias, y que a esa frecuencia no se transmite energía apreciable.
Frecuencia	Es la cantidad de veces por segundo que se repite una señal alterna. Se mide en Hertz o ciclos por segundo.
<i>Full-duplex</i>	Modo de comunicación en la cual una terminal puede transmitir y recibir datos o voz al mismo tiempo.
<i>Gigabit ethernet</i>	Tecnología de red en la que los datos se transmiten a un gigabit por segundo. La nueva interfaz gigabit ethernet utiliza un cable de cobre estándar (cat.5) y es un estándar IEEE 802.3u. La interfaz también admite la selección automática de velocidad entre 10/100 y 100 mbps.
Ganancia	Medida de amplificación expresada en dB. Para medida de componentes de CATV. La ganancia en un amplificador es especificada usualmente a la frecuencia máxima de operación.
<i>Half-duplex</i>	Capacidad de transferir datos o voz en una sola dirección al mismo tiempo.

<i>Hardware</i>	Parte mecánica, componentes, dispositivos físicos, aparatos.
<i>Headend</i>	En ingles es cabecera. La oficina central de un proveedor de servicio donde se origina la señal de cable.
<i>Housing</i>	En ingles es encaje o caja. Es el chasis o soporte de metal sobre el cual se montan los componentes de un equipo de cable.
<i>Ingress</i>	Representa el ruido generado por la energía electromagnética que se introduce al sistema de retorno por cable. La mayoría de las veces causado por mal blindaje y conectores en mal estado.
Internet	Es un sistema mundial de redes de computadoras, un conjunto integrado por las diferentes redes de cada país del mundo, por medio del cual un usuario en cualquier computadora puede, en caso de contar con los permisos apropiados, acceder información de otra computadora.
Intranet	Aplicación de las tecnologías de internet en las tareas internas de una empresa, las intranets permiten que los empleados puedan interactuar con la información de la compañía con lo que se optimiza su funcionamiento.

<i>Line extender</i>	Extendedor de línea. Amplificador que se coloca al final de una línea RG-500 principal o troncal. Se alimenta del voltaje de la línea coaxial y se compone de una entrada y una salida.
Luminancia	Es la parte de la señal de TV que contiene la información de brillo o luminancia.
Longitud de onda	En una onda, distancia entre dos valles o dos crestas adyacentes.
<i>Low band</i>	Banda baja de VHF. Canales de TV del 2 al 6.
Protocolo	Procedimientos o reglas que deben llevarse para acomodar una cantidad de usuarios eficientemente y controlar el tráfico de información en una red.
Módem	Abreviatura de Modulador/Demodulador. Es un equipo para comunicaciones de datos entre dos computadoras mediante una línea de comunicaciones.
Modulación	Es el proceso por el cual una propiedad o parámetro de cualquier señal se hace variar en forma proporcional a una segunda señal.
<i>Multicast</i>	Proceso por el cual se envía información a varios destinos a la vez..

<i>Multiplexacion</i>	Es la combinación de varios canales de señales moduladas. Entremezclar o transmitir en forma aparente simultanea dos o mas mensajes por un unico canal o línea de conducción.
Red troncal	Es la encargada del transporte de señal desde la cabecera hasta los puntos de distribución.
Red de distribución	Es el conjunto de ramificaciones de cable que llevan la señal desde los puntos de distribución hasta los abonados.
Reactancia	Es la oposición que ofrece una bobina o un condensador al flujo de corriente alterna. Su valor es independiente de la frecuencia.
<i>Router</i>	Dispositivo de capa 3 en el modelo OSI, que se utiliza para la interconexión de LANs en sitios distintos.
<i>Simplex</i>	Es la comunicación unidireccional el dispositivo emisor siempre transmite y el dispositivo receptor siempre recibe.
<i>Software</i>	Programación, soporte lógico, parte no mecánica de un sistema. Es un conjunto de programas y procedimientos que se incluyen en una computadora o equipo de tratamiento de datos con el fin de hacer posible la utilización eficaz del aparato.

<i>Spacing</i>	Espaciamiento. Longitud de cable entre amplificadores expresados como dBs de pérdida a la máxima frecuencia utilizada, igual a la ganancia en los troncales.
<i>Span</i>	Distancia entre amplificadores o entre <i>taps</i> .
<i>Splitter</i>	Divisor. Dispositivo pasivo para la distribución de las señales de CATV en dos o más salidas, para ser enviadas a varios receptores simultáneamente.
<i>Switch</i>	Dispositivo de capa 2 en el modelo OSI, responsable de múltiples funciones: filtrado, desborde y envío de tramas. Trabaja con las direcciones de hardware de los equipos (MAC address)
<i>Tap</i>	Derivación o toma eléctrica. En cable es un accesorio que se utiliza para tomar de la señal de cable una muestra de esta.
<i>Tilt</i>	Inclinación, declive. Representa la diferencia de nivel de potencia de señal en decibeles entre la frecuencia mas baja y las mas alta en un sistema de televisión por cable.
<i>Topología</i>	La forma de la red. Predominan tres tipos de tecnologías: bus, estrella y anillo.

Troncal

Amplificador de uso para líneas troncales. La principal línea de distribución usada en CATV. Luego esta se divide y alimenta las distribuciones.

Upstream

Se denomina así a las señales que viajan desde el abonado hacia la cabecera o headend.

RESUMEN

Se hace una revisión de cómo han venido evolucionando las redes de televisión por cable y se analizan sus tendencias. Se realiza una somera explicación de las aplicaciones y servicios a prestar al consumidor final, tales como Internet, telefonía, videoconferencia, pago por visión, telemedicina, educación a distancia, etc. Se presenta la infraestructura de las redes HFC en una red de televisión por cable, las cuales ofrecen a sus abonados, tanto residenciales como empresariales, servicios combinados y transportar las señales telefónicas en el espectro de radiofrecuencia RF de la misma.

En esta tesis se pretende explicar y además tener variada información referente a la tecnología de televisión por cable CATV, se propone como una solución muy favorable y eficiente para los sectores residenciales y empresariales de nuestro país. Inicialmente se introducen los conceptos generales de las tecnologías de redes fibra híbrido coaxial HFC, posteriormente se describe las partes principales de las redes de CATV, su funcionamiento e implicaciones en el sistema; por último se analiza los componentes a instalar como también los servicios a prestar y mejoras hacia los usuarios finales.

OBJETIVOS

- **General**

Crear un documento de consulta que sirva de referencia a las personas interesadas en obtener información sobre redes de sistemas de televisión por cable CATV, utilizando las tecnologías HFC como red principal de la distribución de la señal. Sus características, sus ventajas y las consideraciones de diseño.

- **Específicos**

1. Dar a conocer el uso de esta tecnología en el área residencial e industrial
2. Indicar las características necesarias para poder montar este tipo de tecnología.
3. Definir las aplicaciones y equipos que se pueden utilizar en la implementación de una red de televisión por cable CATV.

INTRODUCCIÓN

Con el descubrimiento de los semiconductores se han desarrollado una gama de equipos que permiten facilitar la transmisión de información. El gran paso se dio cuando se logro colocar el primer satélite en el espacio, ya que los mensajes pueden llegar en términos de segundos.

Así como los equipos de comunicaciones han evolucionado, el medio por el cual viajan ha tenido que mejorar. El cable coaxial y el cobre, ha sido una base muy importante, como infraestructura, pero la utilidad del mismo es restringida. La utilización de la fibra óptica ha sido el mayor avance tecnológico, ya que por una sola fibra puede viajar una gran cantidad de información, tan inmensa que solo ha sido restringida por el equipo que la usa.

Como podemos apreciar en nuestros días existe una mayor necesidad de estar en constante comunicación con el mundo exterior y poder tener nuevos servicios que puedan ayudar a reducir costos.

Una moderna red de cable nace con la vocación de prestar a sus usuarios servicios de telecomunicación adaptados a sus necesidades, fiables, seguros, y a precios competitivos; En definitiva, lo que todo el mundo espera de una red de estas características es una alta calidad de servicio, ya se trate de televisión, de telefonía o de transmisión de datos.

Esta tesis trata sobre la innovación de tecnología, el poder utilizar una red de televisión por cable CATV y poder montar una infraestructura de red fibra híbrido coaxial HFC, de tal manera que puedan tener los usuarios finales diversidad de servicios sobre la misma red.

En el capítulo uno se presentan las generalidades de las redes de cable de televisión. En el dos se explica el concepto y funcionamiento de la cabecera o centro de gobernación de todo el sistema. En el siguiente, se presenta el funcionamiento de una red troncal. En el capítulo cuatro se explican las características de la red de distribución. En el capítulo penúltimo se representa la red de acometida de abonados, y finalmente, en el último se explica el mantenimiento y crecimiento de las redes de televisión por cable, como también las desventajas del sistema.

1. GENERALIDADES

1.1 Historia y desarrollo de las redes de televisión por Cable

Las primeras redes de televisión por cable surgieron como método alternativo para hacer llegar señales de televisión a zonas en las que las emisiones recibidas eran de baja calidad.

Posteriormente, para no perder abonados debido al aumento de estaciones de TV, los operadores de televisión por cable se vieron obligados a mejorar su servicio. Estas mejoras se han ido sucediendo a lo largo de los años paralelamente al desarrollo de nuevas tecnologías.

Hoy, debido a la aparición de los módem de cable, gracias a los cuales se pueden transmitir datos a alta velocidad por las redes de televisión por cable, y al gran crecimiento de Internet, los operadores se plantearon la posibilidad de incorporar el servicio de acceso a Internet dentro de su oferta

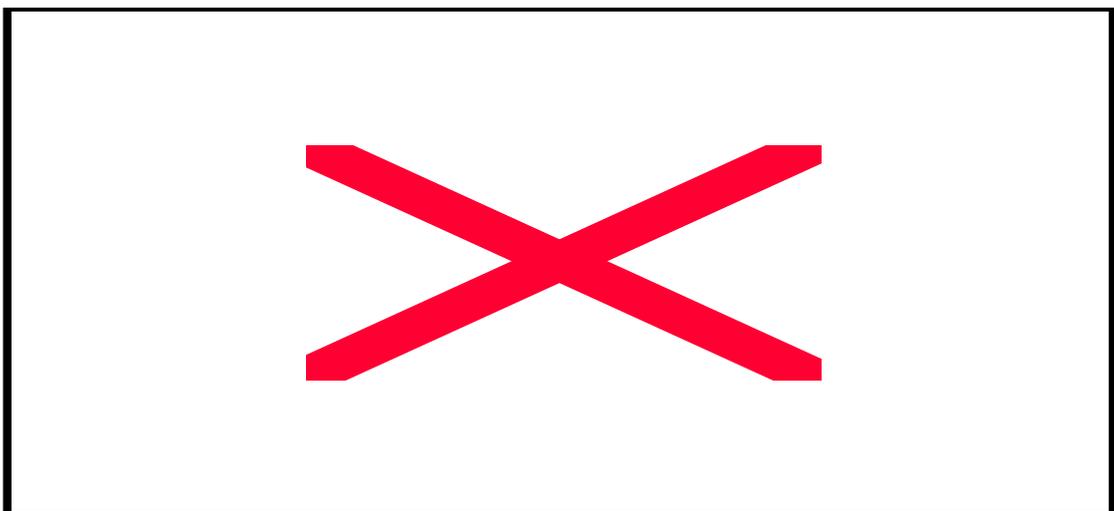
Las redes de televisión por cable aparecieron como alternativa para llevar señales de TV a zonas a las que, por encontrarse alejadas de estaciones de TV, las señales llegaban con insuficiente calidad.

Con el paso del tiempo estas redes penetraron en zonas en las que no eran necesarias, por ello debieron enriquecer su servicio mejorando la calidad de imagen e incorporando Canales no disponibles en las transmisiones aéreas. Para llevar a cabo esto era suficiente con que las redes tuvieran únicamente un sentido de transmisión, del operador al usuario.

La topología seguida fue la de red en árbol por ser la que mejor se ajustaba para prestar este servicio. Esta topología consiste en una cabecera en la que se recogen las señales que serán retransmitidas por las distintas ramas de la red de cable hasta los usuarios.

Para mejorar la capacidad, fiabilidad y calidad los operadores están optando por sustituir los grandes tramos de cable coaxial por fibra óptica. Las redes resultantes se denominan HFC (Híbrido Fibra-Coaxial), como se muestra en la siguiente Figura 1.

Figura 1. Red híbrido fibra-coaxial (HFC)



Esta mejora en las redes posibilita la utilización de la planta de cable para prestar servicios de datos bidireccionales previa habilitación de un canal de retorno, es decir, del usuario a la cabecera.

Utilizando una técnica de modulación apropiada podremos alcanzar velocidades del orden de los 2-3 Mbps por el canal ascendente, mientras que por el descendente éstas variarán entorno a los 30 Mbps.

Para lograr esto es necesario un dispositivo nos permita conectarnos a la red de cable y transmitir datos a alta velocidad. Este dispositivo se denomina módem de cable.

1.2 Aspectos fundamentales de las redes digitales

Cuando las informaciones de tipo digital deben ser transmitidas a distancia, hay que adaptar el espectro original a las características del canal de telecomunicación que va a ser utilizado. Es preciso por tanto, transformar la señal original de alguna manera. Los dos procedimientos más utilizados para ello son:

Transmisión en banda base: Cuando la señal a mandar no se modula, sino que solamente se codifica de manera que su espectro sigue utilizando toda la anchura de banda del cable, hablamos de señal en banda base. Dado que la señal no se modula, en este caso no puede haber multiplexado en frecuencia.

La señal binaria, no se suele transmitir directamente como pulsos de tensión 0, +5 V. Por ejemplo, ya que el valor medio de estas señales no es nulo. Además, los pulsos así mandados no contienen información de sincronismo. La característica principal de los medios de transmisión en los que se utiliza banda base es que se comportan aproximadamente como filtros pasa bajo.

Un equipo de transmisión en banda base consta normalmente de un codificador que adapta la señal al canal, el canal en si, que puede además añadir cierto ruido, un decodificador y el muestreador para la reconstrucción de la señal. El codificador debe adaptar en lo posible la señal al canal de transmisión, de modo que se reduzca la probabilidad de error, aunque eso precise de un aumento del ancho de banda.

Dado que en las transmisiones reales de datos no se utilizan señales repetitivas, una prueba aceptablemente real debe realizarse mediante una señal de ensayo aleatoria.

Transmisión en banda ancha: Si la señal se modula por alguno de los procedimientos habituales, de modo que el espectro de la señal pasa a ocupar una banda distinta del espectro, se dice que transmitimos en banda ancha (él termino proviene de telefonía, donde cualquier cosa con ancho de banda mayor de 4 KHz. es de banda ancha). En este caso, si que puede haber multiplexado en frecuencia, y utilizar el medio para mandar mas de una señal. La tecnología usada es fundamentalmente analógica.

Para canales que no responden a frecuencias nulas y el ancho de banda es pequeño, la manera de mandar señales binarias por ellos es mediante la modulación. Existen tres procedimientos principales que son: modulación de amplitud, modulación de frecuencia y modulación de fase.

1.3 Comunicación *full duplex*, *half dúplex* y *simplex*

El intercambio de datos sobre una línea de transmisión se puede clasificar como "*full-duplex*" o "*semi-duplex*". En la transmisión *semi-duplex* cada vez sólo una de las dos estaciones del enlace punto a punto puede transmitir. Este modo también se denomina "alterno en dos sentidos" aludiendo al hecho de que las dos estaciones deben transmitir alternativamente.

Esto es comparable a un puente con un sólo carril con circulación en los dos sentidos. Este tipo de transmisión se usa a menudo en la interacción entre los terminales y el computador central. Mientras que el usuario introduce y transmite datos, al computador se le impide enviar datos al terminal, ya que si no éstos apareciesen en la pantalla del terminal provocando confusión.

En la transmisión *full-duplex* las dos estaciones pueden simultáneamente enviar y recibir datos. Este modo se denomina a su vez simultánea en dos sentidos y es comparable a un puente con dos carriles con tráfico en ambos sentidos. Para el intercambio de datos entre computadores, este tipo de transmisión es más eficiente que la transmisión *semi-duplex*.

En la señalización digital, en la que se requiere un medio guiado, la transmisión *full-duplex* normalmente exige dos caminos separados (por ejemplo dos pares trenzados). Mientras que la transmisión *semi-duplex* necesita normalmente solamente uno. Para la señalización analógica, dependerá de la frecuencia: si una estación transmite y recibe a la misma frecuencia.

Para la transmisión inalámbrica se deberá operar en modo *semi-duplex*, aunque para medios guiados solo uno puede operar en *full-duplex* utilizando dos líneas de transmisión distintas. Si una estación emite, en una frecuencia y recibe a otra, para la transmisión inalámbrica se deberá operar en *full-duplex* y para medios guiados en *full-duplex* usando una sola línea.

La transmisión de datos *full-duplex* significa que los datos pueden ser transmitidos en ambas direcciones sobre una transportadora de señales al mismo tiempo.

Por ejemplo, en una red de área local (LAN) con una tecnología que disfrute de transmisión *full-duplex*, una estación de trabajo puede estar enviando datos en la línea mientras que otra estación de trabajo esta recibiendo otros datos. La transmisión *full-duplex* necesariamente implica una línea bidireccional (es decir, que pueda transportar datos en ambas direcciones).

Ahora los dispositivos pueden enviar y recibir simultáneamente la desventaja frente a *half-duplex* radica en que el bit rate se divide entre el número de dispositivos que acceden al medio.

Half-Duplex: En el modo *half duplex*, cada nodo puede transmitir o recibir, pero no al mismo tiempo. Cuando uno esta enviando, el otro esta recibiendo y viceversa.

Simplex: En el modo *simplex* la comunicación es unidireccional; el dispositivo emisor siempre transmite y el dispositivo receptor siempre recibe. Un ejemplo el teclado y el ordenador.

1.4 Atenuación y limitaciones de los medios utilizados

No solo los cables físicos en la práctica aportan pérdidas, sino que la naturaleza misma de las señales y sus efectos tiene serias implicaciones en el cable TV.

Un cable coaxial tiene dos componentes de pérdida, el primero y el más importante desde el punto de vista experimental, es la pérdida material dieléctrica entre dos conductores. Esta pérdida usualmente no se considera importante porque es pequeña excepto para muy altas frecuencias usadas en cable TV.

La segunda causa de pérdida es la resistencia de dos conductores. Debido a que el conductor central es de área pequeña, su resistencia será mayor lo contribuirá en gran parte con la pérdida.

La pérdida en un conductor a radio frecuencias es afectada por un fenómeno conocido como efecto piel. Cuando una corriente directa fluye a través de un conductor, la corriente es distribuida uniformemente a través del área del conductor, a medida que la frecuencia se incrementa, la corriente tiende a viajar por la superficie, esto reduce la sección transversal por la cual la corriente fluye, resultando en un conductor que tiene una alta resistencia a altas frecuencias.

De esto se puede decir que la pérdida en un cable coaxial no es la misma para todas las frecuencias, variando la resistencia con la raíz cuadrada de la frecuencia.

La pérdida de potencia en un cable coaxial depende del tamaño del conductor externo, también por el espacio sobrante que se puede reducir la pérdida haciendo al conductor interno más grande para que la resistencia disminuya.

Si se incrementa el diámetro del conductor interno la impedancia característica del cable baja. Esto significa que una alta corriente se requiere para transmitir la misma cantidad de potencia, la pérdida es proporcional al cuadrado de la corriente de modo que rápidamente pueda darse cuenta que existe un punto donde la pérdida se incrementa, cuando aumenta el diámetro del conductor interno.

Si se deseara reducir el diámetro del conductor interno en un intento por incrementar la independencia, la corriente será menor para la misma cantidad de potencia, y entonces se encontrara un punto donde la resistencia del conductor se incrementara lo suficiente para incrementar las pérdidas.

Estas dos consideraciones indican que existe una razón optima en cuanto a tamaño de los conductores resultando en una misma pérdida y con un cable coaxial con dieléctrico de aire, la razón optima es cerca de 3 a 1 lo cual corresponde a una independencia característica de 70 ohm. Esta es una de las razones por la cual los sistemas de cable TV universalmente usan cable coaxial de 75 ohm.

Existen otros factores que influyen en la elección de una impedancia caracteriza optima para el cable coaxial. Una de ellas es el rango de voltaje que circula por una línea troncal en un cable RG-500 energizado.

Si el conductor interno es demasiado grande, el espacio entre los conductores será demasiado pequeño causando un arco eléctrico entre ellos, o si el conductor interno es demasiado pequeño, ocurrirá el efecto corona en la superficie.

1.5 Partes de un sistema básico de televisión por cable (CATV).

Las redes de televisión por cable utilizan una arquitectura de red basada en tres etapas:

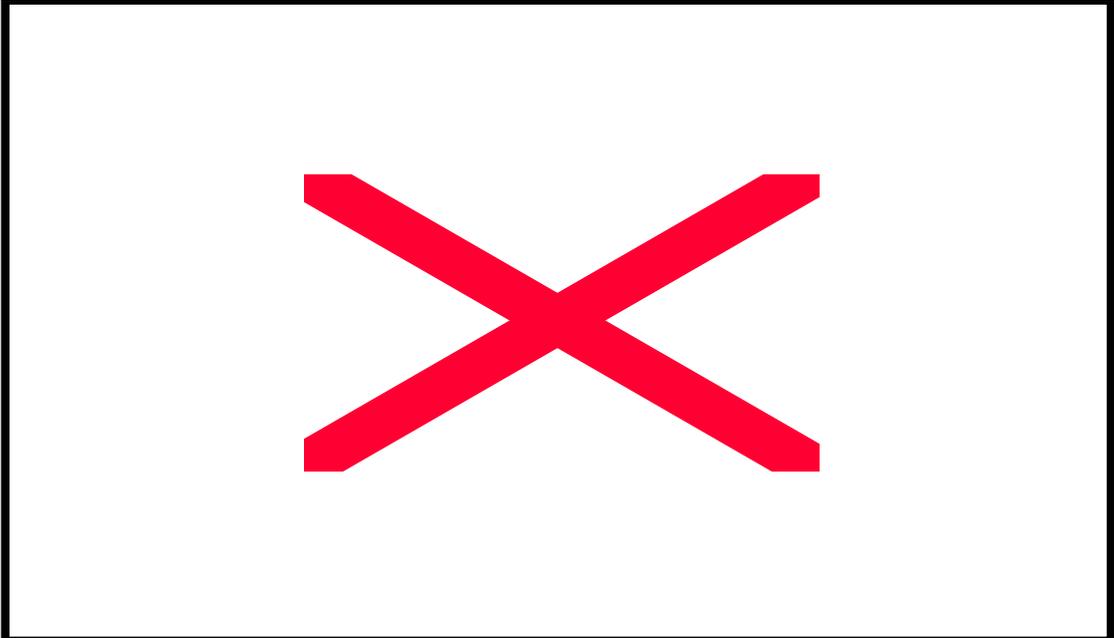
Cabecera o *Head End*: Es el lugar donde se recopilan todos los canales, normalmente provenientes de satélites enlaces terrestres y audios de producción propia, para ser transmitidos por la red.

Red troncal: Se encarga del transporte de señal desde la cabecera hasta los puntos de distribución.

Red de distribución: Conjunto de ramificaciones de cable que llevan la señal desde los puntos de distribución hasta los abonados.

A continuación se muestra la figura 2, en la cual se detallan las partes de CATV.

Figura 2. Partes de un sistema de Catv



1.6 Redes de cable de banda ancha (HFC)

Actualmente nos lleva a considerar las redes híbridas fibra óptica-coaxial (HFC) como las redes hacen llegar hasta los hogares de la mayoría de poblaciones de grande y mediano tamaño un amplísimo abanico de servicios y aplicaciones de telecomunicaciones entre lo que pueden citarse: vídeo sobre demanda (VOD), pago por visión (PPV), vídeo juegos interactivos, vídeo conferencia, telecompra, telebanca, acceso a bases de datos, etc.; y los que parecen que se convertirán en los productos estrella de las redes de cable: el acceso a Internet a alta velocidad en primer lugar y telefonía.

Las redes de cable híbridas fibra óptica-coaxial (HFC) son un tipo de red de acceso que se está convirtiendo en una de las opciones preferidas por los operadores de telecomunicaciones de todo el mundo para ofrecer a sus abonados servicios y aplicaciones cada vez más amplios, y que abarca desde TV digital interactiva hasta el acceso a Internet a alta velocidad, pasando por la telefonía.

Las redes HFC constituyen una plataforma tecnológica de banda ancha que permite el despliegue de todo tipo de servicios de telecomunicación, además de la distribución de señales de TV analógica y digital. El acceso a alta velocidad a redes de datos (Internet, Intranets, etc.) mediante cablemodems parece que se ha convertido en uno de los grandes atractivos de estas redes y en una fuente de ingresos importante para sus operadores.

Paralelamente al despliegue de servicios de TV y datos, los operadores de redes HFC están muy interesados en ofrecer servicios de telefonía a sus abonados, tanto residenciales como empresariales.

Una red HFC puede amortizarse prestando simultáneamente una multiplicidad de servicios, uno de los cuales consiste en alquilar parte excedente de capacidad de transmisión de la red troncal de fibra óptica a empresas o instituciones que la necesiten para interconectar redes locales de edificios distantes entre sí o para cursar tráfico telefónico directamente entre estos

Una red HFC puede amortizarse prestando simultáneamente una multiplicidad de servicios, uno de los cuales consiste en alquilar parte excedente de capacidad de transmisión de la red troncal de fibra óptica a empresas o instituciones que la necesiten para interconectar redes locales de edificios distantes entre sí o para cursar tráfico telefónico directamente entre estos

Una red HFC es una red de telecomunicaciones por cable que combina la fibra óptica y el cable coaxial como soportes de la transmisión de las señales.

Las redes HFC se diseñan en forma que cada nodo óptico sirve zonas de unos 500 hogares pasados. De estos 500 hogares no todos se abonan al servicio de CATV y un porcentaje a un menor contrata el servicio de datos con módem de cable. De estos, a lo mejor un 30% se conecta simultáneamente, con lo que la capacidad total disponible para este servicio se reparte realmente entre unos pocos abonados en cada instante de tiempo la cual se traduce en capacidades efectivas (máximas y medias) de transmisión de abonados muy elevadas, aun comparándolas en el acceso RDSI a 128Kbps.

Las redes de acceso de HFC ofrecen a sus abonados la posibilidad de estar permanente conectados (no es necesario establecer una vía de comunicación cada vez que se quiere navegar por Internet o enviar un email, como es el caso de acceso telefónico o RDSI) y de que solo se les facture por el tiempo que están realmente utilizando los recursos del sistema, o por volumen de datos recibidos y transmitidos.

Otra ventaja de las redes de cable es que permite la difusión de datos a todos o a grupos específicos de usuarios (broadcast y multicast) para servicios de noticias, juegos multiusuarios, descarga de software, etc.

En las redes con circuitos dedicados solo se pueden hacer esto haciendo copias de la información para cada usuario y enviándolo por cada circuito a cada uno de ellos, lo cual es poco eficiente.

La capacidad del canal descendente en una red HFC (86 a 862 MHz) es tal que puede absorber cómodamente un gran aumento de número de abonados y de la demanda de todo tipo de servicios. En cuanto al canal de retorno, la arquitectura HFC permite la evolución del sistema hacia nodos de menor tamaño (que sirvan a zonas con menor número de hogares), para poder ofrecer los 50 MHz; del espectro ascendente a un menor número de abonados y por tanto aumentar sus capacidades individuales de interacción de cabecera. En ciertos casos puntuales, existen incluso ciertas soluciones que permiten ofrecer ancho de banda ascendentes mucho mayores empleando frecuencias cercanas a 1 GHz.

Los sistemas típicos HFC tienen cascadas de RF 4 a 6 amplificadores troncales y line extenders del nodo, varios de estos tienen control automático de ganancia (AGC) para compensar los cambios de la atenuación de cable y la respuesta en frecuencia debido a la temperatura.

La señal que sale de la planta de cable está diseñada para que la salida de “forward” de cada amplificador en la cascada sea la misma en diseño “ganancia unificada”. Debido a que la señal de cable presenta alta atenuación a altas frecuencias, el “tilt” de la salida amplificada es de 8 a 12 dB por un lado se tiene el beneficio de reducir las distorsiones por intermodulación entre la señal de varios canales reduciendo la potencia total a través de los componentes activos del amplificador. Debido a que los servicios digitales de “forward” son agregados a la programación analógica de vídeo usualmente son insertados sobre los analógicos ya que los requerimientos señalan a un ruido para las transmisiones digitales no tienen tanta exigencia como los analógicos, la potencia de la señal digital es en general menor en 6 a 10 dB, esto reduce la cantidad de potencia adicional cargada de los amplificadores.

1.7 Topología del sistema

Generalmente una línea “troncal” transporta la señal desde la planta central. Los cables de distribución que llegan a las casas, son de un diámetro más pequeños y están conectados a los cables de los ramales principales.

Cuando un cliente decide adquirir los servicios de cable, el técnico instala un cable de “bajada” de la distribución directamente a la casa del suscriptor, y un cable al punto donde esta el televisor.

Si la TV o VCR no sintoniza todos los canales de interés debido a que no es compatible con el sistema de cable, un caja convertidora se coloca entre el cable y la TV o VCR. El diseño “tronco y rama” es el método más eficiente y económico para transmitir un paquete de múltiples canales desde el “*headend*” hacia todos los suscriptores.

La estructura que incluye la topología de la red de cable TV residencial es una arquitectura troncal y rama, es un punto estratégico, un “*headend*” (punto donde se origina la señal) se instala para recibir la señal de satélite y la señal de los canales locales a través del aire.

Estas señales son luego enviadas a los suscriptores a través del cable coaxial desde el “headend” hacia las áreas a cubrir. Cada canal de televisión es transmitido en forma analógica sobre los 6 MHz encerrados en el espectro del cable, múltiples canales son enviados a través del mismo cable. Debido a que los canales son enviados a diferentes rangos de frecuencia (por ejemplo 54-60 MHz, etc.), esta forma de transmisión es conocida como banda ancha. (En contraste, las transmisiones en cada base toman lugar en la “base” de la banda iniciando a 0 Hz.). La información digital de las computadoras dentro de los canales de TV analógicos del cable. De tal modo que el equipo provee rangos con anchos de banda desde 500Kbps hasta 10 Mbps.

Para poder cubrir geográficamente todo el sector, los cables que salen del headend son ramificados. Cuando un cable es físicamente dividido, una porción de la potencia de la señal se divide y no el contenido de la señal o programación. La red de ahí sigue una arquitectura de bus lógico, como se muestra en la figura 3, con esta arquitectura la señal llega a los suscriptores al mismo tiempo y con la misma programación

Los objetivos básicos que se persiguen para diseñar una topología de una red son:

Brindar mas servicios, ya sea aumentar el ancho de banda para así poder transmitir mas canales, o para la prestación de servicios adicionales, como transmisión de datos, telefonía, pay per view, etc.

Obtener una mayor calidad de imagen y mejorar la disponibilidad de red, esto significa minimizar la posibilidad de cortes de señal.

1.7.1 Características de la topología tipo árbol

- Arquitectura tradicional por muchos años.
- División en Sub-Banda: 50-550 MHz en sentido directo, 5-30MHz para el retorno.
- Sistema de dos Capas.
- Capa No.1 Troncal:
 - Transporta las señales desde la cabecera hacia las partes más alejadas del sistema.
 - Utiliza las rutas más directas
 - Emplea largos cables coaxiales.
 - Amplificadores troncales con ganancia de 22 a 31 dB.
 - El objetivo es minimizar la cascada.
 - Las cascadas típicas constan de 2 a 30 amplificadores troncales, consiguiendo hasta 25 Km. de alcance.

Capa No.2 Distribución: Provee señales desde el amplificador (troncal/bridger) a través de amplificadores extensores de línea y taps hacia los suscriptores.

Usualmente la cascada con dos extensores de línea como máximo.

2. CABECERA O CENTRO DE GOBERNACION DE TODO EL SISTEMA

La función básica de una estación cabecera de red es generar la banda ancha de RF de TV y sonido FM, para ser distribuida hacia los abonados del sistema CATV, a partir de los canales recibidos por vía satélite, terrestre y los generados localmente. Cada canal analógico de 8 MHz es transmitido de forma similar a través del mismo cable utilizando la técnica de Múltiplex por División de Frecuencia (MDF).

Como funciones adicionales que la estación cabecera de red deberá realizar podemos enumerar:

- Control y supervisión de las señales transmitidas.
- Codificación de canales de TV, canales de pago o codificación digital.
- Generación y distribución de facilidades especiales como canal mosaico (se divide la pantalla y en cada fracción se muestra un canal), inserción de texto sobre canales o publicidad.
- Distribución de canales digitales.
- Gestión de servicio, gestión de los abonados.

El diseño específico de una estación cabecera de red, dependerá de las funciones que se desee que realice, pero siempre debemos tener presente que, por ser el primer elemento jerárquico en la red, es la parte más determinante en la calidad global de un sistema de CATV. Por todo ello:

- Es el elemento más exigente en calidad.
- Es el elemento más exigente en la fiabilidad.
- Es el elemento más exigente en características y prestaciones.
- Es muy importante su localización.

La señal de banda ancha de un sistema CATV consta de múltiples canales de televisión y de otros servicios originados en la estación cabecera de red. Algunas de estas señales de TV se producen en la misma cabecera, pero la mayoría llegan a la misma a través de sistemas de telecomunicación de muy variados tipos. Las diferentes señales que pueden recibirse y retransmitirse por un sistema CATV, son:

- Canales terrestres de Televisión VHF y UHF.
- La banda de radiodifusión en FM.
- Señales terrestres de microondas.
- Señales generadas localmente en la cabecera (vídeo reproductores, telecine, generador de caracteres, generador de canal mosaico, etc.).

- Señales de un estudio de televisión propio o reportajes enviados en directo a través de sistemas de microondas portátiles.

2.1 Equipo de Planta

2.1 Equipo de Planta

Cada una de las señales recibidas en la cabecera requieren una preparación diferente antes de ser introducidas en el sistema. Los equipos fundamentales que componen la estación cabecera de un sistema CATV son:

- Procesadores de señal.
- Demuladores/Moduladores
- Codificadores.
- Equipos para microondas.
- Decodificadores para señales vía satélite.
- Combinadores o redes combinadoras.
- Preamplificadores de bajo ruido para microondas y satélite.
- Amplificadores conversores para señales de satélite.
- Equipos para el tratamiento de las señales de FM.

Evidentemente esta relación no es limitativa, sino orientativa y a la que habría que añadir todos los sistemas para la capacitación de señales y los sistemas de medida y monitoreo así como los equipos de recepción y tratamiento de las señales recibidas por la vía de retorno.

Una estación cabecera de red puede pertenecer a varios sistemas CATV. En este caso cada sistema CATV dispone de una estación cabecera secundaria más sencilla. Estas estaciones cabecera secundarias reciben la banda ancha de RF, normalmente a través de FO y sus funciones se limitan a la de facilitar la posible inserción de canales locales y la ampliación de la señal para acometer la red de distribución. En otros casos la función desarrollada por las cabeceras secundarias es únicamente transmitir la señal que les llega de la cabecera principal a las redes que parten de ellas. A este tipo de cabecera secundaria se le denomina HUB.

2.2 Estación central de control

En las redes de TV por cable tradicionales se transmitían señales únicamente de la cabecera a los abonados. No existía un mecanismo que permitiera a los abonados comunicarse con el operador o enviar señales hacia la red.

Para permitir el acceso a Internet se tiene que habilitarse un canal descendente para transmitir datos de la cabecera al usuario y otro ascendente para transmitir en sentido contrario. Todos los usuarios podrán transmitir y recibir datos a través del mismo medio.

Para habilitar un canal ascendente en una red de TV por cable se deben seguir los siguientes pasos:

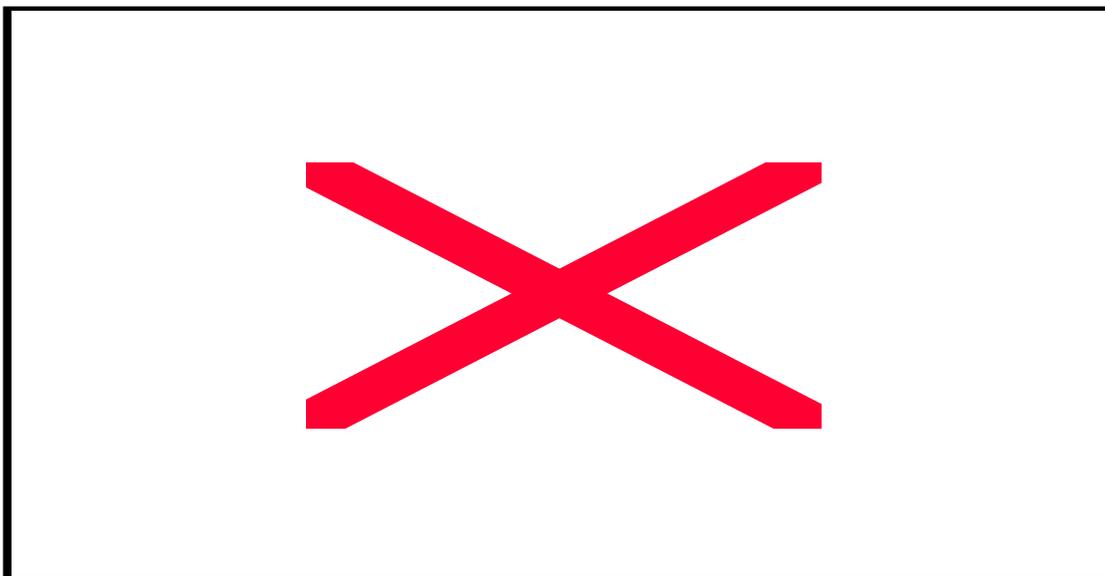
En caso de no disponer de una red HFC deberemos actualizar la existente.

Habilitar la zona inferior del espectro para el canal ascendente. La división entre el espacio ascendente y descendente se suele situar hacia los 50Mhz, estructuración que se conoce como sub-split; aunque esto es lo más habitual también hay otras alternativas conocidas como mid-split y high-split, que sitúan la frontera ente ambos sentidos entre en torno a 120Mhz y 200Mhz respectivamente. Aunque teóricamente el canal ascendente comienza en 5Mhz, la práctica dice que la zona entre 5 y 15 Mhz es altamente ruidosa por lo que en muchos casos no se utilizará.

Modificar los amplificadores para separar los canales ascendente y descendente, de modo que los amplifiquen por separado.

En el canal descendente se transmite la misma señal por toda la red, en cambio en el ascendente cada abonado introduce una señal distinta. Como se muestra en la figura 3. las señales de los distintos abonados en su transmisión por el canal ascendente deben compartir la misma zona del espectro. Por ello es necesario utilizar algún método de acceso para arbitrar qué señal se transmite en cada instante. Estos métodos se eligen en función de la aplicación a usar.

Figura 3. Comparición del canal ascendente



2.2.1 Ruido en el canal ascendente.

Como ya hemos indicado en el canal ascendente convergen las señales procedentes de los distintos abonados, junto con su ruido y el de los elementos por los que van pasando, con lo que finalmente tendremos todo el ruido en un solo punto.

Este “efecto chimenea” se conoce como noise funneling y es el mayor inconveniente de la habilitación del canal de retorno. Lógicamente el noise funneling aumenta con el número de abonados conectados a una rama coaxial, por ello este número debe ser limitado.

Cada abonado es una fuente de ruido, teniendo en cuenta la gran cantidad de electrodomésticos de los hogares y que el estado del cable en el interior del mismo queda fuera de control del operador. Por este motivo es habitual colocar filtros en las tomas de abonados que no utilicen el canal de retorno para evitar que el ruido producido en sus hogares se introduzca en la red.

En los sistemas completamente coaxiales todo el ruido acaba convergiendo en la cabecera, en cambio en los sistemas HFC éste converge en el nodo óptico, por ello es muy importante limitar el tamaño del nodo óptico. A continuación enumeramos las condiciones necesarias para poder prestar servicios bidireccionales con unos niveles de ruido y distorsión aceptables:

- Disponer de un nodo óptico por cada grupo de entre 500 y 2000 viviendas.
- Por cada rama de cable coaxial no tener más de 100 ó 200 abonados.
- No tener más de dos amplificadores en cascada por rama de coaxial.

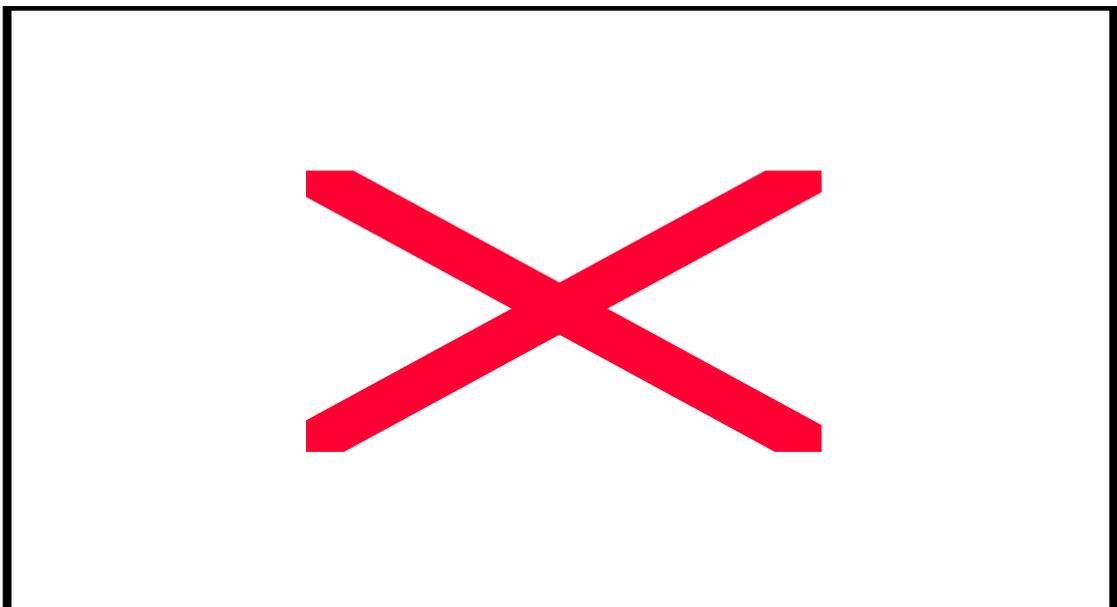
2.2.2 Propagación por el canal ascendente

En el sentido descendente la misma señal se propaga por toda la red. En cambio por el canal ascendente pueden darse dos formas de propagación:

Los canales de retorno provenientes de cada rama coaxial se superponen al llegar al nodo óptico, resultando en un solo canal que llega hasta la cabecera. En este caso, se estará compartiendo los 40Mhz del retorno (5-45Mhz) entre todos los abonados conectados en ese instante, luego todo el ruido irá por una única vía.

Los canales de retorno de cada rama son multiplexados en frecuencia en el nodo óptico, llegando cada uno de ellos por separado a la cabecera. Ahora los 40 Mhz del retorno son compartidos únicamente entre los abonados de cada rama de coaxial. Esta opción es más recomendable, por motivos de ruido y capacidad. En la figura 4. vemos un esquema de esta forma de propagación.

Figura 4. Esquema de propagación con canales de retorno multiplexados



Debido a la direccionalidad de la red no es posible que dos abonados se comuniquen directamente, la señal deberá pasar del canal ascendente al descendente. La cabecera es el único punto de la red que recibe transmisiones ascendentes de todos los abonados y que puede enviar a todos éstos señales por el canal descendente.

Para aprovechar al máximo la capacidad del canal ascendente debemos repartir ésta dinámicamente entre los usuarios que lo soliciten en cada instante. De este modo tendremos un sistema flexible y altamente escalable ya que a medida que aumente la demanda de servicios bidireccionales podremos ir acercando la fibra óptica hasta el hogar aumentando la capacidad total. Esto es posible pues en cada rama troncal siempre se llevan fibras sobrantes.

2.2.3 Modificaciones en la cabecera

Lógicamente, si queremos proveer servicio de acceso a Internet lo primero que deberemos hacer será instalar un proveedor de servicios en la cabecera o conectarla a través de una línea alquilada a Internet.

En caso de querer ubicar un proveedor propio en la cabecera deberemos conectar entre sí las distintas partes que lo componen.

Si por el contrario no instalamos nuestro propio proveedor, la cabecera simplemente actuará como pasarela entre los usuarios e Internet. Para ello deberemos montar un IPOP (*Internet Point Of Presence*) en la cabecera. El IPOP estará formado por:

- Un router.
- Una línea alquilada que conecte el router con el resto de Internet.

Sólo si el operador lo desea, un servidor con información local para ofrecer información local y así mejorar el servicio.

Además de elegir entre estas dos opciones, el operador deberá escoger si desea prestar el servicio de acceso a Internet por medio de un sistema simétrico o asimétrico.

2.2.4 Sistemas simétricos

En los sistemas simétricos tendremos un canal ascendente por cada descendente. El ancho de banda de ambos canales de datos será idéntico. En este caso deberemos instalar en la cabecera, además del equipamiento correspondiente a una de las opciones anteriores, los siguientes dispositivos:

Convertidor de frecuencias: Pasa el canal ascendente a uno descendente. Es necesario uno por cada par de canales habilitados para transmitir datos.

Módem de referencia: Este módem está conectado a Internet por medio del router perteneciente al proveedor de servicios o al IPOP. Además está unido a la red de cable a través del convertidor de frecuencias, siendo su entrada la salida del convertidor y su salida la entrada de éste. Esto implica que todo el tráfico del canal ascendente pasa a través del convertidor de manera transparente al canal descendente, con lo que se está ocupando ancho de banda innecesariamente en caso de que el destinatario se encuentre en otra red o subred.

Normalmente el módem de referencia desarrolla las siguientes funciones:

- Inserta el tráfico que proviene de Internet en la entrada del convertidor de frecuencias.
- Difunde los parámetros de operación, que recibe periódicamente del sistema de gestión de red, a los módem que están en funcionamiento en el sistema. De esta forma los módem están continuamente adaptados a las características cambiantes del canal.
- Transmite cada cierto tiempo un conjunto de parámetros para que los módem recién conectados puedan configurarse.

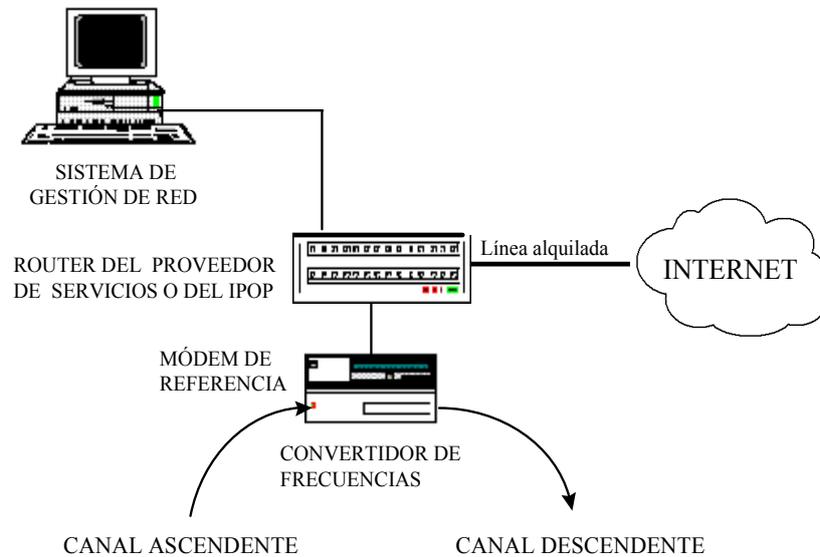
De lo explicado se deduce que, como ocurre con el convertidor de frecuencias, es necesario un módem de referencia por cada par de canales habilitados para transmitir datos.

Existen equipos que integran los dos dispositivos anteriormente mencionados en uno solo.

Software de control del sistema: Un ordenador situado en la cabecera se encargará de todas las funciones de gestión de red. Podremos utilizar el estándar de gestión de red de Internet SNMP (*Simple Network Management Protocol*) sobre una plataforma Unix o un software desarrollado por alguna compañía fabricante de módem de cable. Generalmente éstos paquetes desarrollan las siguientes funciones:

- Autorización de los equipos que pueden funcionar en cada red.
- Soporte para OSS/BSS (*Operational Support System/Business Support System*). Este es la interfaz hacia el sistema de gestión y hacia el sistema de tarificación respectivamente.
- Asignación de las direcciones IP.
- Configuración de los parámetros del software cliente/servidor de cada terminal.
- Reloj que proporcione la hora sincronizada a todos los componentes del sistema.
- Asignación de las frecuencias de transmisión y recepción a cada uno de los módem de la red.
- Gestión y control centralizado de la red.

Figura 5. Equipos necesarios en la cabecera en un sistema simétrico



2.2.5 Sistemas asimétricos.

En los sistemas asimétricos cada subred está formada por varios canales ascendentes y un canal descendente, de lo que se deduce que el ancho de banda de éste será mayor al de los canales ascendentes. En este caso deberemos añadir a los componentes de proveedor o IPOP, un ordenador con el software de control de la red y un equipo de cabecera formado por:

Módulo de recepción: Deberemos tener en el equipo de cabecera tantos módulos de recepción como canales ascendentes. La salida de estos módulos tendrá un formato estándar como puede ser Ethernet e irá conectada a otra parte del equipo de cabecera que ejercerá la función de enrutado de los paquetes de datos. Puesto que el número de canales ascendentes aumentará con el nivel de penetración del servicio de acceso a Internet, el número de módulos de recepción del equipo de cabecera deberá ser fácilmente ampliable.

Módulo de enrutado: En esta parte del equipo de cabecera se analizará cada paquete de datos para decidir si debe ser enviado a una subred del sistema de cable o hacia Internet. De este modo se evitará la ocupación indebida del ancho de banda de la red.

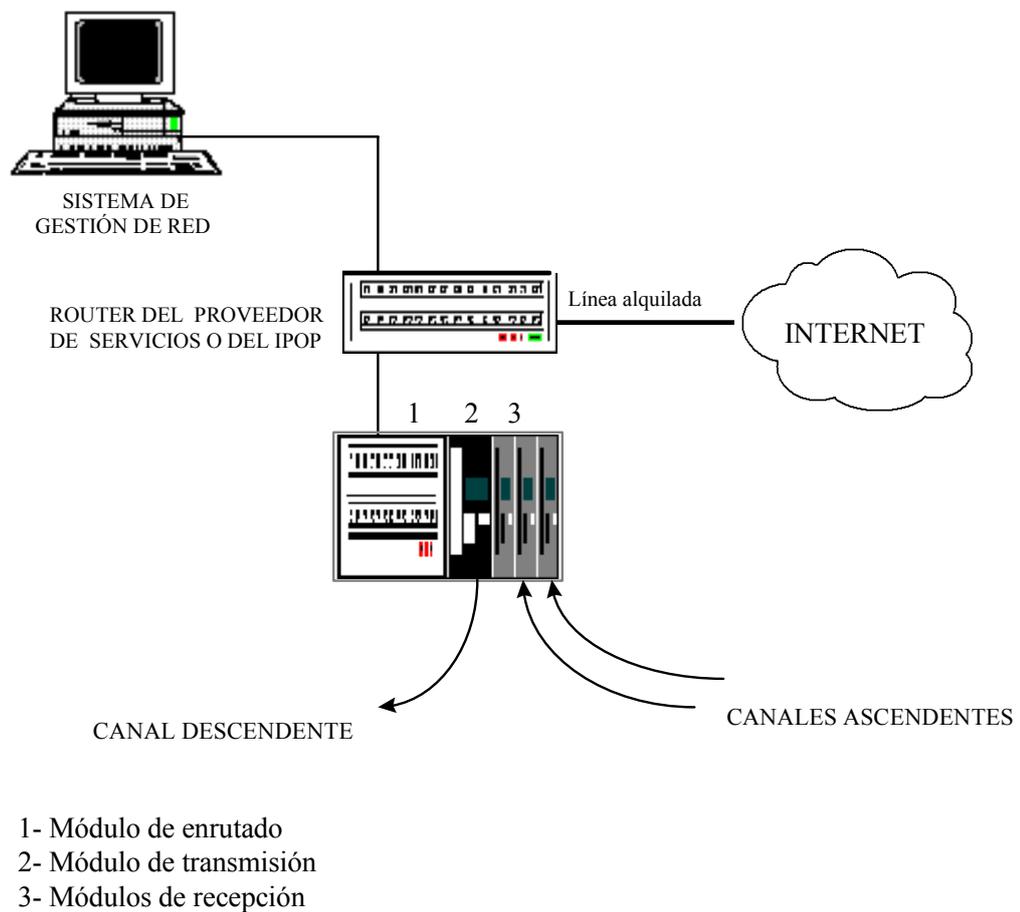
Módulo de transmisión: Será necesario un módulo de transmisión por cada canal descendente habilitado para transmitir datos. La entrada de éstos tendrá el mismo formato que la salida de los módulos de recepción y será una de las salidas del módulo de enrutado. Generalmente las funciones desarrolladas por este dispositivo serán:

Difundir los parámetros de operación, que recibe periódicamente del sistema de gestión de red, a los módem que están en funcionamiento en el sistema. De esta forma los módem están continuamente adaptados a las características cambiantes del canal.

Transmitir cada cierto tiempo un conjunto de parámetros para que los módem recién conectados puedan configurarse.

El *Software* de control del sistema. Este será similar al necesario para sistemas simétricos.

Figura 6. Equipos necesarios en cabecera en un sistema asimétrico



2.3 Modulación digital y analógica

El ancho de la portadora limita la cantidad de información que podemos transmitir. Por otra parte, esta cantidad de información también está limitada por el esquema de modulación que se utilice. Cuanto más eficiente sea un sistema de modulación más vulnerable será al ruido. Esta es la razón por la que deberemos buscar una modulación que presente un compromiso entre robustez para las condiciones de calidad de un canal y eficiencia.

Vamos a ver las características de modulación que siguen los sistemas simétricos y asimétricos:

Sistemas simétricos: suelen utilizar modulación QPSK o BPSK, siendo esta segunda más robusta frente al ruido. Con estas modulaciones podemos obtener en un canal de 6 Mhz velocidades de 10 y 4 Mbps respectivamente.

Sistemas asimétricos: aquí se utilizan distintos esquemas de modulación para los dos caminos. En el canal descendente suele utilizarse 64QAM obteniendo velocidades de 30 Mbps en canales de 6 Mhz. En el canal ascendente las posibilidades óptimas son BPSK, QPSK ó 16QAM.

Actualmente, algunos fabricantes tienden a asignar anchos de banda de manera dinámica, es decir, si encontramos en el canal de retorno una zona libre de 2 Mhz con bajo ruido, colocaremos allí una portadora. Si no lo encontramos buscaremos otro de 1.5 Mhz y así sucesivamente hasta llegar a portadoras de una anchura aproximada a 500 Khz. También se puede asignar dinámicamente el tipo de modulación a utilizar, escogiéndose la modulación más eficiente cuanto mejor sea el estado del canal.

Así dispondremos siempre de las mejores condiciones en el canal de retorno y de mayor velocidad para soportar la situación de ruido en ese momento.

A continuación veremos los tipos de modulación más importantes utilizados en los sistemas de cable. La modulación digital consiste en variar las características de una señal sinusoidal según sea una señal digital en banda base que se quiera transmitir. Podremos variar la amplitud de esta señal, la frecuencia o la fase.

2.3.1 Modulación PSK

Las siglas PSK se corresponden con *Phase Shift Keying* que en castellano significa Modulación Digital por desplazamiento de Fase. En este tipo de modulación la fase de la señal sinusoidal varía según lo que se transmita sea un dato digital '1' o '0'.

En el receptor se genera una señal en fase con la transmitida desde el emisor y se van comparando las dos señales con lo que podremos saber cuál es el dato recibido:

Si ambas señales están desfasadas el dato recibido será '0'

Si las señales están en fase el dato recibido será '1'

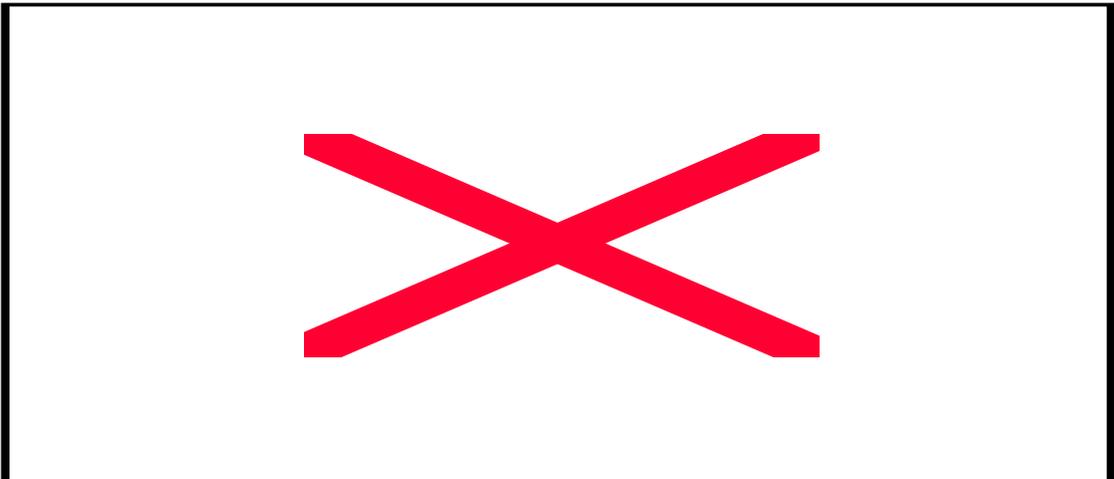
Dentro de la modulación por desplazamiento de fase puede haber muchos tipos, siendo los más utilizados en los sistemas de cable la modulación BPSK y la QPSK.

2.3.2 Modulación BPSK

La modulación BPSK se corresponde con una modulación PSK binaria lo cual indica que la señal modulada tendrá únicamente dos fases posibles: fase 0 ó fase π . Según sea esta fase tendremos un dato '0' ó '1'.

Un ejemplo de este tipo de señal podemos verlo en la figura 7:

Figura 7. Modulación DPSK con el dato digital 1011

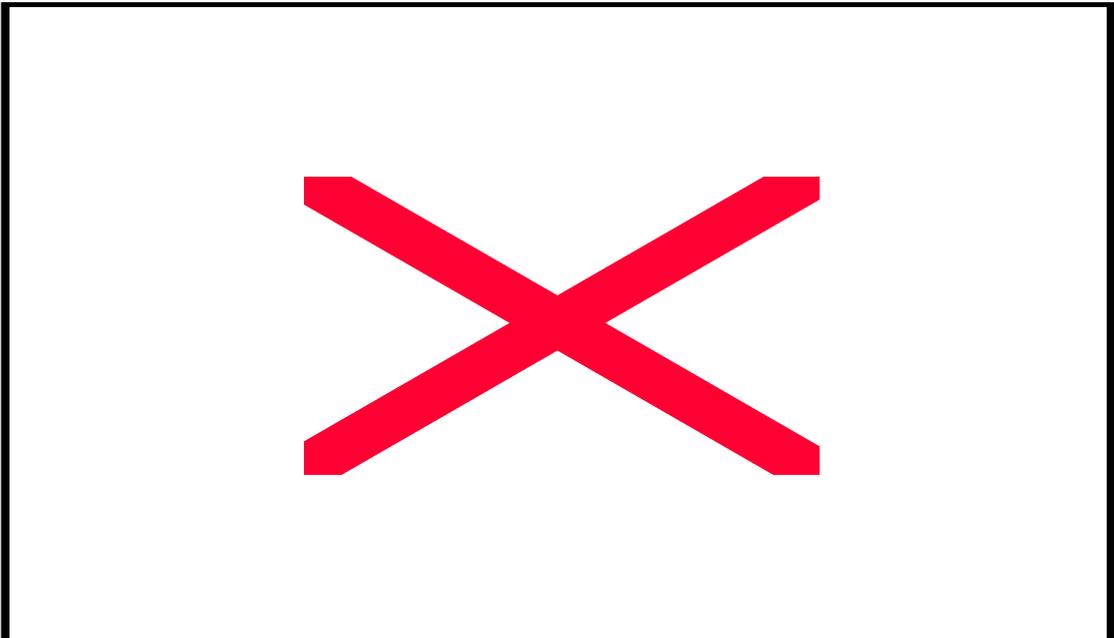


2.3.3 Modulación QPSK

Este tipo de modulación es una modulación PSK cuaternaria. Esto implica que la señal modulada podrá tener cuatro fases diferentes en función de lo cual sabremos si el dato recibido es '00', '01', '10' ó '11'.

En la figura siguiente se muestra la elección de las fases en este tipo de modulación.

Figura 8. Modulación QPSK

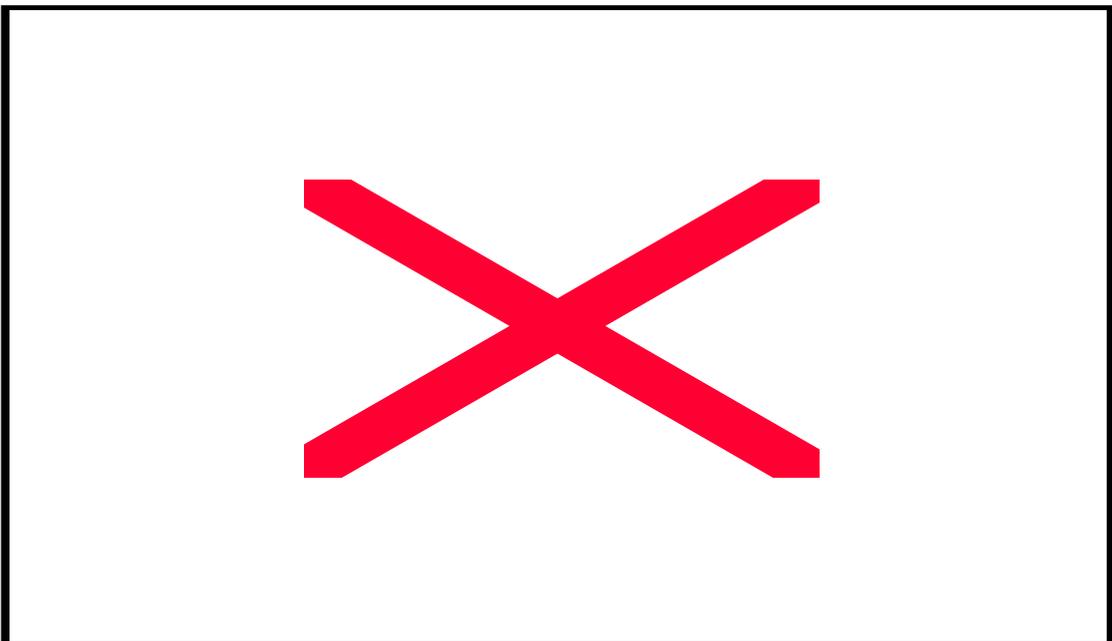


2.3.4 Modulación QAM

Las siglas QAM se corresponden con Quadrature-Amplitude-Modulation que traducido al castellano significa Modulación de Amplitud en Cuadratura. En este tipo de señales la portadora tiene distintas amplitudes según las cuales se transmitirán unos datos digitales u otros.

Tendremos distintas modulaciones QAM dependiendo del número de amplitudes distintas utilizadas en la modulación. En los sistemas de cable las más utilizadas son la 16-QAM y la 64-QAM. En la siguiente figura No.9 vemos la representación en un cuadrante de estos dos esquemas digitales de modulación.

Figura 9. Modulación QAM



2.4 Equipo de monitorización.

Se puede utilizar como sistema de monitoreo automatizado de la vía de retorno, lo cual constituye una medida preventiva en el mantenimiento de la integridad de la red. Después de establecerse los parámetros de alerta para cada uno de los nodos, el software de control analizará, a una frecuencia predeterminada, todos los nodos en la planta de cable. Una vez que se activa la alarma, esta puede desencadenar una escala de acciones en base a la magnitud del ingreso. Estas alarmas pueden variar de una alarma visual que aparezca en la pantalla hasta el aviso a un técnico.

Si el técnico recibe el aviso, este se pone en contacto con el software de control a través de un módem o LAN (TCP/IP) y realiza la investigación necesaria en el sistema respecto a la causa de la alarma. Los datos de la situación después de la alarma se pueden recuperar para determinar con mayor precisión el tipo y gravedad del ingreso. Una vez que el sistema se enlaza con los módulos en el terreno con el fin de determinar exactamente el origen del ingreso en la planta de cable.

La puesta en ejecución de este tipo de sistema tal y como se describe, supone costos, pero es considerable el ahorro que se obtiene en materia de operaciones al reducir el tiempo de localización de fallas de horas a minutos y sin ninguna interrupción de los servicios de pago. Los técnicos pueden realizar pruebas detalladas de la vía de retorno desde un solo lugar. Asimismo, el sistema es ajustable, se pueden agregar elementos conforme los necesite y de esa manera la localización de ingreso se efectuaría más cerca de la planta de distribución.

Igualmente importante es el hecho de que los actuales clientes no se ven afectados negativamente por este proceso. En un esfuerzo por depurar la vía de retorno, el desmontaje de equipo para encontrar el ingreso puede ocasionar graves interrupciones a los clientes que son “los pilares” del servicio de TV por cable.

Los métodos tradicionales de localización del origen del ingreso si funcionan, pero son de gran intensidad de mano de obra, la tecnología es frustante y toman demasiado tiempo. El capital necesario para instalar dispositivos de conmutación inteligentes dentro de la red de distribución se compensa rápidamente por la capacidad de analizar la red deprisa y aislar los problemas de la vía de retorno antes de que afecten a los clientes.

Una planta de retorno, depurada y fiable es la clave de la empresa de cable para obtener ganancias adicionales a partir de las nuevas aplicaciones de hoy en día. Los administradores de redes de cable tienen acceso, a un costo razonable, a la tecnología escalable y a los productos de vía de retorno que monitorean y detectan rápidamente ingreso mas allá del nodo.

Con el exclusivo modulo de vía de retorno, su selector de punto de prueba (TPS) y la interfaz gráfica del usuario, conocida como CIM (Gestión de Ingreso en Cable), representa una inversión de capital a bajo costo con impresionante rendimiento. El software CIM, que se utiliza con casi cualquier analizador de espectro, les permite a los administradores analizar cualquier sección de la planta desde un solo lugar y separar las interferencias en la vía de retorno rápidamente, asegurando así el éxito en la activación de nuevos servicios.

Desde el momento en que los administradores de red empiezan a utilizar la vía de retorno, los factores tiempo costo y flexibilidad cobran suma importancia, existe una imperante y obvia necesidad de contar con las herramientas apropiadas para cumplir con las comunicaciones de datos.

2.5 Control de servicios prestados y tarificación a los abonados

Hasta ahora, los operadores de CATV estaban acostumbrados a ofrecer un cierto número de canales de TV y cobrar por ello una cantidad fija al mes. Incluso los incipientes servicios y aplicaciones de datos a alta velocidad por cable pueden cobrarse de esta manera.

El servicio telefónico, por contra, ha de cobrarse en función de la utilización que cada abonado hace de él, aparte de unas cuotas fijas. Parece que las redes de telecomunicaciones multiservicio HFC tienden actualmente hacia una plataforma de tarificación integrada que determine de manera conjunta el importe de una única factura que se presentará a cada abonado en función de los servicios que tenga contratados y del uso que haga de ellos.

En este aspecto tan importante como es el de la tarificación de los servicios, los operadores de cable tienen varias opciones. La más inmediata es la de intentar adaptar sus sistemas de tarificación tradicionales de CATV a nuevos servicios como la telefonía. También existen nuevas soluciones software para la integración de estas funciones desarrolladas por compañías especializadas, o incluso puede subcontratarse todo el proceso de tarificación a una tercera empresa que se encargue de todo. Sea como fuere, la tarificación de los servicios es un tema clave en la ingeniería de la red HFC que no se debe descuidar puesto que de él depende en gran medida el éxito económico de un operador.

2.5.1 Multidistribuidores direccionables

La tecnología de los multidistribuidores direccionables puede ser la fuente de reducción de costos de operación y grandes progresos en la rentabilidad de las compañías de cable. Que estos se encuentren desplegados en todo un sistema o en áreas seleccionadas, los multidistribuidores direccionables proporcionan muchos beneficios tales como: la eliminación de conexiones no autorizadas, el control del estatus del suscriptor, la reducción de costos por desplazamiento en el servicio técnico, el acceso fácil a áreas difíciles, el control de canales analógicos en un sistema análogo/digital, la reducción de interferencia, y el apoyo a las tácticas de mercadeo. Además, son una gran herramienta para reducir las cuentas morosas y aumentar las ganancias.

Con el método convencional de control de suscriptores, los operadores de cable controlan los servicios conectando o desconectando físicamente los cables de derivación. No obstante, desplazar a un técnico altamente calificado para prestar servicio físico al suscriptor es costoso e ineficiente.

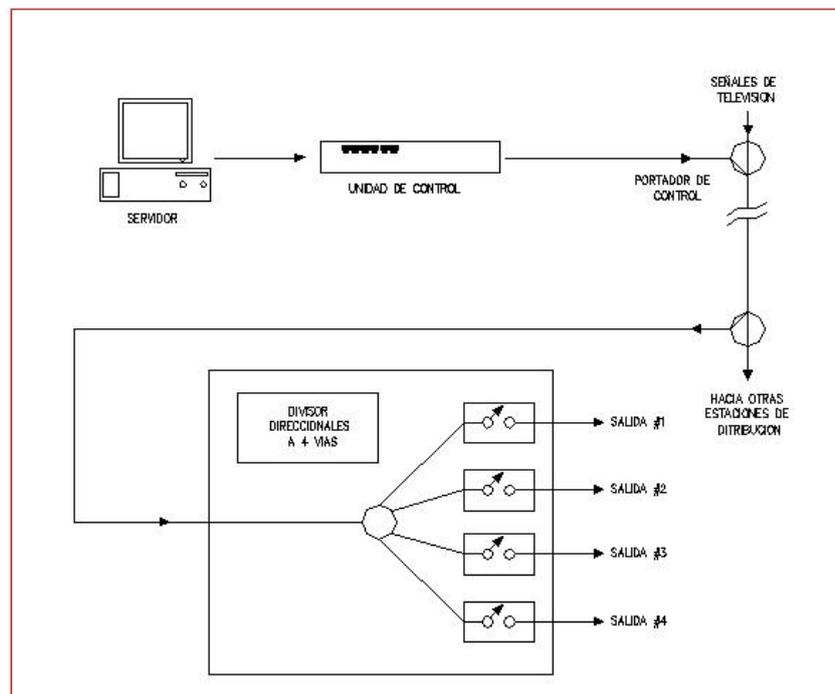
En algunos sistemas de cable, un gran número de conexiones no autorizadas son el producto de errores de desconexión. Hasta un 10% de los hogares reciben un servicio de cable no autorizado. Este problema se ha corregido en parte, desplegando un número cada vez mayor de personas encargadas de la seguridad que utilizan barreras contra la manipulación indebida, tales como equipo o cajas con llave. Estos errores también son causa de pérdida de ingresos que pueden pasar desapercibidos por varios años hasta que se lleva a cabo una auditoría del sistema.

Los multidistribuidores direccionables han sido diseñados para automatizar el largo y costoso proceso de administrar el estatus de los suscriptores.

Cuando se hace un cambio de servicio al cliente desde la oficina, el puerto direccionable en el campo de los abonados es controlado y ajustado al servicio apropiado en cuestión de segundos.

El sistema de facturación también puede desactivar el servicio de manera inmediata cuando una cuenta se encuentra en mora o puede activar el servicio en una fecha determinada, cuando el suscriptor se traslada de un lugar a otro.

Figura 10. Multidistribuidores direccionables



El sistema direccionable fuera del edificio consiste en una unidad de control situada en la cabecera del sistema y de distribuidores y separadores direccionables instalados en el campo. La unidad de control almacena el estatus del puerto de cada suscriptor y esta actualizando continuamente el equipo.

Cuando es preciso cambiar el estatus de un suscriptor en el sistema de facturación, la información es actualizada en la unidad de control y los distribuidores y separadores direccionables son conmutados inmediatamente para reflejar el cambio. Esta información es almacenada en una memoria estable dentro de la unidad de control y es transmitida continuamente a las derivaciones del campo, manteniéndolas así actualizadas.

El sistema de facturación almacena direcciones civiles junto con los puertos direccionables correspondientes. Cuando una dirección en particular se convierte en un suscriptor su correspondiente puerto direccionable será conmutado en la posición "ON" (activado). Para los no suscriptores, el puerto se mantiene en la posición "OF" (desactivada). Cuando un suscriptor se cambia de residencia, el sistema de facturación automáticamente queda en posición "OF" en la dirección que queda vacante y es activado en la nueva dirección del suscriptor.

2.5.2 La tecnología direccionable en una opción

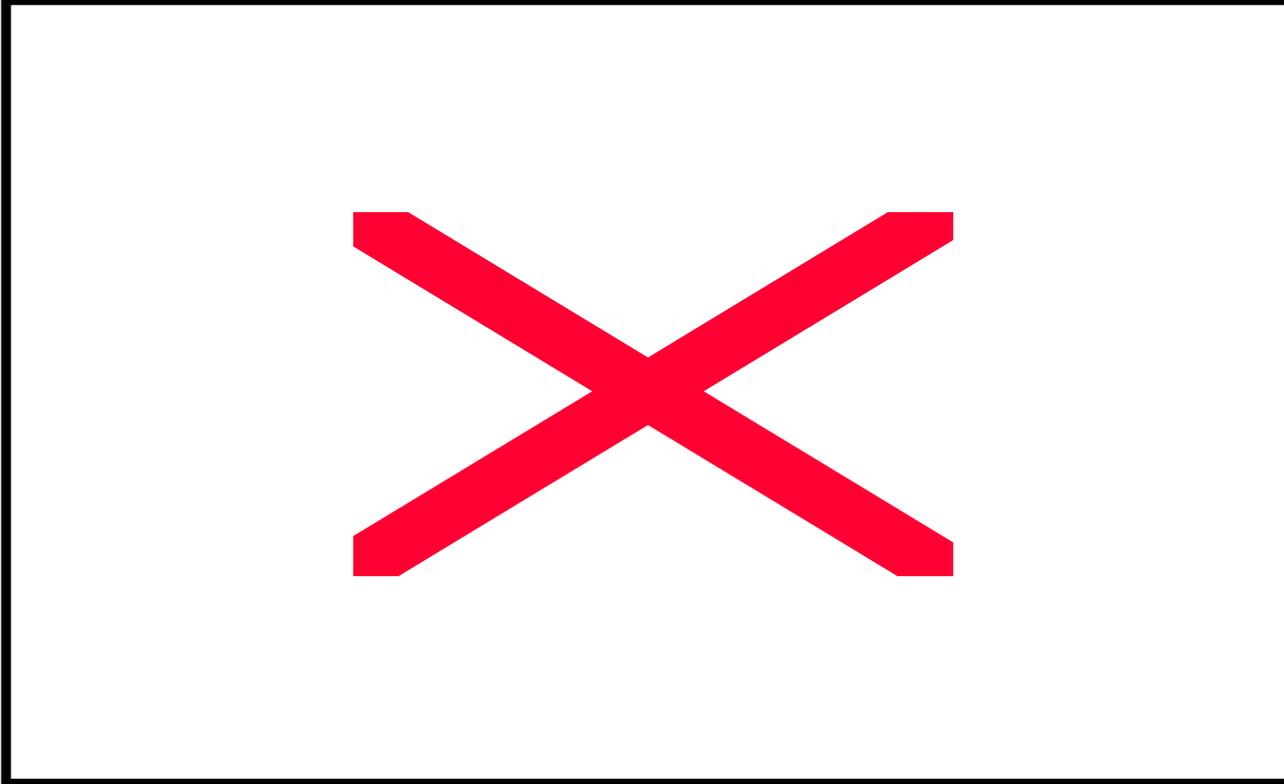
El distribuidor o separador direccionable de una opción –ON/OFF- se puede considerar similar aun distribuidor o separador tradicional, excepto que esto incluye un relé RF controlado por una computadora dirigido al suscriptor, los relés reciben la instrucción de usar o bloquear la banda 5MHz a 1GHz, dependiendo del estatus enviado por la unidad de control en la cabecera. Cuando el rele conmuta a la posición “ON”, la totalidad del espectro pasa al cable del suscriptor.

Cuando el relé conmuta a la posición "OFF" las señales RF son bloqueadas internamente con una carga de 75 Ohmios, suministrando en un mejor equilibrio de impedancias que cuando simplemente se desconecta un cable de derivación. Esto desactiva todas las señales en el puerto de salida y además bloquea también la interferencia que pueda introducirse en dicho puerto.

Los conductores de derivación están permanentemente conectados a los puertos, reduciendo a un mas la probabilidad de malas conexiones que pueden producir fugas o interferencias, todos los equipos direccionables al servicio apropiado usan relés de bloqueo con el fin de eliminar el consumo innecesario de energía.

La posibilidad de desconectar y bloquear una señal utilizando los relés internos del distribuidor o del separador, ofrece un elemento importante en la seguridad del sistema, ya que el simple hecho de conectar el cable a un puerto que no este en uso no dará acceso al servicio.

Figura 11. Multidistribuidores Direccionables una opción



2.5.3 Tecnología direccionable a dos opciones:

Los distribuidores direccionables a dos opciones, suministran control del servicio básico y extendido. En una derivación de dos opciones la señal de entrada se divide para dar dos servicios.

Un conector de la división pasa por un filtro para crear del servicio básico mientras el otro conector permanece sin filtro.

Un conjunto de estos dos relés en cada puerto selecciona el servicio básico o extendido. El filtro para una opción es compartida por todos los puertos de suscriptores, esto crea ahorros considerables cuando se usan paneles de distribución más grande.

Al poner en ejecución los equipos a dos opciones se pueden alcanzar beneficios importantes, se ahorra en el desplazamiento de los técnicos para las conexiones y desconexiones o adiciones o disminuciones de los servicios prestados.

Los distribuidores direccionables a dos etapas controlan los canales básicos extendidos sin necesidad de utilizar sistemas direccionables pre-montados permitiendo, así que las compañías de cable reduzcan sus cantidades de aprovisionamiento.

El sistema a dos opciones también puede utilizarse para controlar el acceso a la banda de retorno y reducir la interferencia.

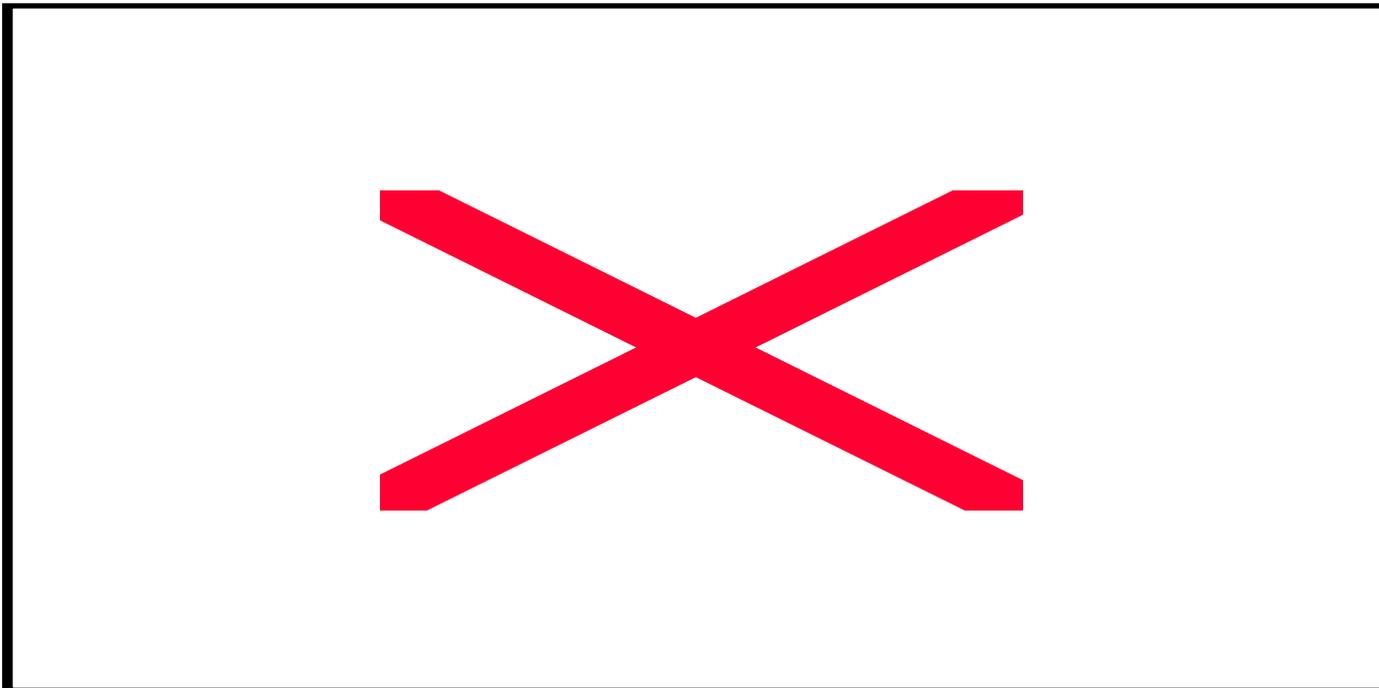
El uso de un filtro paso alto en un lugar de un filtro trampa para canal, permite que el servicio básico deje pasar solo las señales hacia delante, mientras que el servicio extendido deja pasar señales hacia delante y de retorno.

Si un cliente se suscribe a un servicio bilateral tal como el modem por cable, el sistema de facturación puede permitirle el acceso automático al circuito de retorno.

Los suscriptores que reciben los servicios estándar, son aislados del circuito de retorno con él fin de que no puedan ocasionar interferencias, desde sus residencias hacia la red de Distribución.

Los equipos direccionables que están fuera del edificio son transparentes a las señales que los recorren. Puesto que estos equipos únicamente conmutan la señales a la opción “ON” u “OF”, son compatibles con cualquier formato de señal digital o análoga.

Figura 12. Multidistribuidores Direccionables dos opciones



3. LA RED TRONCAL

Es la encargada de repartir la señal compuesta generada por la cabecera 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 en una estructura con anillos redundantes que unen nodos ópticos entre sí.

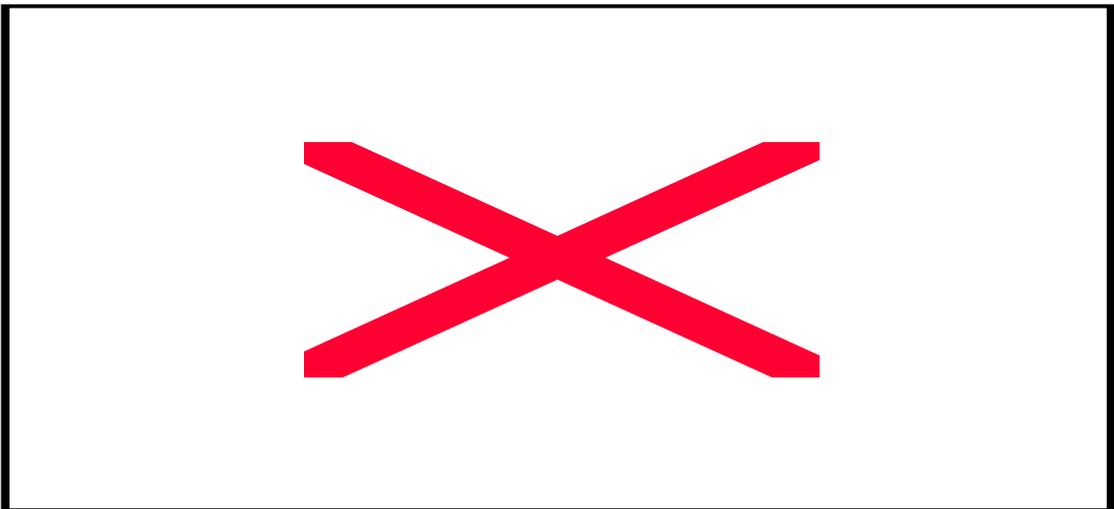
A través de estas redes la señal generada en la cabecera es enviada a los hogares de los abonados. En un principio las redes de CATV se construían enteramente en cable coaxial, tanto la red troncal como la de distribución, pero este método dejó de ser apropiado y se optó por la construcción de redes híbrido fibra-coaxial (HFC). Este cambio fue necesario porque el cable que salía de la cabecera debía dividirse sucesivamente para llegar a todos los abonados, y puesto que al dividirse se atenuaba la señal debían incluirse numerosos amplificadores. Si la red no era muy extensa esto no suponía gran problema, pero en redes con muchos abonados la calidad de la señal empeoraba demasiado.

Con la introducción de fibra óptica en las redes de cable se consiguen principalmente las siguientes ventajas:

- Un mayor rango de frecuencias puede ser transmitido por el cable.-
- Las señales pueden ser transmitidas a mayor distancia sin amplificación.

El principal inconveniente de la fibra es que los componentes necesarios para transmitir y recibir datos son muy caros, por ello ésta no puede ser llevada hasta los hogares de los abonados. Como solución intermedia se ha optado por la arquitectura Fiber To The Neighborhood (FTTN). En esta arquitectura se sustituye el cable coaxial por la fibra óptica en la red troncal, manteniéndose en la de distribución. En la figura 13 representamos un esquema de esta arquitectura.

Figura 13. Arquitectura FTTN



Desde la cabecera se tienden varios cables de fibra óptica hasta los puntos tomados como nodos ópticos, formando la red troncal. A partir de estos nodos comenzará la red de distribución de cable coaxial.

La señal eléctrica generada en la cabecera se convierte en óptica y se transmite por la fibra hasta el nodo óptico, donde es reconvertida a eléctrica y transmitida por la red de cable coaxial hacia los abonados.

Con la arquitectura FTTN conseguimos reducir la longitud de la red de cable coaxial introduciendo fibra óptica en la red troncal. Esto produce un aumento del rango de frecuencias que la planta de cable es capaz de transmitir y además reduce el número de amplificadores necesarios entre la cabecera y cada usuario.

Esto es un importante factor económico puesto que debido al aumento del ancho de banda de la red, los amplificadores deberán ser cambiados o reconfigurados. El número de amplificadores también es un importante factor de calidad puesto que cada uno de ellos es un elemento activo propenso a fallar. Por todo esto deducimos que el cambio a FTTN proporciona una mejora de la calidad de servicio, un mayor ancho de banda y un menor coste de mantenimiento y gestión para el operador.

La migración a FTTN crea una arquitectura “celular” puesto que a cada vecindario puede llegar un número distinto de canales del espectro. Se podrán añadir una serie de “servicios personalizados” de manera que diferentes contenidos serán llevados a distintos abonados simultáneamente.

Varios de estos servicios se basan en la digitalización de los contenidos. Algunos ejemplos son vídeo comprimido para ser visto bajo petición, catálogos de compra, etc. Otros servicios personalizados, como la telefonía y el acceso a Internet, necesitan además transmisión bidireccional en la red FTTN.

3.1 Anillos de fibra óptica

Una estructura en forma de anillos redundantes de fibra óptica que une a un conjunto de nodos primarios, habitualmente una tecnología PDH o SDH (jerarquía digital plesiocrona y sincrona, respectivamente), que permite construir redes basadas en ATM (modo de transferencia asincrónico).

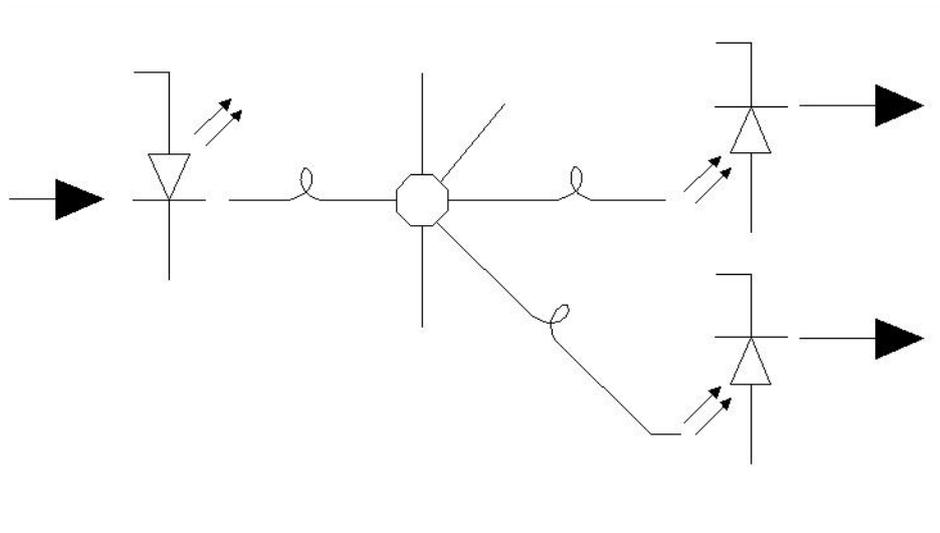
La tecnología de fibra óptica utiliza conductores muy finos de luz (fibras ópticas) para transportar señales banda ancha manteniendo alta calidad de las mismas. Esta tecnología es utilizada por las redes de CATV en vez de o en conjunción con el uso de cable coaxial, contando para ello con una gran ventaja, la atenuación de una fibra óptica es aproximadamente el dos por ciento de la de un cable coaxial.

El principio básico de funcionamiento se ilustra en la siguiente figura: Una señal RF banda ancha se aplica a un transmisor óptico que contiene una fuente de luz infrarroja de banda muy estrecha (diodo láser).

La señal RF modula en intensidad la señal de luz y el espectro óptico resultante se envía a una fibra óptica que transporta la señal a 20 o más kilómetros de distancia.

A lo largo de la ruta, la señal óptica puede ser repartida mediante distribuidores ópticos; en los puntos de destino, un receptor óptico conteniendo un fotodiodo convierte el espectro infrarrojo de la señal óptica en el espectro RF original, que queda disponible para su transporte último por el cable coaxial.

Figura 14. Esquema de anillos de fibra optica



Ventajas de las fibras ópticas: Ya se ha mencionado la baja atenuación de una fibra óptica del orden de 0.4 dB/km. Frente a los 30dB de los tradicionales cables de línea troncal. Pero no solamente esto constituye una gran ventaja; la utilización de fibras ópticas en redes CATV conlleva otros importantes beneficios:

Ventajas de las fibras ópticas: Ya se ha mencionado la baja atenuación de una fibra óptica del orden de 0.4 dB/km. Frente a los 30dB de los tradicionales cables de línea troncal. Pero no solamente esto constituye una gran ventaja; la utilización de fibras ópticas en redes CATV conlleva otros importantes beneficios:

- Grandes alcances sin necesidad de amplificadores intermedios
- Inmunidad eléctrica (insensibilidad a campos electromagnéticos perturbadores, ausencia de radiación interferente, inexistencia de problemas de conexión a tierra).

- Gran anchura de banda.
- Excelente calidad de la señal por el inapreciable aporte de ruido y de distorsión de intermodulación.
- Alta fiabilidad.
- Facilidad de instalación derivada del pequeño diámetro y peso de las fibras.
- Bajo costos de mantenimiento.
- Fácil integración en redes coaxiales existentes.
- Posibilidad de servicios adicionales usando mas fibras o diferentes longitudes de onda.

3.1.1 Sistemas de catv de fibra óptica

Una red de banda ancha que utilice fibra óptica requiere un equipamiento de cabecera convencional. Sin embargo, a diferencia de las redes de tecnología exclusiva coaxial, en las que la señal RF de salida de la estación de cabecera se envía directamente a la red de cable, en una aplicación de fibra óptica existe un emisor láser que utiliza la información de la señal RF para producir la señal óptica que transmite por fibra desde la cabecera.

Tres modos de transmisión pueden ser utilizados para el transporte de una señal banda ancha en un sistema de fibra óptica: AM, FM y Digital. En el modo AM (“amplitude modulation”) se transportan portadoras de vídeo AM BLV, es decir, en el formato que acepta un receptor TV estándar; ello significa que no es necesario ningún tipo de procesamiento de los canales en los extremos del trayecto óptico. En el modo FM (“frequency modulation”) se transporta portadoras de vídeo moduladas en frecuencia por lo que cada canal requiere un procesamiento especial para la conversión desde el formato normal; este modo de transmisión requiere una anchura de banda mayor que en el modo AM. En el modo de transmisión digital se transportan con modulación QAM (“quadrature amplitude modulation”) paquetes MPEG con codificación FEC añadida; elevada eficiencia espectral, fuerte resistencia a interferencias y gran flexibilidad son sus principales características.

Las redes CATV de fibra óptica evolucionan hacia redes banda ancha de servicio completo que, aparte de la CATV básica incluyendo servicios de TV de pago y de pago por visión, deberán soportar servicios añadidos de telefonía y de datos, estos nuevos servicios, eminentemente interactivos, requieren vías de retorno de gran capacidad y se implementan utilizando el modo de transmisión digital.

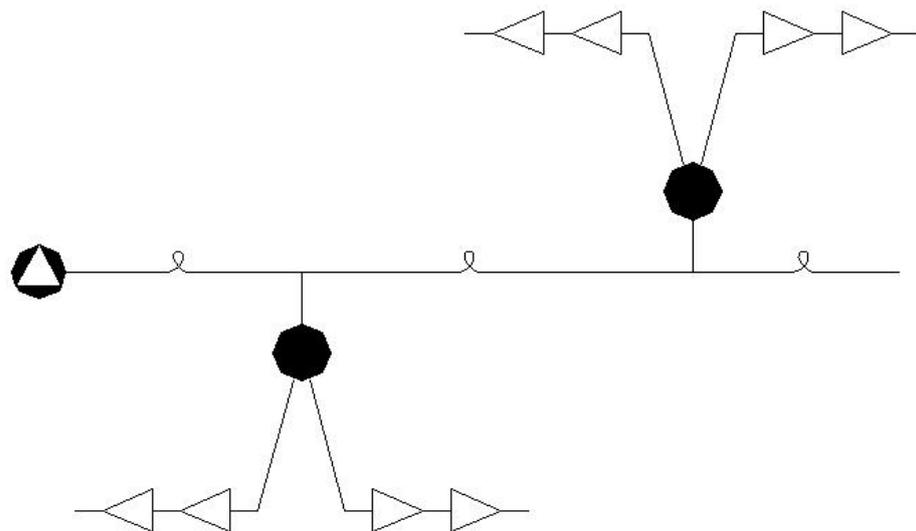
3.1.2 Redes de CATV de fibra óptica

Durante bastante tiempo se ha estado utilizando la tecnología de fibra óptica exclusivamente para líneas troncales y supertroncales en aplicaciones punto a punto. Hoy en día, sin embargo las aplicaciones son múltiples, algunas de las más típicas son las siguientes.

3.1.3 Reducción de cascada

Es una aplicación mas extendidas instalando nodos ópticos en lugares estratégicos, una cascada de gran longitud puede reducirse a una serie de pequeñas cascadas. El efecto es acercar la estación de cabecera a abonados físicamente alejados de la misma, con lo que se mejora notablemente la calidad de imagen y la fiabilidad, al tiempo que aumenta espectacularmente la capacidad para soportar servicios interactivos.

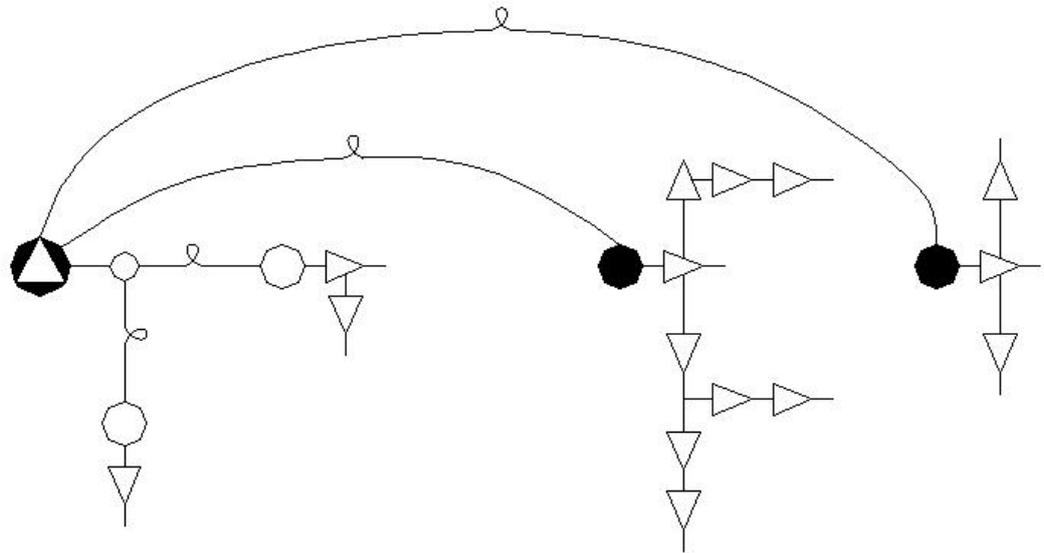
Figura 15. Esquema de Reducción de Cascada



3.1.4 Fibra hasta la distribución

Esta aplicación lleva la fibra óptica lo mas cerca posible del domicilio del abonado. Receptores ópticos reciben señal de la cabecera y sus salidas RF se conectan directamente a las cascadas de distribución. El objetivo es proporcionar mejor calidad de imagen y fiabilidad al tiempo que reducir costos de mantenimiento de la red, como se indica en la figura 16.

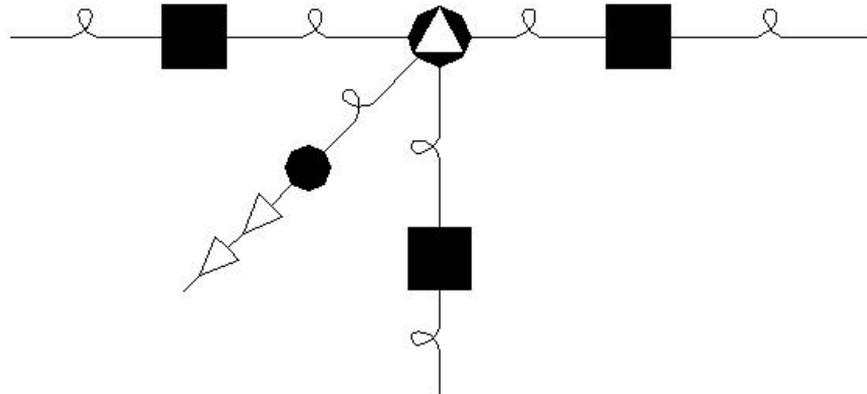
Figura 16. Fibra hasta la distribución



3.1.5 Redes de gran dimensión

Zonas geográficas de gran extensión pueden cubrirse utilizando una estación de cabecera central conectada en estrella a varias estaciones subordinadas, cada una sirviendo a una porción del área total. Las conexiones entre la cabecera y las subordinadas constituyen verdaderas líneas supertroncales. También pueden haber nodos ópticos servidos directamente por la estación de cabecera.

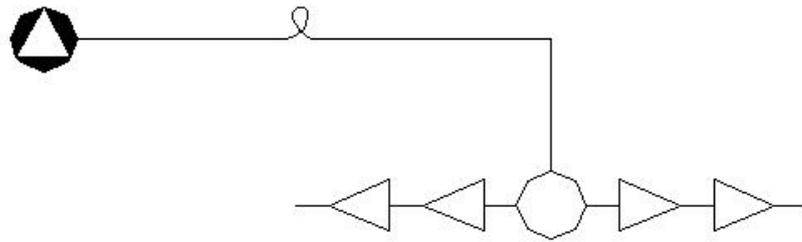
Figura 17. Redes de gran dimensión



3.1.6 Extensión de una red

La aplicación de servicio a abonados que quedan fuera del alcance a una red coaxial existente puede ser llevada a cabo insertando una línea de fibra que llegue hasta la mitad de la cascada, lo que permite extender la misma hacia la nueva zona de servicio. En el caso de la nueva área este muy separado del principal, se podrá instalar una o más fibras.

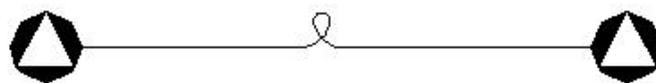
Figura 18. Extensión de una red



3.1.7 Interconexión de cabeceras

Esta aplicación se utiliza para pasar canales originados en una cabecera lejana, a otra principal que sirva directamente a la red CATV. Como ejemplo, todos los canales de recepción terrestre pueden ser recibidos en la estación principal mientras que los de recepción pueden ser recibidos en la otra.

Figura 19. Interconexión de cabeceras



3.2 Redes *ethernet*

Ethernet es una tecnología para redes de área local (LAN) que transmite información entre ordenadores a velocidades de 10/100/1000 Mbps. Actualmente la versión más utilizada de la tecnología Ethernet es la de 100 Mbps a través de par trenzado.

Los distintos medios de transmisión sobre los cuales puede utilizarse *Ethernet* a 10 Mbps son el coaxial grueso, el coaxial fino, el par trenzado y la fibra óptica. El estándar *Ethernet* más reciente define el nuevo sistema *Fast Ethernet* a 100 Mbps sobre medios de transmisión de par trenzado y fibra óptica.

3.2.1 Elementos del sistema *Ethernet*

El sistema *Ethernet* está compuesto por tres elementos básicos: Medio físico usado para transmitir señales *Ethernet* entre ordenadores. Conjunto de reglas de control de acceso al medio incluidas en cada interfaz *Ethernet* que permite que varios ordenadores puedan acceder de forma imparcial al canal *Ethernet* compartido. Trama *Ethernet* que consiste en un conjunto de bits estandarizados usados para transportar datos sobre el sistema *Ethernet*.

3.2.2 Funcionamiento de *Ethernet*

Cada ordenador conectado a una red *Ethernet* opera independientemente del resto de ordenadores de la red: no hay ningún equipo que controle el funcionamiento de la red. Todos los ordenadores conectados a una *Ethernet* se comunican mediante un sistema de señales compartido. Las señales *Ethernet* se transmiten en serie (de bit en bit) sobre el canal compartido hacia el resto de ordenadores conectados a la red. Para enviar datos un ordenador primero escucha el canal, y cuando el canal está desocupado el ordenador transmite sus datos en una trama *Ethernet*.

Después de cada trama de transmisión, todos los ordenadores de la red deben competir de igual forma para transmitir la siguiente trama. Esto asegura que el acceso al canal de la red sea imparcial, y que ningún ordenador pueda bloquear al resto de los ordenadores. El acceso al canal compartido se determina por el mecanismo de control de acceso al medio (MAC) el cual está incluido en la interfaz localizado en cada ordenador. El mecanismo de control de acceso al medio está basado en un sistema llamado CSMA/CD.

3.2.3 Tramas y direcciones *Ethernet*

El elemento principal del sistema *Ethernet* es la trama *Ethernet*, la cual es usada para enviar datos entre ordenadores. Esta trama está formada por un conjunto de *bits* organizados en varios campos. Entre estos campos están incluidos campos de direcciones, un campo de datos de tamaño variable que contiene entre 46 y 1500 bytes de datos, y un campo de chequeo de error que comprueba la integridad de los *bits* de la trama para asegurarse de que ésta ha llegado intacta.

Los dos primeros campos de la trama contienen direcciones de 48 bits, llamadas dirección origen y destino. Es el IEEE el encargado de la asignación de estas direcciones administrando una porción del campo de direcciones. El IEEE hace esto suministrando un identificador de 24 *bits* a cada organización que desee utilizar interfaces *Ethernet*. Esta organización crea direcciones de 48 bits usando el identificador asignado como los primeros 24 bits de la dirección. Esta dirección de 48 *bits* también es conocida como la dirección física.

Como cada trama *Ethernet* se envía al canal compartido, todos las interfaces *Ethernet* examinan el primer campo de 48 *bits* de la trama, el cual contiene la dirección destino. Esta interfaz compara la dirección destino de la trama con su propia dirección. La interfaz *Ethernet* con la misma dirección que la dirección destino de la trama leerá la trama entera y lo envía al *software* de red que se esté ejecutando en el ordenador. El resto de interfaces de red dejarán de leer la trama cuando descubran que la dirección destino no coincide con su propia dirección.

3.3 Fast *Ethernet*

Durante los años 80, la tecnología dominante en las LAN eran las redes de tipo Ethernet, cumpliendo estas las exigencias de ancho de banda en la mayoría de los casos, actualmente la informática, se encuentra en un momento en el que cada pocos meses se producen grandes avances, los sistemas operativos, siempre basados en complejas interfaces gráficas, exigen mas recursos *hardware*, así mismo las aplicaciones son cada vez más complejas y capaces de manejar archivos de gran tamaño, es en este punto cuando se encuentra que las redes *Ethernet* de 10 Mbps son un cuello de botella, surge ante tal necesidad una nueva especificación de *Ethernet*, que permite un mayor ancho de banda (100 Mbps).

Se crea entonces *Fast Ethernet* como respuesta a la demanda de mayores anchos de banda, capacitando así las conexiones de las nuevas aplicaciones, como bases de datos, o aplicaciones cliente-servidor, además con la gran ventaja que supone el pequeño gasto de actualización a *Fast Ethernet*, si lo comparamos con soluciones como FDDI o ATM, manteniendo También una total compatibilidad e interoperabilidad con *Ethernet*.

Las características de 100BaseT son:

- Una ratio de transferencia de 100 Mbps.
- Una subcapa (MAC) idéntica a la de 10BaseT.
- Formato de tramas idéntico al de 10BaseT.
- El mismo soporte de cableados que 10BaseT (cumpliendo con EIA/TIA-568).
- Mayor consistencia ante los errores que los de 10 Mbps.

La norma 100BaseT (IEEE 802.3u) se comprende de cinco especificaciones. Éstas definen la subcapa (MAC), la interfaz de comunicación independiente (MII), y las tres capas físicas (100BaseTX, 100BaseT4 y 100BaseFX).

3.3.1 La subcapa (MAC)

La subcapa MAC de 100BaseT está basada en el protocolo CSMA/CD. A grandes rasgos, CSMA/CD permite que una estación pueda enviar datos cuando detecta que la red está libre. Si la red no está libre (es decir, la red está experimentando tráfico), entonces la estación no transmite.

Si múltiples estaciones comienzan a enviar datos al mismo tiempo, porque todas detectaron que la red estaba libre, hay entonces una colisión perceptible. En este caso, cada estación espera un tiempo aleatorio y intenta enviar los datos de nuevo. ¿Porque es más rápido *Fast Ethernet*? La especificación 802.3 IEEE permite una longitud total del cable (con repetidores), de 2.5 Km. En el peor de los casos el retraso en la propagación de la señal, es el tiempo en el que la señal recorre dos veces esta distancia.

El estándar permite un retardo en la propagación de la señal (incluidos los retardos de los repetidores) de 50 *microseg*. Este retardo es equivalente a mover 500 bits a 10 Mbps. Como factor de seguridad, el tamaño de la trama mínimo se decidió que fuese de 512 bits. Lo que hay que saber es como reducir la longitud del cable para usar CSMA/CD con el mayor ratio de transferencia. Puesto que la mayoría de las estaciones están aproximadamente a 100 metros de los concentradores, un límite de 100 metros puede ponerse entre la estación y el hub. Por consiguiente habrá sólo 200 metros, entre cualquier estación, y en el peor de los casos la señal recorrerá 400 metros. Un simple vistazo a estos cálculos pueden mostrar que con CSMA/CD, los 50 *microseg*. de retraso máximo, y el mismo tamaño de trama de 512 *bits*, *Fast Ethernet* pueden proporcionar ratios de 100 Mbps.

Además 100BaseT mantiene un valor pequeño en el tiempo de la propagación reduciendo la distancia viajada. *Fast Ethernet* reduce el tiempo de transmisión de cada bit que es transmitido por 10, permitiendo aumentar la velocidad del paquete diez veces de 10 Mbps a 100 Mbps. En 10BaseT, el tiempo entre tramas es de 9.6 *microseg*., mientras en 100BaseT es 0.96 *microseg*. Debido a que la capa MAC y el formato de trama son idénticas a los de 10BaseT y también mantiene el control de errores de 10BaseT, los datos puede moverse entre *Ethernet* y *Fast Ethernet* sin necesidad de protocolos de traducción.

3.3.2 Interfaz de comunicación independiente (MII)

El MII es una nueva especificación que define una interface estándar entre la subcapa MAC y cualquiera de las tres capas físicas (100BaseTX, 100BaseT4, y 100BaseFX). El papel principal del MII es ayudar a la subcapa a hacer el uso del alto ratio de transferencia de bits y de los distintos tipos de medios de cableados haciéndolos transparentes a la subcapa MAC.

Es capaz de soportar ratios de 10 Mbps y 100 Mbps de datos. Puesto que las señales eléctricas están claramente definidas, el MII puede implementarse internamente o externamente en un dispositivo de la red. El MII puede llevarse a cabo internamente en un dispositivo de la red para conectar la capa de MAC directamente a la capa física. Éste es a menudo el caso con adaptadores (tarjetas de red o NICs).

MII también define un conector de 40 pines que puede soportar transceivers externos. Usando el transceiver apropiado conectado al conector de MII, puedes conectar workstations a cualquier tipo de cable. Una diferencia significativa entre 10BaseT y 100BaseT es que los ratios de 100 Mbps no permiten el uso de reloj para la codificación, los ratios violarían el límite puesto para el uso sobre cableados UTP.

La solución será descrita mas adelante con mas detalle (100BaseT4 instalación eléctrica), es usar un bit en un esquema de codificación en lugar del esquema de codificación con reloj.

3.3.3 La capa física

La capa física es la responsable del transporte de los datos hacia y fuera del dispositivo conectado. Su trabajo incluye el codificado y descodificado de los datos, la detección de portadora, detección de colisiones, y la interface eléctrica y mecánica con el medio conectado. *Fast Ethernet* puede funcionar en la misma variedad de medios que 10BaseT (los pares trenzados sin apantallar (UTP), el par trenzado apantallado (STP), y fibra con una notable excepción *Fast Ethernet* no funciona con cable coaxial porque la industria ha dejado de usarlo para las nuevas instalaciones. La especificación de *Fast Ethernet* define 3 tipos de medios con una subcapa física separada para cada tipo de medio:

3.3.3.1 Capa física 100BaseT4

Esta capa física define la especificación para *Ethernet* 100BaseT sobre cuatro pares de cables UTP de categorías 3, 4, 5 o 6. Esto permite a 100BaseT funcionar con el cableado de mayor uso hoy en día que es el de Categoría 5e. 100BaseT4 es una señal *half-duplex* que usa tres pares de cables para la transmisión a 100 Mbps y el cuarto par para la detección de colisiones. Este método reduce las señales 100BaseT4 a 33.33 Mbps por par lo que se traduce en una frecuencia del reloj de 33 Mhz. Desgraciadamente, estos 33 Mhz de frecuencia del reloj violan el límite de 30 Mhz puesto para el cableado de UTP. Por consiguiente, 100BaseT usa una codificación ternaria de tres niveles conocido como 8B6T (8 binario - 6 ternario) en lugar de la codificación binaria directa (2 niveles). Esta codificación 8B6T reduce la frecuencia del reloj a 25 Mhz que están dentro del límite de UTP.

Con 8B6T, antes de la transmisión de cada conjunto de 8 dígitos binarios se convierten primero a uno de 6 dígitos ternarios (3-niveles). Las tres señales de nivel usadas son +V, 0, -V. Los 6 símbolos ternarios significan que hay 729 (3^6) de posibles codewords. Subsecuentemente sólo 256 (2^8) son necesarios para representar las combinaciones del paquete completo de 8-bits, las codewords usadas se seleccionan para lograr el equilibrio de DC y para asegurar todas las codewords son necesarias al menos dos transiciones de la señal. Esto se hace para permitir al receptor mantener la sincronización de reloj con el transmisor.

3.3.3.2 Capa física 100BaseTX

Esta capa física define la especificación para Ethernet 100BaseT sobre dos pares de cables UTP de Categoría 5, o dos pares de STP Tipo 1. 100BaseTX adopta las señales Full-Duplex de FDDI (ANSI X3T9.5) para trabajar. Un par de cables se usa para la transmisión, a una frecuencia de 125-MHz y operando a un 80% de su capacidad para permitir codificación 4B/5B y el otro par para la detección de colisiones y para la recepción.

4B/5B, o codificación cuatro binaria, cinco binario, es un esquema que usa cinco bits de señal para llevar cuatro bits de datos. Este esquema tiene 16 valores de datos, cuatro códigos de control y el código de retorno. Otras combinaciones no son válidas.

3.3.3.3 Capa física 100BaseFX

Esta capa física define la especificación para *Ethernet* 100BaseT sobre dos segmentos de fibra 62.5/125. Una de las fibras se usa para la transmisión y la otra fibra para la detección de colisiones y para la recepción. 100BaseFX está basada en FDDI. 100BaseFX pueden tener segmentos de mas de 2 Km en *Full-Duplex* entre equipos DTE como, *bridges*, *routers* o *switches*. Normalmente se usa 100BaseFX principalmente para cablear concentradores, y entre edificios de una misma LAN. La tabla 1 resume los cableados y distancias para los tres medios de comunicación físicos.

3.3.4 Fast Ethernet. Características, *Full-Duplex*

La comunicación *Full-Duplex* para 100BaseTX y 100BaseFX es llevada a cabo desactivando la detección de las colisiones y las funciones de *loopback*, esto es necesario para asegurar una comunicación fiable en la red. Sólo los *switches* pueden ofrecer *Full-Duplex* cuando están directamente conectados a estaciones o a servidores. Los hubs compartidos en 100BaseT deben operar a *Half-Duplex* para detectar colisiones entre las estaciones de los extremos. Auto-negociación.

La especificación 100BaseT describe un proceso de negociación que permite a los dispositivos a cada extremo de la red intercambiar información y automáticamente configurarse para operar juntos a la máxima velocidad. Por ejemplo, la auto-negociación puede determinar si un nodo de 100 Mbps se conecta a uno de 10 Mbps o a un adaptador de 100 Mbps y entonces ajusta su modo de funcionamiento.

Esta actividad de la auto-negociación se realiza por medio de lo que se llama Pulso de Enlace Rápido (FLP), identifica la tecnología de la capa física más alta y puede ser usada a través de ambos dispositivos, como 10BaseT, 100BaseTX, o 100BaseT4. La definición de la auto-negociación también proporciona una función de descubrimiento paralela que permite 10BaseT *Half y Full-Duplex*, 100BaseTX *Half y Full-Duplex*, y 100BaseT4, las capas físicas pueden ser reconocidas, aun cuando uno de los dispositivos conectados no tenga implementada la auto-negociación.

El control del flujo puede implementarse sobre la base de un enlace-enlace o sobre la base de un extremo-extremo y permite a todos los dispositivos reducir la cantidad de datos que reciben. Como el control del flujo tiene implicaciones más allá de *Full-Duplex* y de la subcapa MAC, los métodos y normas todavía están bajo consideración por el comité IEEE 802.3x.

3.3.5 Los Problemas de cableado

Como se mencionó anteriormente, para los 100BaseTX y 100BaseT4, la longitud máxima para un segmento de red es 205 m y la longitud máxima hasta un hub de 100 m. Ésta es la décima parte de las longitudes correspondientes a 10BaseT. Pero los límites de longitud de 100BaseT serán suficientes. En una topología de bus (donde cada estación se conecta al mismo segmento de cable) no sería suficiente, disminuyendo enormemente, la capacidad de la red. Sin embargo, *Ethernet* está evolucionando de una topología de bus a una topología de estrella, en la que cada usuario conecta a un repetidor central o a un *hub*.

La topología de estrella de *Fast Ethernet* para los *workgroups* está configurada alrededor de un máximo de dos repetidores. Cada *workgroup* forma una LAN separada (también conocido como un dominio de colisión). Éstos dominios de colisión se interconectan fácilmente por medio de switches, bridges, o routers. En cada dominio de colisión se permiten un máximo de dos repetidores (dependiendo de los tipos de cableado). Los dos tipos de repetidores usados para 100BaseT son de Clase I y Clase II.

Los repetidores de Clase I transmiten (o repiten) las señales entrantes por un puerto a otros puertos, traduciéndolas antes a señales digitales y a continuación las retransmite. Las traducciones son necesarias al conectar tipos de cableados diferentes (ej. 100BaseT4 con 100BaseTX) al mismo dominio de colisión. También, cualquier repetidor con un puerto de MII sería un dispositivo de Clase I. Sólo puede haber un repetidor de Clase I dentro de un mismo dominio de colisión.

Los repetidores de Clase II transmiten las señales entrantes inmediatamente de un puerto a los otros puertos, no realiza ninguna traducción. Este tipo de repetidor conecta tipos de cableados idénticos al mismo dominio de colisión. A lo sumo pueden existir dos repetidores de Clase II dentro de un mismo dominio de colisión. Es importante esta diferencia entre repetidores 10BaseT y 100BaseT. Todos los repetidores 10BaseT son idénticos, mientras que hay dos tipos de repetidores para 100BaseT.

Ventajas: Los datos pueden moverse entre *Ethernet* y *Fast Ethernet* sin traducción protocolar. *Fast Ethernet* también usa las mismas aplicaciones y los mismos drivers usados por *Ethernet* tradicional. *Fast Ethernet* está basado en un esquema de cableado en estrella. Esta topología es más fiable y en ella es más fácil de detectar los problemas que en 10Base2 con topología de bus. En muchos casos, las instalaciones pueden actualizarse a 100BaseT sin reemplazar el cableado ya existente. *Fast Ethernet* necesita sólo 2 pares de UTP categoría 5, mientras 100VG-AnyLAN necesita 4 pares. Así en algunos casos a *Fast Ethernet* se la prefiere.

Desventajas: Si el cableado existente no se encuentra dentro de los estándares, puede haber un costo sustancial en el recableado. *Fast Ethernet* puede ser más rápido que las necesidades de la *workstations* individuales y más lento que las necesidades de la red entera. La tecnología "es escalable" más allá de 100 Mbps. Así que el próximo perfeccionamiento tecnológico puede requerir una inversión mayor.

Las tendencias de mercado indican que *Fast Ethernet* se convirtió en un estándar y en conclusión, uno tendría que decir que *Fast Ethernet* es una tecnología intermedia que resuelve algunos problemas, pero que no es aplicable en todos los casos.

3.4 *Gigabit Ethernet*

La aparición de aplicaciones de tipo intranet pronostican una migración a nuevos tipos de datos, incluso vídeo y voz. Antes se pensaba que el vídeo podría requerir una tecnología de gestión de redes diferente, diseñada específicamente para la multimedia. Pero hoy es posible mezclar datos y vídeo sobre Ethernet a través de una combinación de:

- Aumentos del ancho de banda proporcionados por *Fast Ethernet* y *Gigabit Ethernet*, reforzados por LAN_s conmutadas.
- La aparición de nuevos protocolos, como RSVP, que proporciona reserva del ancho de banda.
- La aparición de nuevas normas como 802.1Q y/o 802.1p que proporcionará VLAN_s y la información de prioridad explícita para los paquetes en la red.

- El uso extendido de compresión de vídeo avanzada, como MPEG-2.

Estas tecnologías y protocolos se combinan para hacer a *Gigabit Ethernet* una solución sumamente atractiva para la entrega de vídeo y tráfico multimedia.

Gigabit Ethernet es una extensión a las normas de 10-Mbps y 100-Mbps IEEE 802.3. Ofreciendo un ancho de banda de 1000 Mbps, *Gigabit Ethernet* mantiene compatibilidad completa con la base instalada de nodos *Ethernet*.

Gigabit Ethernet soporta nuevos modos de operación *Full-Duplex* para conexiones conmutador-conmutador y conexiones conmutador-estación y modos de operación *Half-Duplex* para conexiones compartidas que usan repetidores y los métodos de acceso CSMA/CD. Inicialmente operando sobre fibra óptica, *Gigabit Ethernet* también podrá usar cableados de par trenzado sin apantallar (UTP) y coaxiales de Categoría 5.

Las implementaciones iniciales de *Gigabit Ethernet* emplearán Cableados de Fibra de gran velocidad, los componentes ópticos para la señalización sobre la fibra óptica serán 780-nm (longitud de onda corta) y se usará el esquema 8B/10B para la serialización y deserialización. Está reforzándose la tecnología de Fibra actual que opera a 1.063 Gbps para correr a 1.250 Gbps, proporcionando así los 1000-Mbps completos. Para enlaces a más largas distancias, por encima de al menos 2 Km usando fibra monomodo y por encima de 550 metros con fibra multimodo de 62.5, también se especificarán ópticas, de 1300-nm (longitud de onda larga).

Se espera que en un futuro, cuando los avances tecnológicos en procesos digitales lo permitan, *Gigabit Ethernet* opere sobre par trenzado sin apantallar (UTP). Para acomodar esto, se especificará una interface lógica entre las capas MAC y PHY. Las contribuciones técnicas a IEEE están investigando mecanismos para soportar distancias de enlaces cortas para el uso entre los armarios concentradores, así como las distancias superiores a 100 metros sobre cables UTP de Categoría 5.

Los objetivos importantes son desarrollar una norma *Gigabit Ethernet* que:

- Permita *Half* y *Full Dúplex* a velocidades de 1000 Mbps.
- Use el formato de trama del 802.3/*Ethernet*. Use los métodos de acceso CSMA/CD con soporte para un repetidor por dominio de colisión.
- Mantenga total compatibilidad con las tecnologías 10BaseT y 100BaseT.

Además, se especifican tres objetivos específicos para los enlaces a distancia: Un enlace de fibra óptica multimodo con una longitud máxima de 500 metros; un enlace de fibra óptica monomodo con una longitud máxima de 2 Km; y un enlace basado en cobre (cable coaxial por ejemplo), con una longitud máxima de al menos 25 metros. El IEEE está investigando tecnologías que puedan soportar enlaces de distancias de al menos 100 metros sobre cableados UTP de categoría 5. También han decidido incluir una especificación para una Media Independiente Interface (MII) opcional ya que compete con su trabajo.

3.5 Descripción RSDI

La Red Digital de Servicios Integrados, en su acceso básico, provee al usuario de 2 canales de comunicación digital de 64 Kbps (canales B) y uno de control de 16 Kbps (canal D) sobre las líneas telefónicas convencionales (el par de cobre que soporta actualmente la RTC). La RSDI se encuentra integrada en la red telefónica convencional, de tal forma que soporta de forma inicial el establecimiento de llamadas hacia y desde cualquier abonado que disponga de RTC.

Los dos canales de comunicación B de que disponemos pueden utilizarse simultáneamente (a efectos prácticos es como si dispusiésemos de dos líneas independientes). La ventaja en cuanto al uso de un canal de comunicaciones digital a 64 Kbps frente al convencional (RTC, analógico) de 28.8 Kbps es evidente.

Es interesante comentar que el único requisito externo a la instalación es que la centralita de la cual se dependa sea digital y que el operador telefónico tenga servicio RSDI en la zona. El cableado externo a nuestro domicilio que utiliza la RSDI es el normal de 2 hilos de cobre; únicamente el cableado desde el cajetín de entrada dentro de nuestro domicilio hasta los equipos deberá tener 4 hilos: 2 para emisión y 2 para recepción. Los conectores de este tipo de cableado se denominan RJ45 (tiene un total de 8 hilos); Los 4 hilos restantes se pueden utilizar para proporcionar alimentación a los equipos conectados, dependiendo siempre de las especificaciones de cada fabricante. El canal D se basa en la señalización por canal común que se ha adaptado para la RSDI.

Este canal además de la función de señalización puede ser utilizado para implementar una comunicación de datos a 9.6 Kbps.

Otra posibilidad que puede ser interesante para muchos usuarios es él poder contratar varios números de abonado dependientes de la misma línea por muy poco dinero.

A una línea RDSI podemos conectar cualquier equipo telefónico convencional siempre que tengamos un convertidor adecuado o bien contratemos con el operador telefónico un cajetín de entrada especial que nos proporciona dos salidas RDSI básicas (conectores RJ45), y dos analógicas (RTC, conectores RJ11) a las que podemos conectar hasta cuatro equipos telefónicos convencionales.

Respecto a la conexión a Internet, si se realiza a través de algun telco, sólo podrá emplear un canal B de los dos disponibles. En caso de querer utilizar los dos canales para tener una conexión a 128Kbits/s deberemos contratar un acceso local a un proveedor que disponga de este servicio.

Resumiendo podríamos afirmar que el usuario básico de Internet puede esperar de la RDSI un aumento de velocidad substancial en las transferencias de información y la posibilidad de efectuar y recibir llamadas mientras está enganchado a la red. Además de esto, se obtienen otra serie de servicios suplementarios como son la información de la facturación, redireccionamiento de llamadas, llamadas en espera, saber quién nos llama antes de descolgar, etc.

3.5.1 Velocidad

Utilizando un solo canal B y sin compresión se obtienen velocidades del orden de 62Kbits/s y utilizando los dos canales B unos 122Kbits/s. A partir de estas medidas de velocidad reales la velocidad obtenida va a depender de la compresión realizada durante la transmisión y del protocolo del enrutador (sí disponemos de uno). A diferencia de las líneas analógicas, la RDSI siempre garantiza un caudal permanente. Como ejemplo, podemos citar que utilizando un módem a 33.6 Kbps resulta difícil llegar a una velocidad de 28 ó 30 Kbps.

3.6 *Frame Relay*

Las principales características de *Frame Relay* son: Ajuste del ancho de banda a las aplicaciones con pequeños tiempos de tránsito. Velocidad de transmisión elevada (64Kbps y 2Mbps). Flexibilidad de utilización. Apertura hacia el mundo ATM.

Un tiempo de tránsito muy corto en redes de larga distancia, junto a la calidad de las infraestructuras digitales actuales, le garantizan velocidades muy altas. Además las tramas son reordenadas únicamente en la salida de la red. Esta tecnología se adecua perfectamente al tráfico intermitente o en ráfagas de las LANs, que requiere la disponibilidad de un gran ancho de banda en un instante dado.

3.6.1 Características técnicas

Esta norma está descrita sólo sobre las dos primeras capas del modelo OSI, a diferencia de X.25 que llega hasta el Nivel 3 de red, en el que se consignan las funciones de control del flujo y la integridad de los datos. Por tanto, al estar liberado de estos cometidos, *Frame Relay* resulta mucho más rápido que X.25.

La evolución tecnológica ha logrado mejorar la calidad de las líneas, permitiendo desplazar el control de los errores a los propios equipos situados en los extremos de la comunicación, que pueden interpretar las señales de control de flujos generadas por la red.

En todos estos aspectos técnicos reside la fuerza de *Frame Relay*, que además, permite pagar al usuario sólo por la velocidad media contratada y no sobre el tráfico cursado.

CIR (*Committed Information Rate*) es un parámetro de dimensión de red específica de *Frame Relay* que permite a cada usuario elegir una velocidad media garantizada en los dos sentidos de la comunicación para cada circuito virtual (CV). Como no todos los CVs utilizan en un mismo momento dado su ancho de banda reservado, un determinado CV puede emitir parte de su carga hacia los otros. Es obvio que esta gestión dinámica del ancho de banda interesa particularmente a los responsables de telecomunicaciones de las empresas, sobre todo a la hora de tratar el tráfico en ráfagas propia de la interconexión de redes locales.

Los beneficios aportados por *Frame Relay* pueden ser analizados desde tres criterios básicos: tarifación, multiplexación y tráfico en ráfagas.

En *Frame Relay*, se pueden poner en servicio circuitos virtuales sobre una misma interfaz física. Esta forma de multiplicación favorece el mallado completo de una red sin provocar los gastos elevados inherentes a la instalación de múltiples líneas especializadas y de sus respectivas interfaces. También en este sentido se explica la alternativa que representan los servicios *Frame Relay* para el negocio de líneas dedicadas. Así, por ejemplo, gracias al CIR una empresa que disponga de varios centros puede optar por instalar una red mallada basada en *Frame Relay* con velocidades de 32 o 64 kbps desde la oficina central hacia dichos centros y de 16kbps en el sentido inverso.

Por último, *Frame Relay* se adapta perfectamente al tráfico en ráfagas, propio de las aplicaciones cliente/servidor o de interconexión de redes locales.

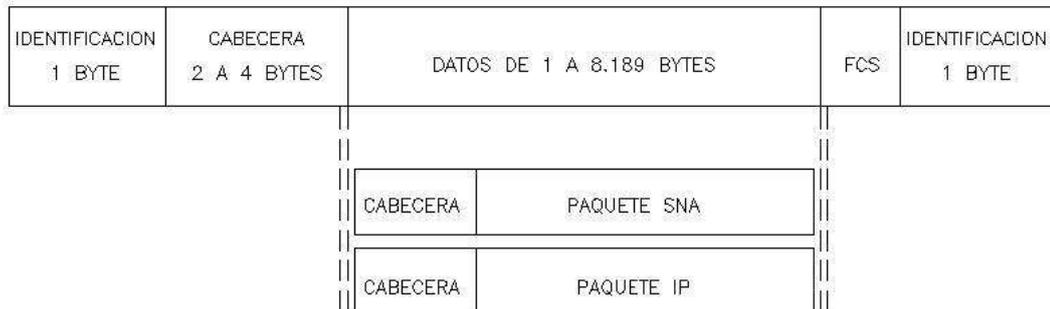
3.6.2 Estructura de trama

Las tramas *Frame Relay* están divididas en 5 partes claramente diferenciadas, estas son:

- *Byte* de identificación.
- Cabecera, que puede ocupar de 2 a 4 *bytes*.
- Datos, éstos pueden llegar a ocupar hasta 8189 *bytes*.
- FCS: *Frame Check Sequence*. Código de detección de errores ajustado a una trama.

- Otro *byte* de identificación.
- A su vez los datos se dividirán en cabecera y paquete de datos, que podrá ser SNA o IP.

Figura 20. Estructura de una trama *Frame Relay*



3.7 Descripción FDDI

La FDDI, en español IDDF (interfase de Datos Distribuidos para Fibras, IDDF), es una fibra óptica del tipo de paso testigo en anillo con un alto rendimiento, operando a 100 Mbps para cubrir distancias de hasta 200 Km y soportando hasta 1000 estaciones conectadas. Puede utilizarse de la misma manera que cualquiera de las redes 802 tipo LAN, pero, tomando en cuenta su gran ancho de banda, otro uso común viene a ser como red primaria para conectar redes tipo LAN de cobre. La FDDI-II es la sucesora de la FDDI, la cual presenta algunas modificaciones para manejar los datos procedentes de la conmutación de circuitos síncronos de PCM para tráfico de voz o tráfico RDSI, además de los datos ordinarios.

La FDDI utiliza fibras multimodales, dado que los costos adicionales de las fibras de modo simple no son necesarios, para el caso de redes que funcionan a velocidades de solo 100 Mbps. Esta fibra, también, utiliza LED en lugar de LASER, no sólo porque sea más económico, sino también porque la FDDI se puede utilizar algunas veces para conectar directamente las estaciones de trabajo de los usuarios. La especificación de diseño de la FDDI no exige más de 1 error en $2.5 * 10^{10}$.

El cableado de la FDDI está constituido por dos anillos de fibras, uno transmitiendo en el sentido de las manecillas del reloj, y el otro en sentido contrario. Si alguno de los dos se llega a desactivar, el otro puede emplearse como respaldo; si los dos se desactivaran en el mismo punto los dos anillos podrán unirse para formar un solo anillo que tendrá una longitud casi del doble.

Mediante la FDDI se definen dos clases de estaciones, A y B. Las estaciones clase A se conectan a los dos anillos; en tanto que las estaciones clase B, que son más económicas, solo se conectan a uno de los anillos.

La capa física no utiliza la codificación *Manchester*, porque esta codificación a 100 Mbps requiere de 200 megabaudios y se pensó que esto era demasiado costoso; en su lugar, se utiliza un esquema llamado codificación 4 de 5. Cada grupo de 4 símbolos MAC (ceros, unos y algunos símbolos que no son datos, como el inicio de trama), se codifican en el medio como un grupo de 5 bits. Dieciséis de las 32 combinaciones posibles están dedicadas a los datos, 3 son para los delimitadores, 2 para control, 3 para la señalización hardware y 8 no se utilizan.

La ventaja de esta configuración es que ahorra ancho de banda, pero su desventaja es la pérdida de la autosincronización presente en la codificación Manchester. Para compensar esta pérdida, se utiliza un largo preámbulo con objeto de sincronizar el receptor con el reloj del transmisor.

Los protocolos FDDI básicos han sido modelados sobre la base de los protocolos 802.5. Para que una estación transmita datos, primero deberá capturar el testigo; después transmite una trama y la quita cuando regresa de nuevo. Una de las diferencias entre la FDDI y el 802.5, es que la estación en el 802.5 no puede generar un testigo nuevo, sino hasta después de que su trama haya recorrido por completo la trayectoria y regresado de nuevo al lugar inicial. Puesto que la cantidad de tiempo perdido podría ser muy elevado, se decidió permitir que una estación inserte un testigo nuevo en el anillo, tan pronto como ésta termine de transmitir sus tramas.

La FDDI acepta tramas de datos similares a las que se emplean en el 802.5, incluyendo los bits de asentimiento localizados en el octeto correspondiente al estado de trama. También acepta tramas síncronas especiales para datos procedentes de una PCM (modulación de pulsos codificados) o RDSI de circuitos conmutados.

Una estación maestra es la encargada de generar las tramas síncronas cada 125 ms, para así ofrecer las 8000 muestras/segundo necesarias en los sistemas que utilizan PCM. Cada una de estas tramas tiene una cabecera, 16 octetos de datos de circuitos no conmutados y hasta 96 octetos de datos procedentes de circuitos conmutados.

El número 96 se escogió porque permite tener cuatro canales T1 (4×24) a una velocidad de 1.544 Mbps, o los tres canales de la CCITT (3×32) a la velocidad de 2.048 Mbps, dentro de la trama, haciéndola así compatible para ser usada en cualquier parte del mundo.

El consumo de ancho de banda de una trama síncrona cada 125 ms, para los 96 canales de circuitos conmutados, es de 6.144 Mbps. El número máximo de 16 tramas síncronas, cada 125 ms, permite tener hasta 1536 canales PCM y un consumo de hasta 98.3 Mbps.

Una vez que una estación adquiera una o más ranuras de tiempo en una trama síncrona, estas ranuras se reservan para ella hasta que, en forma explícita, las libera. El ancho de banda total, que las tramas síncronas no llegan a utilizar, se asigna a la demanda.

En cada una de estas tramas se encuentra presente una máscara de bit, para indicar las ranuras que se encuentran disponibles para ser asignadas por demanda. El tráfico de datos que no está sincronizado se divide en clases de prioridad, en donde la clase con mayor prioridad tiene el derecho a ser la primera en poder acceder el ancho de banda restante.

El protocolo MAC exige que cada estación tenga un temporizador de rotación del testigo, con objeto de mantener un seguimiento sobre el tiempo que haya transcurrido desde el momento en que se vio por última vez a éste.

Un algoritmo de prioridad, parecido al 802.4 se utiliza para determinar la clase de prioridad que puede transmitir durante el paso de un testigo. Si el testigo llega adelantado sobre el horario previsto, todas las prioridades pueden transmitir, pero si llega atrasado, entonces solamente podrán transmitir las prioridades más altas.

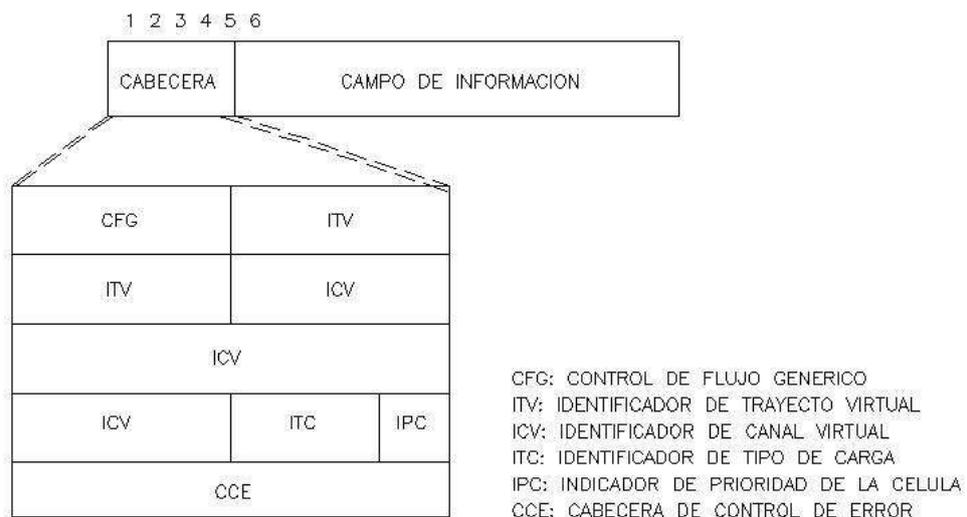
3.8 Descripción ATM

ATM (asynchronous Transfer Mode) es una técnica de transferencia rápida de información binaria de cualquier naturaleza, basada en la transmisión de células de longitud fija, sobre las actuales redes plesiócronicas (PDH) y/o síncronicas (SDH).

Debido a su naturaleza asíncrona, un flujo de células ATM puede ser transportado de forma transparente como una serie de bytes estandarizados, tanto en una trama PDH como en un contenedor SDH; de esta manera no es necesario realizar grandes inversiones en infraestructura de red.

La célula ATM consta de una cabecera de 5 bytes que es analizada y tratada físicamente por los nodos de la red para encaminar la carga útil entre terminales de forma transparente y un campo de información de 48, que constituye la carga útil en la que se inyectan dinámicamente los bloques de información generados por los terminales.

Figura 21. Formato de una célula ATM



La cabecera consta de dos campos independientes (VPI y VCI) que identifican a la célula y la conexión virtual a la que pertenece.

Antes de la emisión de una célula se establece una conexión virtual extremo-a-extremo mediante un procedimiento de control que acepta o rechaza la misma, sobre la base del grado de servicio solicitado y otros parámetros definidos por el usuario.

Como ATM es una tecnología de multiplicación orientada a conexión, la señalización constituye uno de sus aspectos fundamental, ya que se pone en marcha siempre al querer establecer una conexión.

Solamente en el caso en que el destino acepte la llamada, por medio de un proceso de negociación entre los extremos, se establece la misma, dando lugar a la apertura de un canal virtual.

Uno de los aspectos a tener en cuenta en el proceso de negociación para la aceptación de la llamada es la calidad de servicio (*QoS: Quality of Service*) parámetros de caudal, retardo y seguridad solicitada y aceptable que en función de si es posible o no de satisfacer por la red, dará lugar a confirmación o rechazo.

En ningún caso una llamada será aceptada si la red no es capaz de garantizar una QoS por encima de la aceptable.

4. RED DE DISTRIBUCIÓN

Esta compuesta por una estructura tipo bus de coaxial que lleva las señales descendentes hasta la última derivación antes del hogar del abonado.

A través de la red de distribución debe llevarse a cabo la transmisión de datos y conmutación, teniendo como misión principal multiplexar proveniente de diferentes proveedores de servicios a distintos usuarios y adaptar transporte a las características específicas del bucle de abonado. En particular, la red debe ser capaz de gestionar el establecimiento y liberación de conexiones de banda ancha con los bucles de abonados, además de transportar con diferentes tipos de requerimiento en cuestiones de ancho de banda.

El transporte digital es bidireccional y se realiza mediante la tecnología de alta velocidad como SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*). Las SDH facilita el transporte isocrometro multimedia a velocidades superiores o iguales a los 155.52 Mbit/s. El sistema de transporte (que engloba la red de distribución) para aplicaciones multimedia tiene que basarse en conmutadores a fibra óptica como medio físico.

La tecnología ATM ha sido elegida no solo por su capacidad de gestionar gran ancho de banda sino también por sus especiales características como prestaciones necesarias para redes multimedia, soportando la posibilidad de asociar parámetros de calidad según el servicio a ofrecer.

4.1 Nodos ópticos

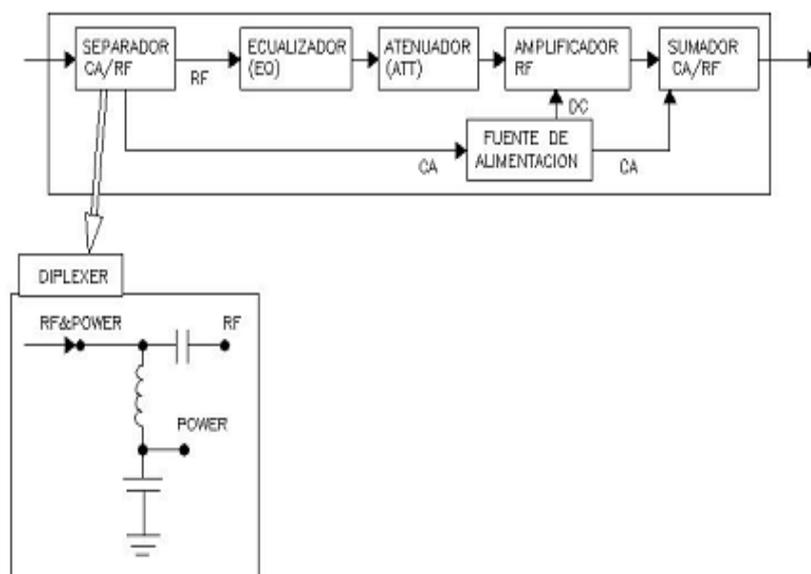
Los nodos ópticos son donde las señales descendentes (de la cabecera a usuario) pasan de óptico a eléctrico para continuar su camino hacia el hogar del abonado a través de la red de distribución de coaxial. En los sistemas bidireccionales, los nodos ópticos también se encargan de recibir la señal del canal de retorno o ascendente (del abonado a la cabecera) para convertirlas en señales óptica y transmitirlas a la cabecera.

Los nodos primarios alimentan a otros nodos (secundarios) mediante enlaces punto a punto o bien mediante anillos. En estos nodos secundarios las señales ópticas se convierten a señales eléctricas y se distribuyen a los hogares de los abonados a través de una estructura tipo bus coaxial, la red de distribución. Cada nodo sirve a unos pocos cientos de hogares (500 en un tamaño habitual en las redes HFC) lo cual permite emplear cascadas de dos o tres amplificadores de banda ancha como máximo. Con esto se consiguen unos nuevos niveles de ruido y distorsión.

4.2 Troncales y amplificadores bidireccionales

Amplificadores: Se denomina amplificador a un equipo al cual ingresa cierta potencia de señal y dentro del mismo hay un aumento de dicha potencia y en la salida se tiene un nivel mayor de potencia. Su función principal es compensar las pérdidas en los cables coaxiales de transmisión, poseen como es natural un cierto consumo de energía, además de introducir ruido y distorsión, factores que se analizarán más adelante. Se encuentran disponibles una gran variedad de amplificadores, la siguiente figura nos muestra un diagrama simplificado típico de un amplificador.

Figura 22. Diagrama simplificado de un amplificador



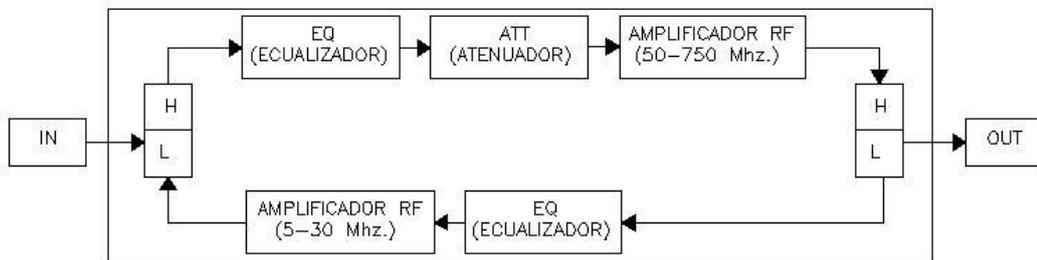
Los amplificadores de CATV se alimentan directamente de la línea coaxial, por lo tanto parte de su circuito esta destinado a separar del coaxial su alimentación de AC que normalmente es de 60 VAC o 90 VAC. En la figura 22, estan claramente definidos los dos caminos diferentes, uno de AC (60 o 90V / 50Hz) y otro de RF, este ultimo admite circulación de señales de RF en un solo sentido.

En la figura 23; vemos un amplificador que permite la utilización bidireccional de una red, siendo la distribución de frecuencias:

Via directa 50-750MHz (alta RF-H)

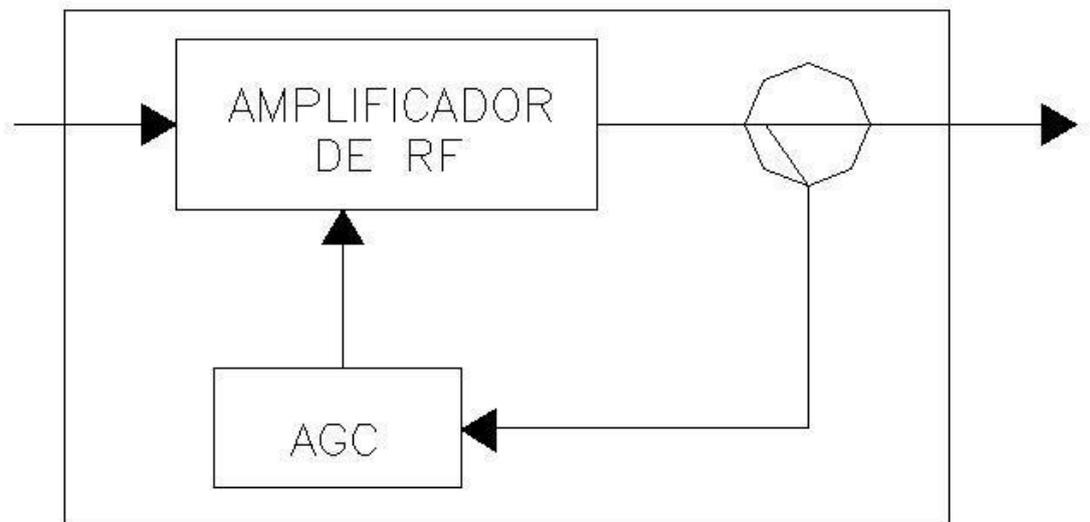
Via inversa o retorno 5-30MHz (baja RF-L)

Figura 23. Amplificador bidireccional



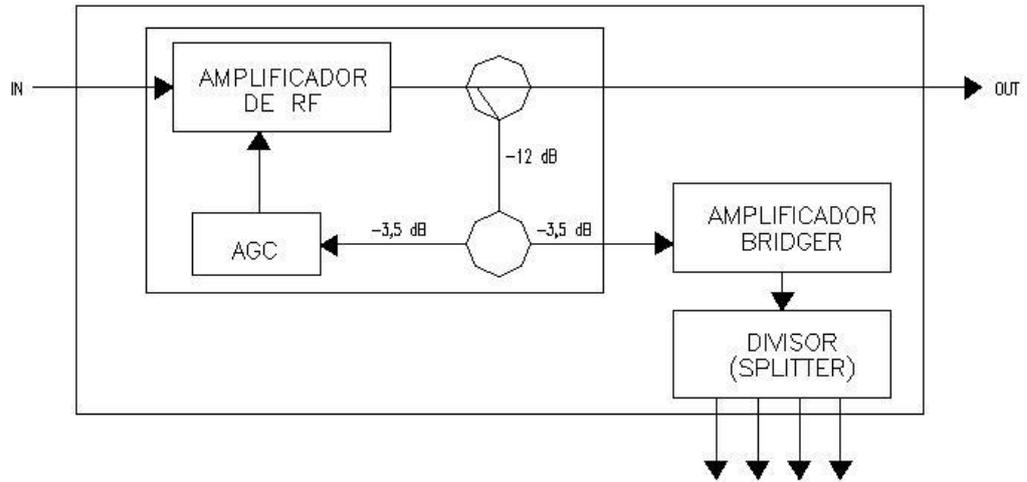
Para mejor comprensión de la figura 23; se omiten los circuitos y las etapas que separan alta y baja RF son los filtros pasabandas. En un sistema de cierta longitud, se requiere el funcionamiento de amplificadores con capacidad de control automatico de ganancia (AGC) y/o dependiente (ASC), denominados también ALSC en el caso de que posean ambos controles automaticos, ello es debido fundamentalmente a la necesidad de compensar las variaciones de atenuación de los cables coaxiales frente a cambios térmicos del medio, la figura 24; nos muestra un amplificador AGC, se toma una muestra de la señal de RF de salida, se detecta y se obtiene una corriente directa (DC) que comanda la ganancia de RF.

Figura 24. Amplificador AGC



Otra configuración muy corriente es la llamada “*Bridger*” o amplificador con distribución o de distribución, su diagrama se muestra en la figura siguiente.

Figura 25. Diagrama de amplificador de distribución



Como se observa en la figura 25; se toma muestra de la señal de salida, se amplifica y luego se divide en dos, tres o cuatro salidas. Cada una de estas salidas “*bridger*” o de distribución constituirá la distribución subtruncal que dispone de los elementos pasivos (*Taps*), donde finalmente obtendremos la señal para el abonado.

Existen muchas posibilidades de funcionamiento de una estación troncal, de allí que la construcción generalmente adoptada es la de una placa base, chasis o “*mother board*”, donde se pueden instalar los distintos módulos que configurarán un tipo específico de estación, si desea cambiar, existe cierto tipo de flexibilidad sin necesidad de cambio de conectores, ni caja solamente cambio de módulos.

Desde el punto de vista físico, los amplificadores son de fundición de aluminio y vienen provistos de montaje en poste o bien para ser suspendido en una rienda de acero colgante.

4.2.1 Amplificador troncal básico

Un amplificador troncal básico de cable, tiene en su entrada un acoplador que soporta la señal de RF de la señal de AC.

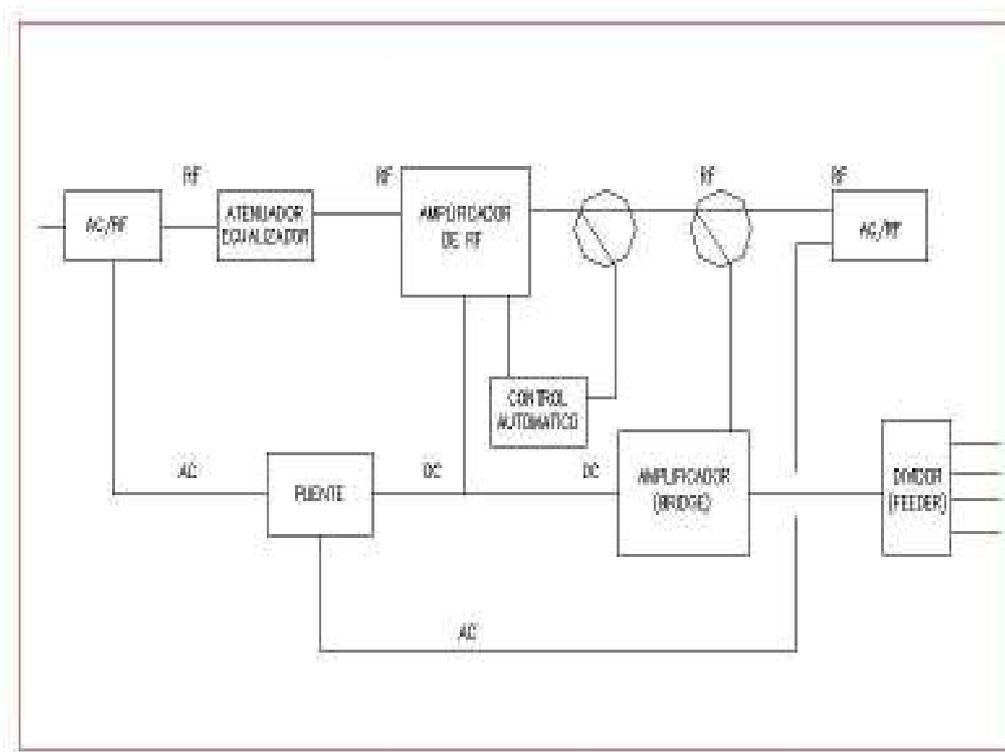
La señal de RF pasa por un atenuador, este sirve para bajar el nivel de la señal de entrada y por un ecualizador el cual sirve para bajar el nivel de las frecuencias bajas las cuales tienen una menor pérdida en el cable que las señales de frecuencias altas.

Estos desajustes sirven para llevar la señal a niveles de trabajo deseados. Luego de esta etapa, se entra al amplificador de RF (amplificador troncal) que es el que aumenta el nivel de la señal.

A la salida del amplificador de RF existe un acoplador (derivador) el cual deriva una porción de la señal hacia un amplificador secundario de RF (*bridger*).

Este amplificador secundario tiene su salida hacia un alimentador (*feeder maker*), el cual normalmente tiene de 1 a 4 salidas las cuales llevan señal a líneas de distribución (ver figura 26)

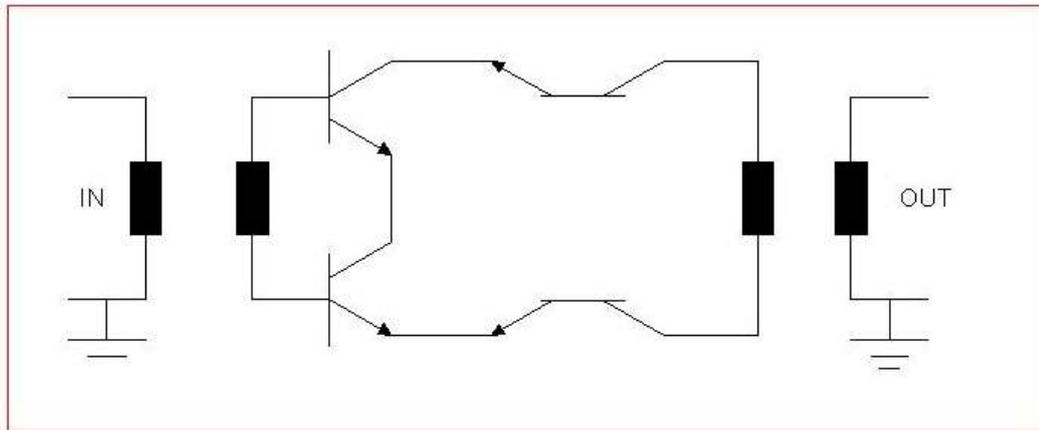
Figura 26. Diagrama esquemático con detalle de cada modulo de amplificador troncal básico



Un amplificador troncal tiene una ganancia de 22 decibeles hasta 30 decibeles, dependiendo el tipo de tecnología que utilice. Los tipos de amplificadores o tecnologías, se agrupan en 3, los tipos *Push Pull*, los *Parallel Hybrid* y los *Feedforward*.

Los amplificadores “*Push Pull*” normalmente tiende a niveles de amplificación del orden de 22 dB. En estos amplificadores, se reducen las crosmodulaciones de segundo orden, por lo cual su salida es bastante buena permitiendo mantener la cantidad llegándose a colocar hasta 20 en cascada.

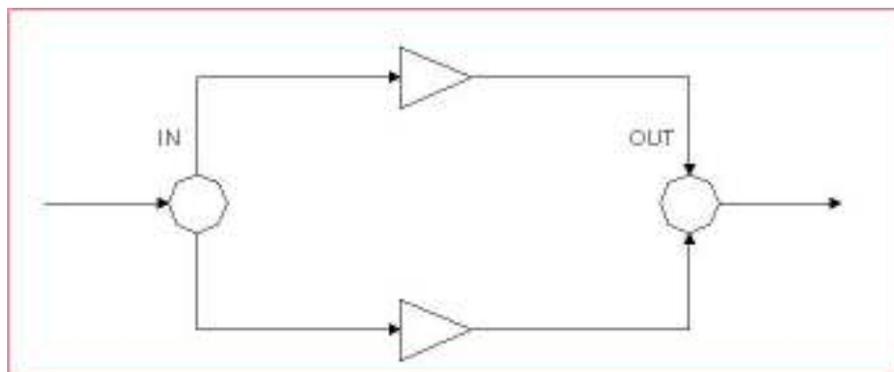
Figura 27. Amplificador *Push-pull*



4.2.2 Amplificador híbrido

Existen también los amplificadores híbridos Paralelos, los cuales trabajan como los “*Push Pull*”, con la diferencia que son dos etapas *push pull*, las cuales se suman obteniéndose el doble de potencia que en un push-pull (43 dB)

Figura 28. Diagrama de un amplificador híbrido

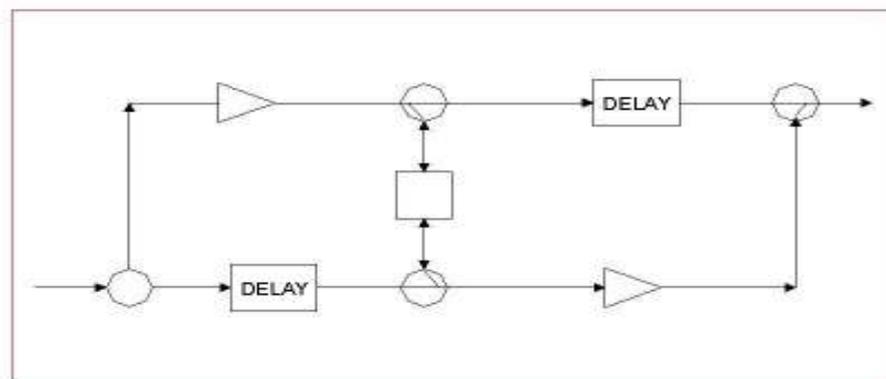


4.2.3 Amplificador *Feedforward*

Las tecnologías “*Feedforward*” son las que pueden manejar mayores niveles, del orden de 26 a 30 dB. Para lograr esto efectúan un retardo con el cual se muestrean las distorsiones crosmodulaciones y se suman a la salida de manera tal que eliminan en gran parte, tendiéndose así, a pesar de tener una mayor potencia, un nivel de crosmoduacion y distorsión similar al de un *push-pull*, la desventaja de los *feedforeard* respecto a los *push-pull* es que por su mayor complejidad su costo es mayor de manera que un modulo troncal *feedforward* cuesta el doble o mas que uno *push-pull*.

No importando el tipo de tecnología que se utilice, el nivel de salida optimo para un amplificador troncal es del orden de 32 a 33 dB, aunque se puede trabajar en niveles aceptables de 30 a 38 decibeles. Cuando la señal es menor de 30 decibeles, la relación señal a ruido sé deteriorada, mientras que en el caso contrario cuando es mayor de 38 decibeles la señal se satura debido a que los transistores internos del amplificador entran en saturación.

Figura 29. Diagrama de un amplificador *feedforward*



El modulo de "*Bridger*" es alimentado a través de un acoplador de 16 dB y tiene una ganancia de 26 dB a 32 dB dependiendo de modelo, el nivel de salida optimo de un *bridger* es del orden de 44 decibeles, pero por ser un amplificador que va hacia distribución debe salir con diferentes niveles para las frecuencias altas y bajas, de manera tal que por perdidas en el cable, se equiparen las mismas, un nivel de salida de 40 a 48 decibeles es adecuado en un *bridger*.

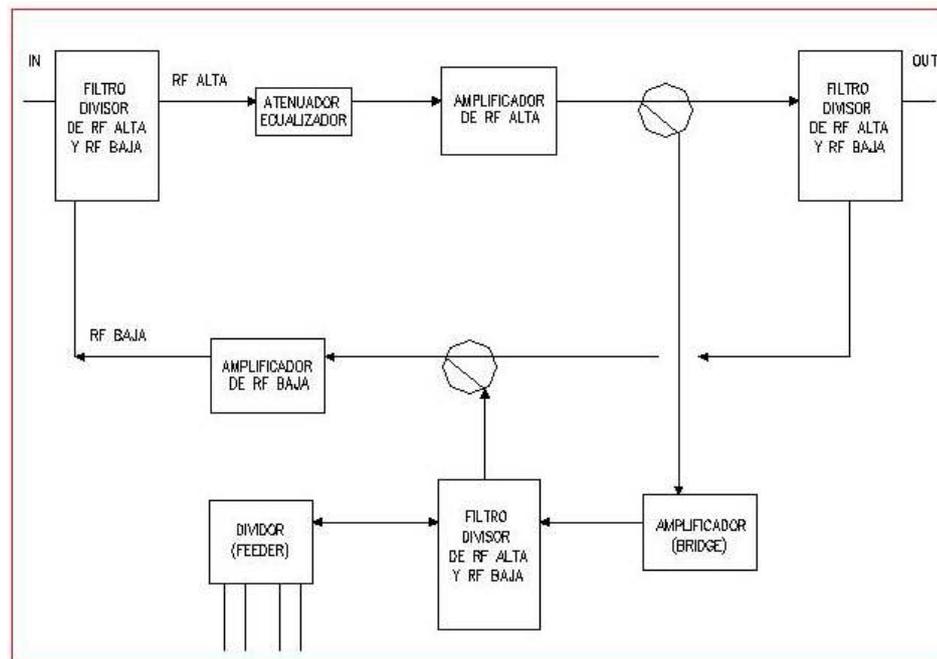
A la salida del amplificador de RF existe un acoplador, el cual muestra la señal de RF y es procesada en un modulo de control el cual comparando voltajes, regula la ganancia del modulo del amplificador de RF, los sistemas de control automático, son importantes en línea con muchos amplificadores, pues cuando mayor es la distancia que recorre una señal de RF, mayor es el efecto que sufre en variaciones de niveles provocadas por cambios en la atenuación del cable coaxial debido a efecto de la temperatura.

Todos los amplificadores profesionales para CATV en la actualidad están provistos para amplificar en dos vías. Esto significa que se utiliza una parte del espectro de 50-450 (550, 750, etc.) para transmitir las señales directas y normalmente la parte baja 5-50 MHz, para transmitir señales en vía contraria. Esto lo único que requiere adicional en los amplificadores es filtros que separan ambas bandas de manera tal que se amplifiquen por separado.

Las señales de retorno entran por la salida normal del amplificador. Son separadas por un multiplexor, el cual separa las dos bandas, pasa por un acoplador, el cual une la señal que entrante troncal con cualquier otra señal de retorno que pueda venir de los *bridgers* y las ingresa al amplificador. Cada una de las dos señales tiene un atenuador, de manera que se puedan ajustar contra el tal que las dos entren con niveles muy similares al amplificador. Entonces son importadas y amplificadas de nuevo son introducidas a un filtro diplexor y enviadas por el siguiente amplificador.

Cuando la vía de retorno requiere un ancho de banda mayor, se tienen que utilizar amplificadores especiales los cuales sacrifican parte de la banda baja o hasta la banda media para utilizarla como vía de retorno. Los valores estándares para vía de retorno son: 5-30 MHz estándar de banda baja para vía de retorno (*lowsplit distribution*), 5-50 MHz banda baja expandida para vía de retorno (*expanded low split distribution*), 5-112 MHz banda baja y VHF banda baja para vía de retorno (*mid split distribution*), 5-174 MHz banda baja y banda media para vía de retorno (*high-split distribution*).

Figura 30. Diagrama esquemático de un amplificador troncal



4.2.4 Amplificador *Line Extender*

Un amplificador line extender, es muy similar en su concepto a un amplificador troncal. Su diferencia básica, es que sacrifica calidad en su relación señal ruido a cambio de obtener una mayor ganancia a la vez de ser mas barato. Su construcción, es similar al amplificador troncal básico. Tiene en su entrada un acoplador que separa la señal de RF de la señal de AC.

La señal de RF pasa por un atenuador y por un ecualizador, los cuales sirven para ajustar la señal a niveles de trabajo deseados. Luego entra al “*chip*” amplificador de RF, que es el que aumenta el nivel de la señal. En esta parte, es donde existe la mayor diferencia entre un amplificador line extender y un amplificador troncal, ya que la tecnología del chip amplificador es de menor calidad y normalmente tiene niveles mayores al troncal del orden de 30 a 40 decibeles de ganancia.

El line extender a diferencia del troncal no posee bridger, ya que su salida va directamente a líneas de distribución, por lo que no es necesario. Al igual que los amplificadores troncales, los line extender están preparados para trabajar en doble vía. El ruido de los line extender es del orden de 3 decibeles mayor que la de un amplificador troncal y su crosmodulación es del orden de 3 decibeles más pobre que la de un amplificador troncal.

4.2.5 Amplificador de distribución interna

Existen amplificadores de menor calidad, los cuales sirven únicamente para amplificar la señal de vídeo en una casa. Estos son amplificadores de distribución interna. Son muy utilizados en Guatemala (de manera inadecuada) como amplificadores troncales o sea como amplificadores de línea principal.

Dentro de los modelos más comunes existentes en Guatemala, se encuentran los CA-30, MCM-55, MCM-20, TA-25, etc. Todos ellos amplificadores que no poseen ninguna vía de retorno, ningún modulo de control termal y tampoco pueden recibir la alimentación de AC a través del cable coaxial.

Los amplificadores de distribución, tienen un ruido del orden de 3 decibeles mayor que la de un amplificador troncal en el caso de los CA-30 y de alrededor de 5 a 6 decibeles, en el caso de los MCM-10, MCM-20 y MCM-55, además de tener entradas para cable de distribución y no para cable troncal.

Los amplificadores de distribución, por no poseer vía de retorno, hacen que en un sistema que los utiliza como amplificadores troncales, no se pueda tener doble vía. El no tener compensadores termales, ni controles automáticos, además de su alto nivel de ruido, los hace no recomendables para colocarlos en cascada, pues las variaciones en temperatura en el cable, no las pueden compensar, además de que un sistema con varios de estos en cascada, presenta una relación señal a ruido bastante pobre.

4.3 Filtros

La teoría de los filtros es una de las áreas más importantes y más usadas en electrónica desde los orígenes, esto se debe a la necesidad de poder controlar y limitar las señales eléctricas en el dominio de la frecuencia, para que un sistema responda de diferente manera para señales de frecuencia o de otra.

Cualquier combinación de elementos pasivos (R, L y C) diseñados para dejar pasar una serie de frecuencias se denominan un filtro. En los sistemas de comunicaciones se emplean filtros para dejar pasar solo las frecuencias que contengan la información deseada y eliminar las restantes.

Los filtros son usados para dejar pasar solamente las frecuencias que pudieran resultar ser de alguna utilidad y eliminar cualquier tipo de interferencia o ruido ajeno a ellas, existen dos tipos de filtros:

Filtros pasivos: Son aquellos tipos de filtros formados por combinaciones serie o paralelo de elementos R, L o C.

Filtros activos: Son aquellos que emplean dispositivos activos, por ejemplo los transistores o los amplificadores operacionales, junto con elementos R, L, C.

Existen los siguientes tipos de filtros: filtro pasa altas, filtro pasa bajas, filtro pasa bandas.

Para cada uno de estos filtros existen dos zonas principales las cuales son llamadas banda de paso y la banda de atenuación.

En la banda de paso, es donde las frecuencias pasan con un máximo de su valor, o hasta un valor de 70.71% con respecto a su original (la cual es la atenuación de 3 dB).

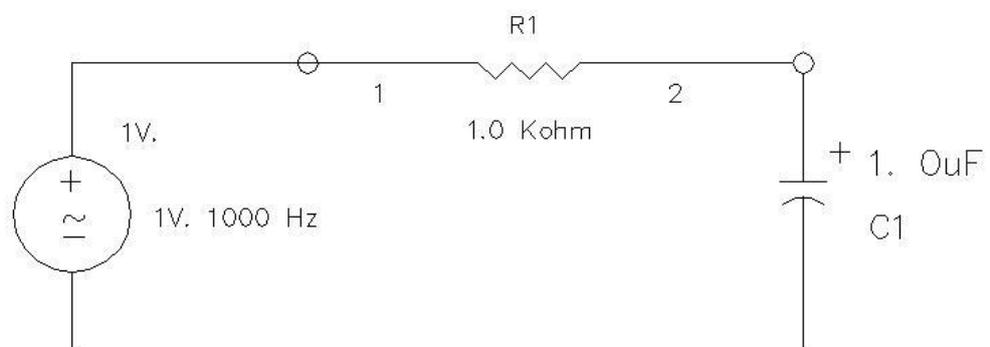
4.3.1 Filtro pasa bajas

El filtro funciona a base un capacitor y resistencia, el capacitor se comporta como una resistencia dependiente de la frecuencia por la relacion de:

$$X_c = 1/C(2\pi)f$$

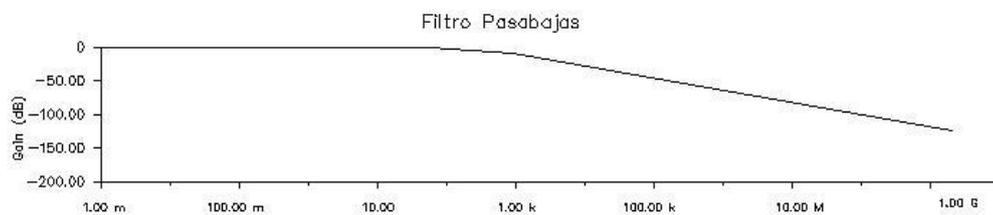
Es decir para frecuencias muy bajas el capacitor (por la regla de división de voltaje) al ser una resistencia muy alta, consume todo el voltaje, si se conecta la salida en paralelo al capacitor se tendrá el máximo de voltaje a la salida, como se muestra en la siguiente figura 31.

Figura 31. Circuito de filtro pasa bajas



Conforme aumentamos la frecuencia de la fuente el capacitor disminuye su impedancia, con lo que el voltaje que disipa disminuye, hasta tender a cero, este tipo de filtro tiene una gráfica de respuesta en frecuencia como se muestra a continuación

Figura 32. Gráfica de salida de filtro pasa bajas

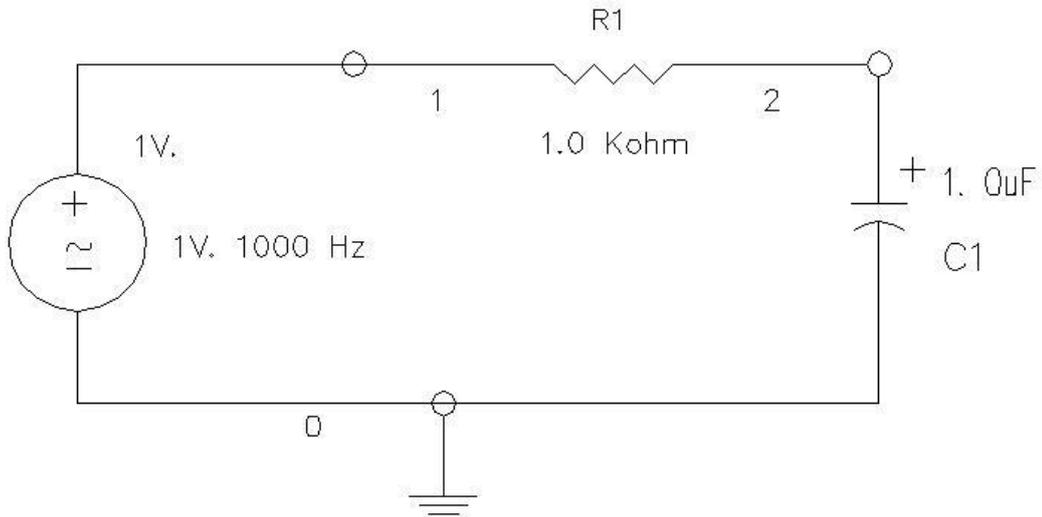


4.3.2 Filtro pasa altas

Este filtro pasivo el unico cambio que presenta con el anterior es la conexión de salida, la cual en vez de tomarse del capacitor se toma de la resistencia lo cual nos provoca que en vez de dejar pasar las frecuencias bajas pasen las frecuencias altas.

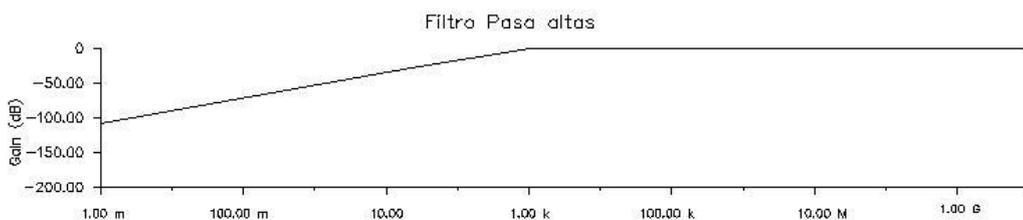
Como ya se menciono el circuito físicamente es igual que el anterior, la salida se toma de la resistencia, como se observa en la siguiente figura 33.

Figura 33. Circuito de filtro pasa altas



Cuando la frecuencia es demasiado baja, el voltaje se consume casi en su totalidad en el capacitor, el cual se comporta como una impedancia de valor muy alto, por lo que en la salida no se tiene casi voltaje, cuando la frecuencia es aumentada se tiene que el valor de la impedancia representada por el capacitor disminuye hasta que casi no consume voltaje, y la mayoría del voltaje se tiene a la salida, a continuación se muestra una gráfica de salida del filtro pasa altas.

Figura 34. Gráfica de salida de filtro pasa altas



Estos filtros tiene un valor llamado frecuencia de corte, la cual es el valor de la frecuencia a partir del cual se considera que ya esta filtrando las señales. Esta frecuencia esta determinada como la frecuencia en la que el valor de la salida con respecto a la entrada tiene una atenuación de -3dB . (o la salida es de 0.717 del valor de la entrada).

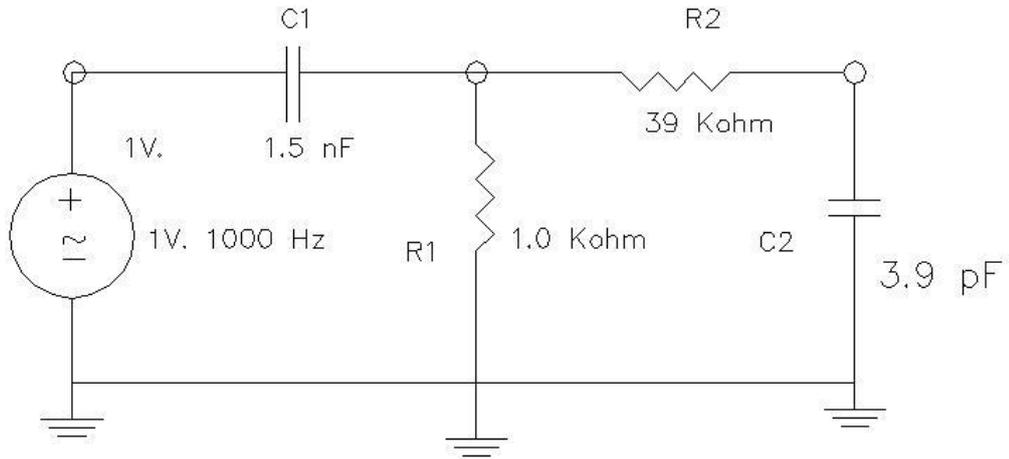
Dependiendo de los valores elegidos de resistencia y capacitancia sera el valor de la frecuencia de corte, para una resistencia fija, el valor de la frecuencia de corte depende del valor del capacitor, la frecuencia de corte es:

$$F_c = 1/RC2\pi$$

4.3.3 Filtro pasa bandas

Este es un filtro que se compone de un filtro pasa bajas y un filtro pasa altas conectados en cascada, los componentes se deben de seleccionar para que la frecuencia de corte del filtro pasa altas sea menor que la del filtro pasa bajas, la característica mas importante de este circuito es el ancho de banda que permite pasar, el ancho de banda es igual a la resta de las frecuencias de corte, a continuación de muestra el circuito de filtro pasa bandas.

Figura 35. Circuito de filtro pasa bandas



Debido a las características de los Op-Amp estos se utilizan mucho en el diseño de filtros activos.

Actualmente una de las áreas de investigación más importante es la de diseño de filtros activos de características muy especiales pa un gran numero de aplicaciones, de aqui la importancia de empesara a introducirse en esta area.

Los filtros son circuitos lineales que sé pueden representar en la red general de los dos puertos que se muestran en la figura 36; la función de trasferencia de filtro $T(s)$ en la razón en tre el voltaje de salida $V_o(s)$ y el voltaje de entrada $V_i(s)$.

$$T(s) = V_o(s)/V_i(s)$$

La transmisión de filtro (filtración sin atenuación por filtrado) se encuentra al evaluar $T(s)$ para frecuencias físicas $S=jW$, y se puede expresar en términos de su magnitud de la función de ganancia.

$$T(jw) = T(jw) \exp e$$

Es frecuente que la magnitud de transmisión se exprese en decibeles en términos de la función de ganancia.

$$G(W) = 20 \log T(jw), \text{ dB}$$

O bien alternativamente, en términos de la función de atenuación.

$$A(W) = -20 \log T(jw), \text{ dB}$$

Un filtro da forma al espectro de frecuencia al espectro de frecuencia de la señal de entrada, $V_i(jw)$, según la magnitud de la función de la transferencia $T(jw)$, enviando así $V_o(jw)$ con un espectro.

$$V_o(jw) = T(jw) V_i(jw)$$

Figura 36. Dibujo de circuito de filtro

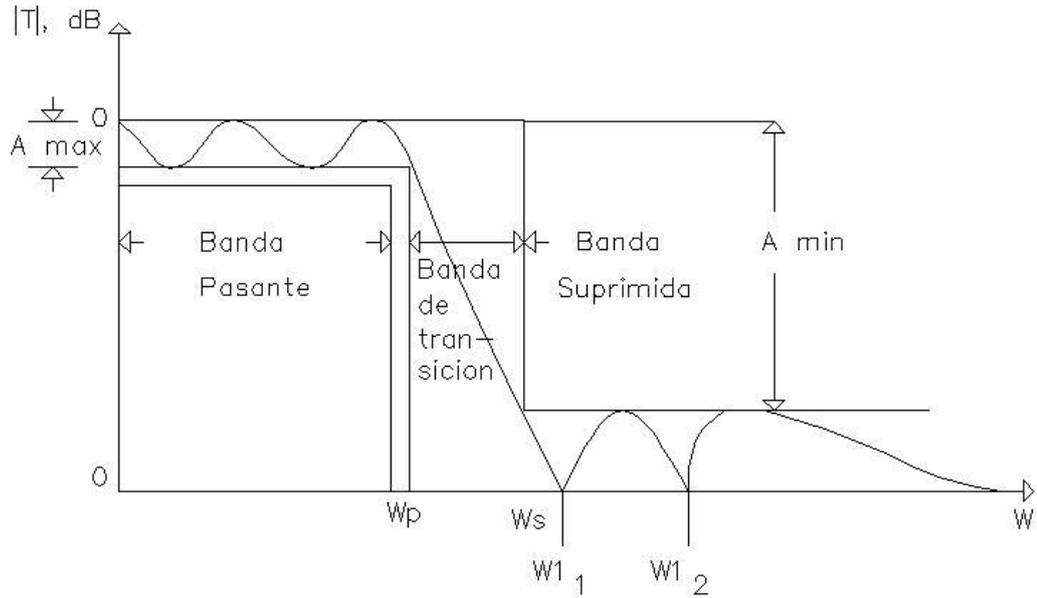


Los filtros que realizan una función de selección de frecuencia; pasan señales cuyo espectro de frecuencia está dentro de una banda especificada, y detienen señales cuyo espectro de frecuencia cae fuera de esta banda.

Estos filtros tienen idealmente una banda (o) bandas de frecuencia sobre las cuales la magnitud de transmisión es unitaria (la banda pasante del filtro) y una banda (o) bandas de frecuencia sobre las cuales la magnitud de transmisión es cero (la banda suprimida del filtro).

En la figura 37; se describen las curvas características ideales de los cuatro tipos de filtro: de paso bajo (LP), de paso alto (HP), la banda pasante (BP) y de supresión de banda (BS). Estas curvas características, idealizadas por virtud de sus bordes verticales, se conocen como respuesta del tipo de pared de ladrillo.

Figura 37. Curvas características ideales de los filtros



4.4 Elementos pasivos

En la transmisión de señales via red coaxial, se necesita una variedad importante de dispositivos para conducir la señal hasta la bajada domiciliaria.

Se consideran pasivos aquellos elementos que no proveen ganancia y no requieren para su funcionamiento estar alimentados con tensión alguna. Pero si deben tener la capacidad de permitir el paso de corriente AC a través de ellos para alimentar los elementos activos que están mas adelante en la cascada.

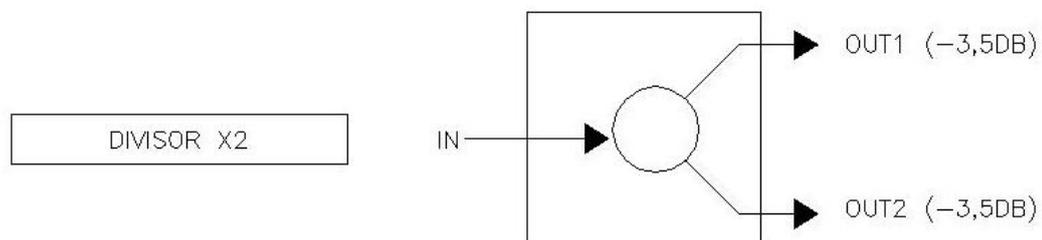
Estos dispositivos pueden clasificarse en:

- Divisores (*Splitters*), Acopladores Direccionales (*Directional Couplers*), *Taps*, Todos ellos deben poseer capacidad bidireccional.

4.4.1 *Splitters*

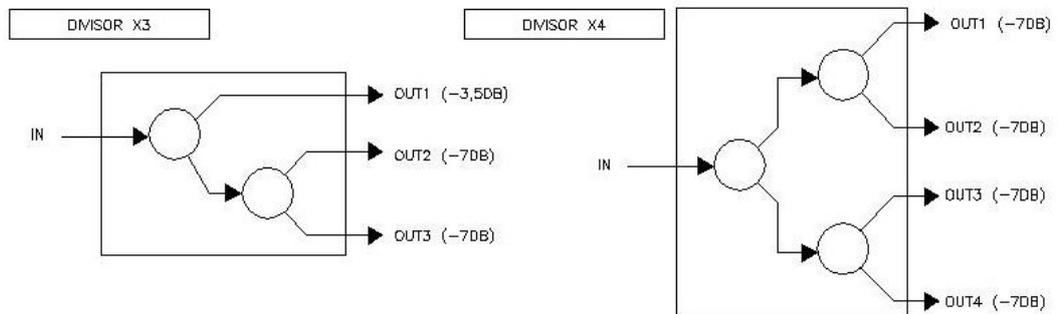
Es un dispositivo que divide la energía de RF, de la entrada en dos partes iguales y conviene caracterizarlo por su pérdida de inserción en dB, hablar de la mitad de potencia en dB, es hablar de -3dB. Este valor es teórico, ya que en la práctica normalmente se obtiene como valor típico de -3.5dB a -4dB (por pérdidas adicionales en la conexión, etc.). Este valor es entonces la pérdida entre la entrada y cualquiera de las dos salidas.

Figura 38. *Splitter* de dos vías



Mediante la combinación de divisores de dos vías, nos permiten conseguir divisores de tres y cuatro vías, como se muestra en las siguientes figuras.

Figura 39. *Splitter* de tres y cuatro vías



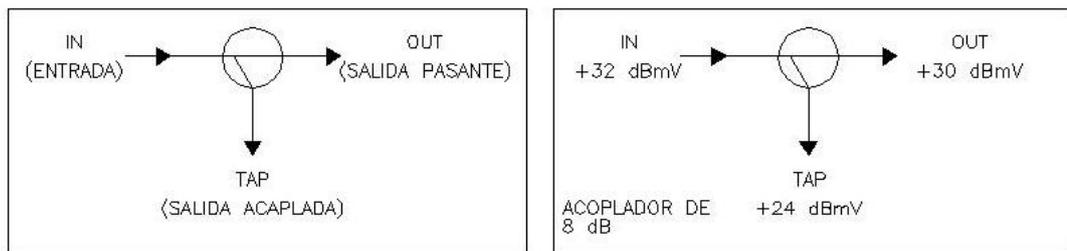
Todos estos dispositivos de red, deben así mismo permitir la circulación de corriente de AC a 50 Hz. Mantener la impedancia característica, es una constante en todos los elementos de red. Los splitters no son ajenos a esta consideración, es decir desde la entrada debe verse la impedancia característica (Z_0), cuando las salidas están cargadas con esa misma Z_0 , los parámetros normalmente específicos en los splitters son:

- Número de salidas, pérdida de inserción, pérdida de retorno, aislamiento entre salidas, capacidad de manejo de corriente AC de 50Hz, porcentaje de modulación de señal de RF por la señal de 50Hz

4.4.2 Acopladores direccionales

Un acoplador direccional se emplea cuando solo una fracción de la energía principal de RF necesita ser dirigida en otro sentido. Al seleccionar el valor en dB del acoplador, estamos decidiendo cuantos dB por debajo de esa energía principal se esta extrayendo, como podemos ver en la siguiente figura.

Figura 40. Salida acoplada y acoplador de 8dB



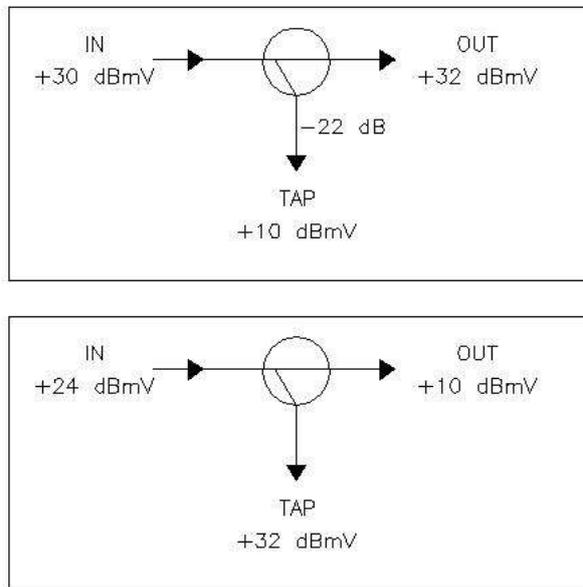
Como vemos en la figura 39; existe también como es obvio la salida pasante que atenuara lo menos posible. Típicamente para un acoplador de -8dB , este valor de inserción es aproximadamente 2dB .

Cuando mayor es la potencia derivada, mayor sera la perdida de inserción del acoplador, la principal característica de este dispositivo, es la direccionalidad.

Por ejemplo, supongamos ahora que ingresamos señal por la salida pasante (*out*), la señal presente en la salida derivada (*tap*) sera ahora muy baja, idealmente nula.

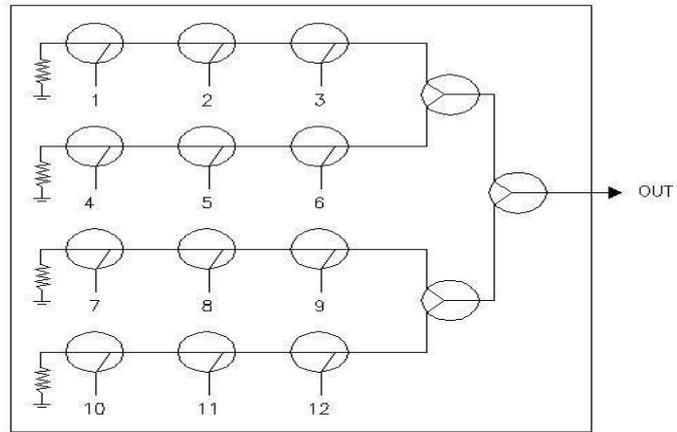
De igual manera, señales ingresantes por la salida derivada verán mucha aislación en el terminal de salida pasante, como se observa en la figura 40.

Figura 41. Direccionalidad del acoplador



Gracias a estas características de direccionalidad, se utilizan acopladores que proveen un importante grado de aislación, en la suma o combinación de canales dentro del Head End (Cabecera). En la figura 41; vemos el ejemplo de un combinador de señales.

Figura 42. Acoplador combinador de señales



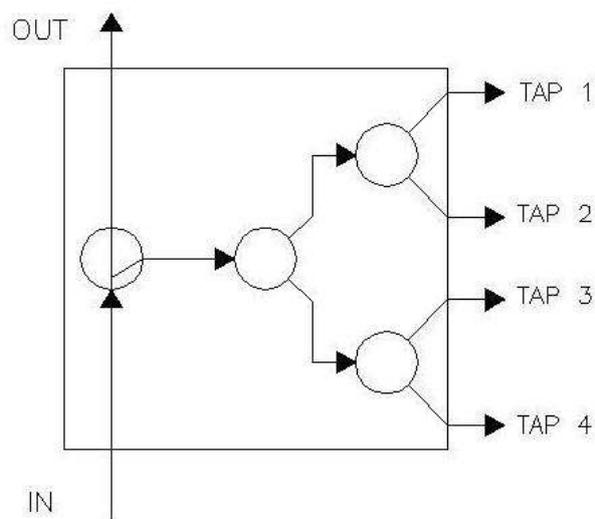
Los parámetros usuales para un acoplador direccional son:

- Valor en dB de la derivación
- Ancho de banda
- Valor en dB de la inserción, (IN-OUT)
- Pérdida de retorno, (Desadaptación de Z_0)
- Aislación en dB, (OUT-TAP)
- Capacidad de corriente (AC 50Hz)
- Porcentaje de modulación de señal de RF por AC de 50Hz

4.4.3 Taps

Una combinación entre los elementos anteriores da lugar al tap, este dispositivo es el nexo entre la red de distribución y el abonado, via la bajada del cable coaxial hasta el receptor de TV. En la figura 42; vemos como es un tap de cuatro salidas.

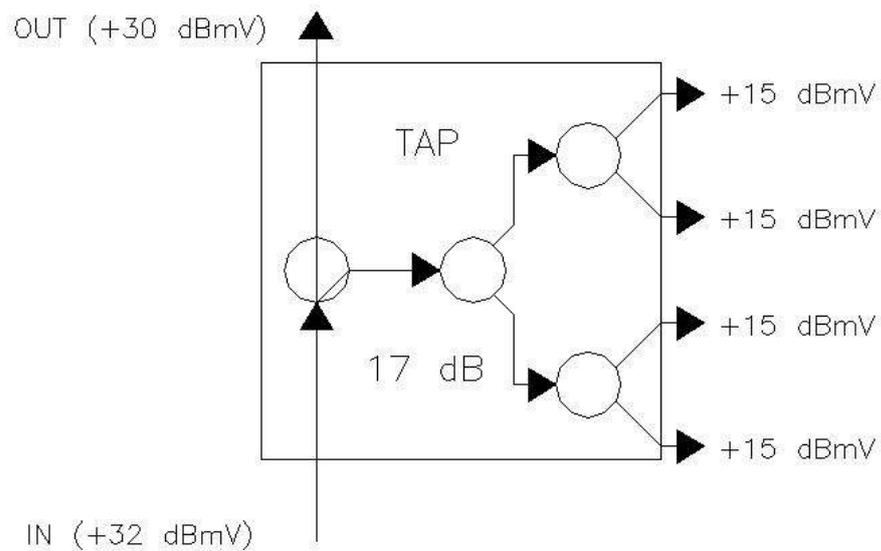
Figura 42. Esquema de un tap de cuatro salidas



El acoplador direccional garantiza baja inserción en sentido pasante y alta aislación entre derivaciones, salidas y viceversa. Así también los splitters presentan importantes valores de aislación entre salidas del abonado.

Los taps se caracterizan por un valor en dB que corresponde a la atenuación total entre entrada y salida del abonado (IN-TAP x). Por ejemplo supongamos que se pretende tener +15 dBmV en cada salida Tap, en este sitio la red de distribución tiene +32dBmV de nivel de señal, entonces el valor del Tap a instalar seria de 17dB como se ilustra en la figura 43.

Figura 44. Ejemplo de Tap



Existen varios valores de Tap y además modelos de 2, 4, y 8 salidas con valores característicos de 1GHz (1000MHz) de ancho de banda

4.5 Canales de retorno

Las modernas redes de telecomunicaciones por cable híbridas fibra óptica-coaxial han de estar preparadas para poder ofrecer un amplio abanico de aplicaciones y servicios a sus abonados. La mayoría de estos servicios requieren de la red, la capacidad de establecer comunicaciones bidireccionales entre la cabecera y los equipos terminales del abonado, y por tanto exigen la existencia de un canal de comunicaciones para la vía ascendente o de retorno, del abonado a la cabecera.

El canal de retorno ocupa en las redes HFC el espectro comprendido entre 5-55MHz. Este ancho de banda lo comparten todos los hogares servidos por un nodo óptico. Los retornos de distintos nodos llegan a la cabecera por distintas vías o multiplexados a distintas frecuencias y/o longitudes de onda. Una señal generada por el equipo terminal de un abonado recorre la red de distribución en sentido ascendente, pasando por amplificadores bidireccionales, hasta llegar al nodo óptico. Allí convergen las señales de retorno de todos los abonados, que se convierten en señales ópticas en el láser de retorno, el cual las transmite hacia la cabecera.

Un problema que presenta la estructura arborescente típica de la red de distribución en una red HFC es que, así como todas las señales útiles ascendentes convergen en un único punto (nodo óptico), también las señales indeseadas ruido e interferencias, recogidas en todos y cada uno de los puntos del bus de coaxial, convergen en el nodo, sumándose sus potencias y contribuyendo a la degradación de la relación señal ruido en el enlace digital de retorno. Este fenómeno se conoce como acumulación de ruido por efecto embudo.

A esto hay que añadir el hecho inevitable de que el espectro del canal de retorno es considerablemente más ruidoso que del canal descendente, sobre todo su parte más baja, entre 5 y 15-20 MHz.

Una señal de retorno viaja desde la casa por medio del cable de distribución a través del tap, insertada a través de una copla direccional, y pasada a través de los amplificadores.

Cuando la señal de retorno llega a la estación donde esta el nodo, esta es diplexada, amplificada y retornada por medio de un láser, para que la señal pueda ser transmitida “headend” a través de la fibra óptica. En el “*headend*”, la señal óptica es fotodetectada y convertida nuevamente en señal eléctrica, luego es dividida hacia varios puntos de recepción para las diferentes aplicaciones en retorno.

4.5.1 Transmisiones en doble vía

La red de cable TV permite que los programas sean transmitidos al suscriptor, pero hasta hace poco no existía un mecanismo para los suscriptores se comunicaran con la planta o enviaran su propia señal de vídeo o Internet dentro de la red.

En este hecho refleja la necesidad de implementar una red típica residencial de cable TV, la cual puede transmitir señales en la dirección del “*headend*” al suscriptor (“*downstream*”) y viceversa (“*upstream*”).

Muchos de los nuevos servicios interactivos requieren que la transmisión del suscriptor a la planta sea de buena calidad. Con los requerimientos de ancho de banda, tales transmisiones se definen como “*upstream*”, estas varían dependiendo del servicio. Películas de pago por video pueden ser ordenadas a través de la red con solo unos comandos en el control remoto o “mouse”, estableciéndose una comunicación de pequeño ancho de banda.

Las aplicaciones para internet se realizan sobre un rango de requerimientos de “upstream” un correo electrónico de pequeño ancho a un video de gran ancho de banda hacia la red de internet desde la casa de un usuario.

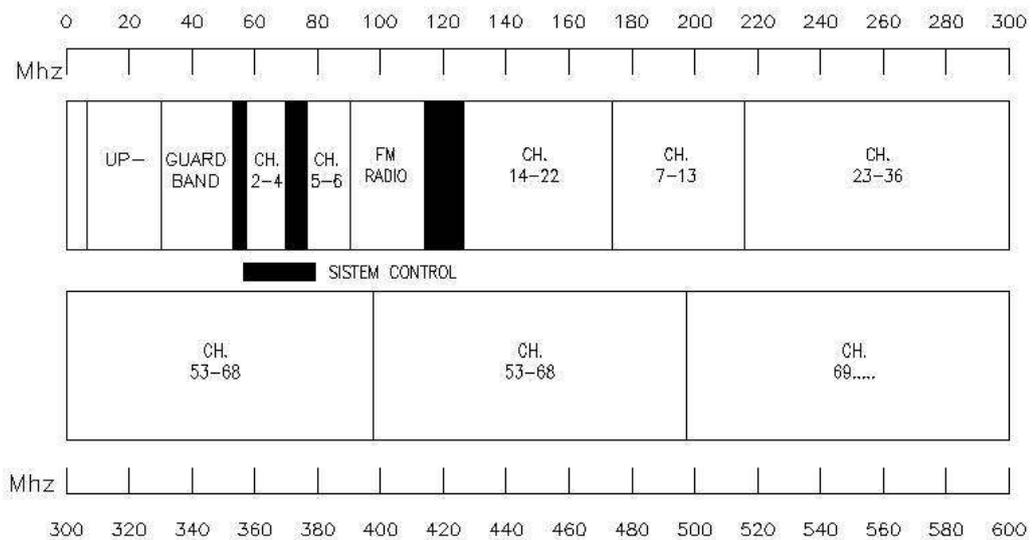
Para habilitar la transmisión de “upstream” se requieren cambios técnicos en la red:

El espectro debe estar disponible para las señales que viajan en la dirección de “upstream” la figura 44; muestra un mapa del espectro típico para las señales a través de la red de cable residencial; el rango de 5 a 42 MHz está típicamente dedicado a las transmisiones de “upstream”. Este rango generalmente provee un máximo de 4 canales para el “upstream”.

Los amplificadores deben incluir filtros diplexores para separar el “upstream” de las señales de “downstream”, y amplificar cada dirección separadamente en el rango correcto de frecuencias, es preferible esto a que se tengan que cambiar los equipos de la red.

Muchos operadores de redes han elegido incorporar la capacidad de “upstream” dentro de los nuevos amplificadores para poder ofrecer señales con gran ancho de banda en las redes híbridas de fibra y cable coaxial.

Figura 45. Mapa del espectro en cable



Las transmisiones de “*downstream*” que sale del “*headend*” llevan la misma señal a todas las distribuciones. En contraste, la transmisión de “*upstream*” es inherentemente una transmisión personal: cada suscriptor esta tratando de enviar una diferente señal en la red.

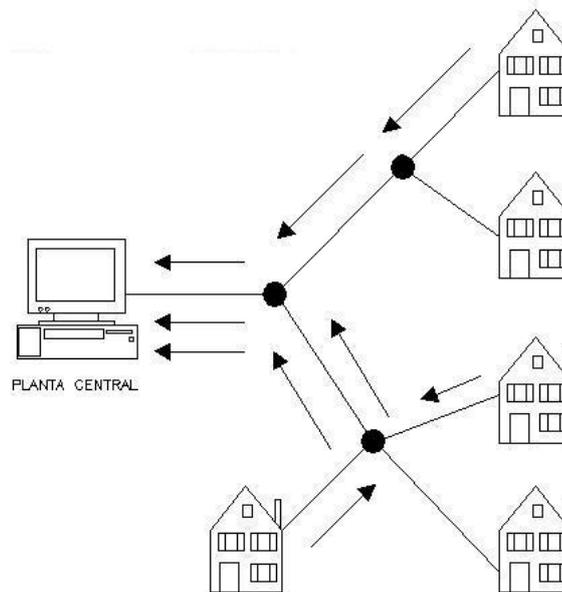
Como se muestra en la figura 45; cuando se viaja hacia arriba del árbol estas señales deben eventualmente compartir la misma porción del espectro de transmisión.

Algunos metodos de formas de acceso se necesitan para decidir que señal es en ese momento transportada. Existen diferentes metodos de acceso tales como Acceso Múltiple por División de tiempo o Frecuencia (TDMA o FDMA), Acceso Múltiple de Sensor de Portadora (CSMA), etc. El metodo depende de la aplicación.

Las transmisiones de “*upstream*” también representan un reto técnico debido a las diversas fuentes de ruido invariablemente transmitidas con la señal.

Un cuidadoso análisis de ingeniería de planta es requerido para que las señales de “*upstream*” sean reconocidas de alguna forma. El aspecto celular de la arquitectura FTTN ayuda a direccionar el problema de “*ingress*”, reduciendo el número de fuentes de ruido de embudo en un solo canal de “*upstream*”.

Figura 46. Compartiendo el ancho de banda de “*upstream*”

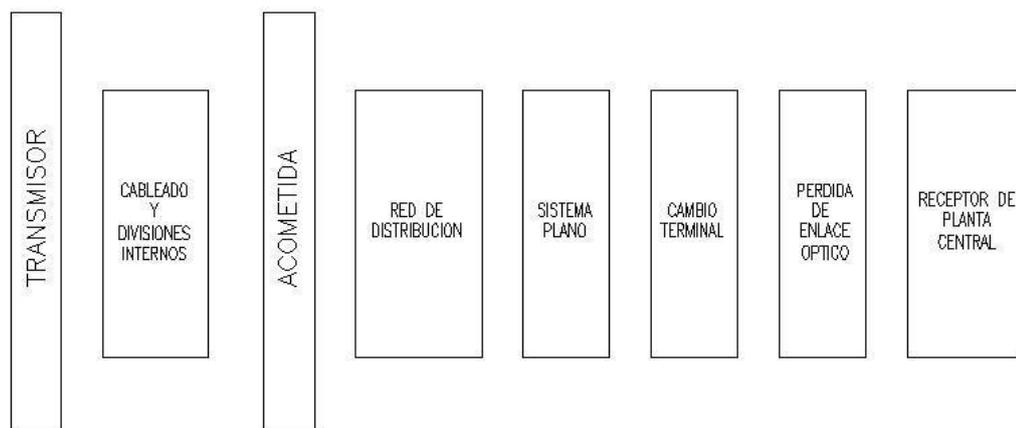


4.5.2 Variación y pérdida en retorno

La pérdida total desde el equipo terminal del suscriptor hacia el “*headend*” sufre variaciones debidas al tiempo, temperatura y lugar. La mayoría de estas variaciones afectan la señal de comunicación de “*upstream*” desde la casa.

Se debe distinguir entre la aplicación receptora y el enlace receptor de fibra óptica que se muestra esquemáticamente en la figura 40; donde se identifican los elementos que causan la variación en la ganancia de retorno.

Figura 47. Transmisión de *upstream*



Analizando cada uno de los elementos de la figura 40; se podrá tener una idea del efecto que causan y la forma de solucionarlos. Se asume que el nivel de salida del transmisor del cable modem es controlado por un algoritmo de potencia que intenta mantener constante la potencia recibida en el “*headend*”.

Para todas las aplicaciones de transmisión, el controlador del “*headend*” ordenara a todos los cable módem a transmitir a un nivel acorde a los rangos de funcionamiento.

4.5.3 Incremento del espectro de retorno

En términos generales, algunas alternativas podrían solucionar el cuello de botella del ancho de banda de retorno, si lo que se desea es incrementar su tamaño. Una de ellas es analizar los requerimientos para llevar la programación del canal 2 al 6 en frecuencias a través del aire. Como puede ser visto en la tabla 1; si la programación de “downstream” que se transmite a través de la red de cable en los canales 2 al 6 fuera reasignada en las frecuencias por encima de la banda FM, el límite superior de la banda de retorno podría extenderse aproximadamente hasta 66 MHz (quedando una banda de guarda de 22MHz entre el retorno y el “forward”).

Para un sistema de retorno de 5 a 40 MHz, podría haber un incremento de 16 MHz, o 46%. El incremento efectivo es aun mayor, pero debido a que a bajas frecuencias (5 a 15 MHz) se tiene una banda ruidosa, esta porción no es usada. Existen suficientes inconvenientes que no permiten la reasignación de los canales 2 al 6 a través del aire, uno de estos es la infinidad de equipos de TV que utilizan en la vía de “*forward*” para recibir canal 3 o 4.

Otro inconveniente es el cambio de todo el equipo de distribución a la nueva banda. Con equipo que emplea filtros diplexores montables, esto no parece difícil, pero existen otras partes del diseño del equipo que de alguna forma llevan el sello de banda 40/52, tal como circuitos para ecualizar y filtros para desechar señales de “*forwar*” en la vía de retorno. Por último si el operador emplea ecualizadores de retorno para atenuar las bandas bajas, los accesorios deberían ser cambiados, siendo muy difícil y costoso.

4.5.4 Aplicaciones de retorno y sus requerimientos específicos

Las modernas redes híbridas de telecomunicaciones por cable coaxial y fibra óptica, tienen que estar preparadas para poder ofrecer una amplia gama de aplicaciones y servicios a sus suscriptores. La mayoría de estos servicios requieren de la red la capacidad de establecer comunicaciones bidireccionales entre la cabecera y los equipos terminales del suscriptor, y por tanto exigen la existencia de un canal de comunicaciones para la vía ascendente o retorno; del abonado a la cabecera. La introducción a la bidireccionalidad en las redes de cable ha sido generalmente un proceso gradual. Muchas redes unidireccionales de televisión por cable han activado o van a activar en breve el canal de retorno después de varios años de funcionamiento en forma unidireccional.

Gran parte de las redes de CATV que están funcionando actualmente no tienen capacidad o bien no les interesa desde el punto de vista económico activar un canal ascendente a través de la misma red, por lo que han optado por ofrecer una mínima bidireccionalidad a través de la red telefónica conmutada (RTC) mediante un módem telefónico que permite a los abonados enviar a la planta central sus peticiones para servicios tales como: pago por ver (PPV).

Muchas aplicaciones con requerimientos de ancho de banda altamente asimétricos pueden funcionar aceptablemente de esta manera. Hay que destacar que la activación del canal de retorno por vía telefónica no es una opción marginal, sino que supone una solución cómoda y económica para la prestación de algunos servicios interactivos. Importantes empresas de telecomunicaciones han desarrollado productos que permiten la recepción de información a través de la red de cable y a su vez se conectan con el “headend” a través de la RTC.

Un ejemplo de la activación del canal de retorno vía RTC lo constituyen algunas empresas de cable en varios países, que ofrecen a sus abonados de televisión digital por satélite un servicio de datos, de tal modo que los usuarios pueden descargar juegos, programas educativos y acceder a algunas bases de datos y servidores. El módem se conecta por la vía telefónica a solo 2,400 *bps* con la planta central y reciben la señal digital directamente del satélite a unos 400 *Kbps*.

En algunos casos, las empresas de cable se ven obligadas a brindar servicio a zonas de difícil acceso, en ellas se sustituye la red de distribución en bus de coaxial por un sistema de distribución basado en microondas, conocido como MMDS (*multichannel Multipoint Distribución System*). El canal de retorno puede en estos casos realizarse a través de la RTC, o bien puede emplearse un sistema vía radio de baja capacidad. La ventaja fundamental del retorno vía RTC, es lo barato y simple de realizar.

La mejor solución aunque se convierta en una difícil tarea, es activar el canal de retorno a través de la propia red HFC mediante el empleo de amplificadores bidireccionales, filtros diplexores y una serie de equipos que permiten ofrecer finalmente un ancho de banda ascendente de 50 MHz o más, y velocidades ascendentes reales que actualmente son de alrededor de 0.5 a 1 Mbps.

Un operador de cable que pretenda activar la vía de retorno en su red de CATV, se encontrará con problemas mucho mayores de lo esperado. La banda de frecuencias reservada para el canal ascendente, es la comprendida entre 5 y 40 MHz generalmente. Esta parte del espectro se ve afectada por señales interferentes de radio frecuencia que penetran a la red a través de imperfecciones de esta, como conectores defectuosos u oxidados, malas terminaciones, cables mal blindados. Las señales de emisoras de onda corta, de radio aficionados, banda ciudadana y una infinidad de ruidos de RF que se originan en motores eléctricos, cajas convertidoras para TV, televisores y computadoras sin aterrizaje, contribuyen a crear interferencias por efecto antena, debido a que la red de distribución coaxial constituye una enorme antena receptora contando además de interferencias de banda estrecha y ruido impulsivo, conocidas en inglés como “*ingress*”, que pueden también ser de origen interno.

Si desean introducir nuevos servicios digitales por el canal de retorno, habrá que asegurarse de que la vieja caja convertidora para TV, que servirá para el servicio de pago por ver (PPV), no ensucie el espectro ascendente de tal manera que sea imposible establecer el enlace digital en forma confiable. Se debe tomar en cuenta las características especiales de la red de coaxial que presenta una estructura de tronco y ramas, debido a que en el caso del canal de retorno constituye un enorme embudo que recoge todas las señales en esta banda, y las transporta indistintamente hacia el nodo óptico y de aquí al “*headend*”. Esto quiere decir por ejemplo, que el ruido impulsivo generado por un motor eléctrico que penetra en la red desde la casa del suscriptor, va a afectar a todos los suscriptores del mismo nodo, puesto que esta señal interferente eleva el nivel de ruido de todo el canal. Lo mismo ocurre con las interferencias de banda estrecha (“*ingress*”), debido a que una señal interferente que penetre en la red a través de un cable mal blindado, con potencia suficiente para llegar a inutilizar totalmente la banda de frecuencias, la afectará y reducirá la capacidad total de transmisión del canal ascendente afectando a todos los suscriptores.

5. RED DE ACOMETIDA DE ABONADOS

Es la porción de la red HFC más cercana al abonado, la que mayores problemas representan para el establecimiento de comunicaciones ascendentes fiables. Una vez comprobado el funcionamiento de los nodos ópticos y de la parte de red de coaxial que va desde la última derivación (vista desde el canal ascendente) hasta estos nodos, debe realizarse un concienzudo examen de la acometida de los abonados.

5.1 Recepción de datos por módem asimétricos y simétricos

Los módems de cable son una nueva y revolucionaria tecnología que proporciona acceso a datos a gran velocidad usando una red de televisión por cable. Los módems de cable se conectan directamente al ordenador a través de tarjetas de red estándar, y los canales TV por cable permanecen inalterados. Actualmente algunos operadores de cable están ofreciendo ya este servicio en varios puntos del mundo.

El servicio más popular que ofrecen estos módems de cable es, indudablemente, los accesos de altas velocidades a internet. Esto permite a los típicos servicios internet ser transferidos a velocidades cientos de veces más rápidas que aquellos que ofrecen por líneas convencionales. Otros servicios pueden incluir acceso de audio de alta calidad, servidores de video, contenidos locales (información y servicios comerciales), acceso a servicios CD-ROM, y una amplia variedad de otras ofertas.

Antes de pasar a describir la clasificación de los modems de cable hay que señalar que en las redes de cable antiguas en las que es complicado activar el canal ascendente se opta por utilizar la línea telefónica como canal de retorno.

Dos de las clasificaciones más comunes en cuanto a los modems de cable son las siguientes:

En función de *Hardware*, podemos encontrar los modems de cable como dispositivos tanto internos como externos.

- **Dispositivos internos:** son tarjetas que se insertan en el ordenador de forma similar a una típica tarjeta de red. Esta solución acarrea el problema de tener que modificar el hardware del ordenador del usuario.
- **Dispositivos externos:** son cajas de un aspecto similar a los módems telefónicos externos de un tamaño algo menor. Estos dispositivos llegan al cable coaxial y sale otro cable hacia la tarjeta de red del ordenador. Casi todos los fabricantes han adoptado el estándar *Ethernet* 10BaseT para la conexión desde el módem al usuario.

En función del tipo de red utilizada, existen redes tanto simétricas como asimétricas, luego también habrá módems simétricos y asimétricos:

- **Módems simétricos:** proporciona la misma velocidad de transmisión tanto en el canal ascendente como en el descendente. Las portadoras ascendente y descendente son de iguales características, ocupando normalmente cada una un canal de 6 Mhz, aunque también hay sistemas que utilizan portadoras de un 1Mhz o 3Mhz.

- **Módems asimétricos:** estos modems proporcionan mayor velocidad al canal descendente que al ascendente debido a que la información que va hacia la cabecera suele ser de un pequeño tamaño. Lo normal es tener unas portadoras de 6Mhz en el canal descendente y los ascendentes de un ancho que pueden variar entre 250 Khz y 2Mhz.

5.1.1 Funcionamiento de los módems de cable

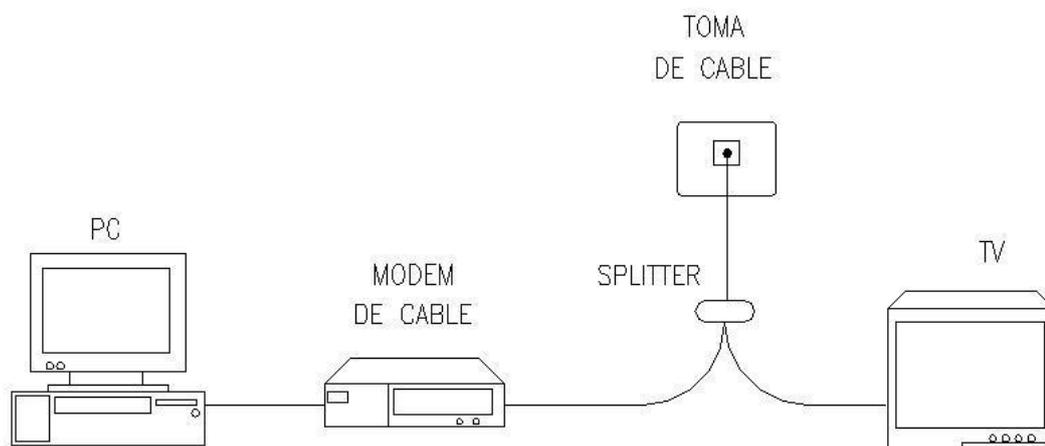
Como su propia palabra dice, un módem de cable es un módem en el sentido estricto de la palabra ya que **modula** y **demodula** señales. Pero estos dos dispositivos no tienen nada más en común siendo los modems de cable más sofisticados que los telefónicos. Veamos las conexiones de este dispositivo.

5.1.2 Conexiones del módem de cable

Los modems de cable deben conectarse por un lado a la red de CATV y por otro lado al ordenador del usuario.

La red de CATV llega al hogar del usuario hasta una toma de cable similar a la que tenemos actualmente. De aquí saldrá un cable coaxial que deberemos llevar hasta un divisor o *splitter* ya que también queremos llevar cable hasta la televisión. Podemos ver este esquema en la siguiente figura:

Figura 48. Conexión del módem a la red Catv



Las velocidades de los módems de cable varían ampliamente. En un principio los fabricantes tenían como preferencia unas velocidades de 10 Mbps en el canal descendente y otros 10 Mbps en el canal ascendente.

En la actualidad las configuraciones asimétricas en los módems de cable están siendo más comunes que las simétricas. En el esquema asimétrico, el canal descendente permite una mayor velocidad de transferencia que en el ascendente. Una razón de esto es que hoy en día, la mayoría de las aplicaciones de Internet son asimétricas: la navegación por las páginas Web o la lectura de los grupos de noticias envían muchos más datos hacia el ordenador de los que éste envía a la red. Los clicks del ratón y los mensajes e-mail no requieren elevados anchos de banda en la dirección de retorno. En cambio el tráfico de datos multimedia (audio y vídeo) requieren un uso intensivo del ancho de banda en el sentido del ordenador a la red.

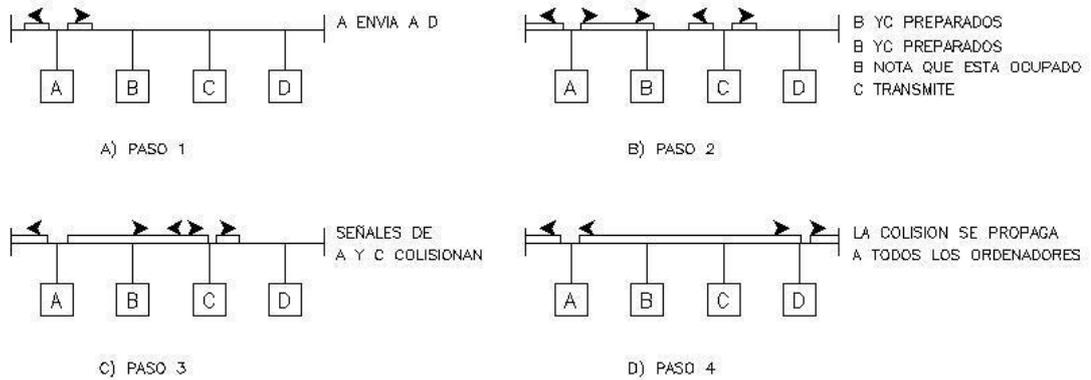
Aunque estas velocidades parezcan muy elevadas debemos reseñar que la capacidad del canal debe dividirse entre un número determinado de usuarios. Esta compartición del canal se puede hacer de diferentes formas.

Como el canal ascendente de una red de CATV está compartido para todos los modems de los usuarios, todos los modems deben seguir un mismo método para acceder al canal. Los dos métodos usados principalmente son el método de acceso por contienda y el método de acceso por solicitud-reserva.

5.2 Acceso por contienda

Este es el método utilizado para acceder al medio en el estándar Ethernet. El acceso por contienda o CSMA/CD consiste en que cuando una estación quiere transmitir escucha al canal; si este está libre el ordenador transmite. Pero puede darse la situación en la que aunque una estación haya mandado un mensaje y esa señal no haya llegado aún a otra estación alejada, comenzando ésta a transmitir. En este caso se producirá una colisión de los dos mensajes y su contenido se habrá perdido. Las estaciones deberán esperar un tiempo aleatorio para retransmitir el mensaje (este tiempo será mayor cuanto más cargada esté la red mejorándose así el comportamiento en situaciones con un elevado tráfico). Este tipo de acceso es muy eficiente en redes LAN y en comunicaciones de datos, en las que estos se transmiten a ráfagas. Veamos esto en una figura:

Figura 49. Pasos en el esquema CSMA/CD



Pero si llevamos esto a las redes de televisión por cable debemos tener en cuenta que los mensajes emitidos por una estación deben llegar hasta la estación cabecera por el canal ascendente y allí pasarlos al canal descendente para que el resto de estaciones puedan recibirlo. De esta forma aumenta el tiempo que tarda una estación en recibir un mensaje y también aumenta la probabilidad de que existan colisiones.

En el caso límite, el tiempo que tardará una estación en darse cuenta de que ha existido una colisión será el doble del tiempo que tarda un mensaje en llegar desde la estación hasta la cabecera.

Así una estación que decida transmitir deberá hacerlo como mínimo durante este tiempo y seguir escuchando durante el mismo. Esto no permite usar paquetes tan pequeños como deseemos (si es necesario se rellenarán hasta tener una longitud mínima) desperdiciando así la capacidad del canal. Las posibilidades para disminuir esta pérdida están disminuir la velocidad binaria y limitar la extensión de la red.

Cuando se detecta una colisión puede ocurrir que ésta tenga lugar en un punto mucho más cercano de una de las dos estaciones que de la otra. De esta forma, ésta se dará cuenta antes de que haya existido una colisión y el tiempo de espera para retransmitir será menor que el tiempo que tiene que esperar la estación lejana. Esto habrá que solucionarlo haciendo que las estaciones más cercanas tengan mayores períodos de espera.

Este esquema CSMA/CD puede dar problemas en situaciones con elevado tráfico. Además, al tener que retransmitir en el canal descendente todo el tráfico (incluso el destinado a un usuario que no esté en el canal) se desperdicia una gran cantidad de ancho de banda.

5.3 Acceso por solicitud-reserva

En este caso la estación cabecera participa activamente en el proceso. Será ella la que dirá a los usuarios cuándo transmitir por el canal ascendente y será la única que tenga acceso al canal descendente (sólo se enviarán por éste canal aquellos paquetes de datos cuyo destinatario esté sintonizado a ese canal).

A cada canal ascendente estarán conectados una serie de modems y éstos transmitirán hacia la cabecera cuando ésta se lo permita. La forma de hacer esto será dividiendo el canal ascendente en ranuras de tiempo o *slots* de tamaño fijo. Las estaciones que quieran transmitir deben pedir permiso a la cabecera y cuando ésta se lo conceda sólo podrán comenzar a transmitir al principio de cada una de los slots.

La cabecera envía periódicamente información por el canal descendente indicando cómo se van a utilizar cada uno de los slots en el siguiente intervalo de tiempo además de una referencia temporal para que todas las estaciones estén sincronizadas.

En función de cómo de cargada esté la red, la cabecera utilizará cada *slot* de forma distinta. Estas distintas formas son:

slots reservados: Son uno o varios slots consecutivos destinados a que una estación transmita sus datos.

slots para solicitudes: Son ranuras a las que las estaciones acceden por contienda con el objetivo de solicitar a la cabecera slots en el próximo intervalo de tiempo, ya que tienen datos esperando ser transmitidos.

slots de contienda para datos: Son *slots* a los que un conjunto de estaciones o todas ellas pueden acceder por contienda para transmitir datos, lográndose así una transmisión inmediata en situaciones de poco tráfico.

En los dos últimos casos, la cabecera debe confirmar la correcta recepción de los datos. Si no es así, las estaciones deberán volver a transmitir los paquetes.

Con este método podemos mantener comunicación en tiempo real (reservando unos slots a una estación continuamente) así como garantizar un mínimo ancho de banda a una determinada estación (reservándola por ejemplo un slot de forma dedicada).

Este método es más eficiente en las redes de cable, que uno basado totalmente en contienda y está bastante aceptado, aunque los fabricantes todavía no se ponen de acuerdo en diversos factores: longitud de los paquetes, asignación de los slots periódica o en cualquier instante.

5.4 Tecnología de los módems de cable

Para comunicaciones de datos en las redes de cable se emplea un simple canal de 8 Mhz en el cable coaxial. Éste es el equivalente de un canal de TV y al igual que la televisión, siempre estará disponible para el uso mientras el ordenador esté encendido.

Esta nueva tecnología ofrece nuevos niveles de servicio con prestaciones radicalmente superiores en comparación con sistemas anteriores:

No se necesitará ningún tipo de marcado telefónico, ni proceso de enganche de portadora para la conexión.

La conexión se encontrará virtualmente siempre abierta, lo que implica beneficios como e-mail instantáneo.

- Acceso ilimitado y tarifas planas mensuales.

- Mil veces más rápido que un módem de 14.4 Kbps.

Con un módem de cable, el usuario no tiene que marcar y esperar todo el proceso de conexión al proveedor, y evita los grandes retrasos en el enlace con el servidor del proveedor.

En vez de esto, la conexión a Internet estará siempre abierta y funcionando mientras que el ordenador esté encendido, de una forma muy similar al funcionamiento de las redes *Ethernet*.

5.5 La capa física

Las redes de CATV utilizan la multiplexación por división de frecuencia tanto en el canal ascendente como en el descendente. Este método hace que cada canal de TV transporte una portadora situada a una frecuencia diferente; Veamos a continuación algunas características de la capa física.

Portadoras: Como ya sabemos, las frecuencias del canal descendente varían entre 55 y 860 Mhz. Las portadoras emitidas desde cabecera se colocan junto con los canales de TV en cualquier espacio libre dentro de este rango de frecuencias. Estas portadoras tienen un ancho de 8 Mhz en el estándar europeo y de 6 Mhz en el estándar americano.

Debido al ruido existente en la zona baja del espectro, nos encontraremos más problemas para situar las portadoras en el canal ascendente. Se buscará un lugar del espectro lo más despejado posible, donde no interfieran con otros servicios bidireccionales (TV interactiva, telefonía).

Las portadoras ocupan también canales de 6 Mhz en los sistemas simétricos, aunque son más convenientes los sistemas asimétricos, que buscan una porción del canal de retorno en buenas condiciones de ancho variable entre 200 Khz y 2 Mhz.

Cuando un servicio se activa se habilitan una portadora en el sentido ascendente y otra en el descendente (en sistemas asimétricos suele haber entre tres y cuatro portadoras ascendentes asociadas a cada canal descendente) sintonizándose a ellas los usuarios.

A medida que crece el número de usuarios se habilitan más portadoras entre las que se reparten los usuarios, creciendo así el sistema de forma escalonada.

Será la cabecera la que gestione a qué par de portadoras se conectará cada módem (evitando así una posible actuación indebida del usuario). De igual forma, si la cabecera detecta degradación de los parámetros de calidad de alguna de las portadoras (elevado tráfico, elevado ruido, interferencias, etc.) podrá hacer que algunos modems pasen a utilizar otra portadora. Este mecanismo puede ser manual o automático.

5.6 Ubicación de módem de alta velocidad en los abonados

Como ya se vio anteriormente, existen modems de cable tanto internos como externos. Los operadores de la red prefieren elegir los dispositivos externos debido a que de esta forma evitan tener que modificar el hardware del ordenador del usuario.

Así lo único que se debe hacer es conectar el cable de par trenzado que sale del módem al conector estándar RJ-45 de la tarjeta *Ethernet* instalada en el ordenador del usuario. Por la misma razón, también prefieren no utilizar ningún *software* para controlar el módem.

Este estándar *Ethernet* permite una conexión entre el módem y el ordenador y viceversa de 10 Mbps, aunque en la práctica esta velocidad es algo menor.

5.7 Consideración de equipos a instalar en abonados de acuerdo al servicio

Las redes de cable, originalmente fueron diseñadas para suministrar niveles de señal adecuada, para un mínimo de por lo menos dos aparatos de televisión en una residencia. Uno principal y otro secundario.

En la década de los 80, los suscriptores pudieron adquirir más de dos televisores, además de un VCR en sus hogares, en la década de los 90, aparecieron los cables módems y los sistemas digitales de descodificadores.

Este aumento en el uso de aparatos múltiples y también en el ancho de banda requerido, ha obligado a los operadores de cable a suministrar niveles de señal aun mayores para prestar un servicio satisfactorio a sus suscriptores.

Si se compara con la expansión de toda la red, la instalación de un amplificador residencial, es la solución más práctica y la mejor costo-efectiva para los operadores de cable que suministran servicios a residencias que utilizan varios aparatos.

Originalmente, los primeros amplificadores para residencias se diseñaron simplemente para amplificar el nivel de señal, sin considerar la calidad de esta. De hecho, los operadores no percibieron que estos amplificadores fueran la solución real, entonces no los amplificaron para distribuir la señal en los hogares.

Los amplificadores para uso residencial comenzaron a incorporar la tecnología, su diseño especializado fue visto como un avance importante, los amplificadores entonces comenzaron a esparcirse largamente.

La característica principal en este tipo de amplificador es el factor de ruido de 3dB, este ayuda a preservar y a resaltar la calidad de la señal. Típicamente el amplificador es útil para incrementar los niveles de señal en residencias que tienen múltiples aparatos.

También es útil para resaltar la calidad de la señal cuando un televisor tiene un factor de ruido bastante alto (aproximadamente de 10 dB) o cuando se instala un decodificador a un VCR con pérdida por inserción, entre un televisor y un amplificador.

Idealmente, los amplificadores para uso residencial deben tener un factor de ruido bajo (3dB), una ganancia bastante uniforme, 15 dB entre 54 MHz y 1 GHz, una distorsión insignificante a nivel salidas de hasta 25 dBmV, y una buena atenuación de retorno (18dB), en la banda de operación.

Los amplificadores para residencias se pueden instalar en el punto de delimitación, entre la red de cable y el cableado de la residencia del suscriptor, ya sea en el exterior o en el interior de la vivienda, en el sótano, o de tras de uno de los aparatos de televisión.

Los amplificadores para uso residencial, generalmente, se alimentan con un adaptador de pared que conecta al puerto de entrada de alimentación.

Cuando el aplicador queda instado en lugares donde no hay una toma de corriente alterna disponible, se puede utilizar un insertador de potencia para alimentar alimentación remota a través de algunos de los puntos de salida RF.

6. MANTENIMIENTO Y CRECIMIENTO DE LA RED

Como hemos visto anteriormente, una red HFC está compuesta por una serie de enlaces de fibra óptica bidireccionales que conectan la cabecera y un cierto número de nodos ópticos de los que parten buses de coaxial que contienen cascadas más o menos largas de amplificadores de banda ancha. A pesar de los esfuerzos que se realizan para evitar fallos en el servicio, éstos inevitablemente ocurren. Incluso con tasas de fallos pequeñas, detectar y resolver problemas en una red con cientos, miles, o decenas de miles de elementos susceptibles de fallar requiere considerables medios, incluyendo un sistema inteligente de monitorizado de red que ponga de manifiesto el inicio de problemas en alguna parte de la red antes de que los mismos afecten al abonado y posibilite un mantenimiento discreto y eficaz de la misma.

El monitorizado se está convirtiendo rápidamente en un requerimiento básico de las redes de cable, debido a la actual complejidad de las nuevas arquitecturas y a la sofisticación de los nuevos servicios que transportan, que exigen de la red una fiabilidad muy alta.

El sistema de monitorizado debe supervisar el estado de funcionamiento de la red a través de una serie de parámetros básicos en puntos estratégicos de la misma. Estos puntos son: la cabecera, los nodos ópticos, ciertos puntos intermedios de la red de distribución de coaxial, y los finales (extremos) de las líneas de distribución de coaxial. En cada uno de estos puntos se controlarán parámetros como: niveles de las portadoras de RF, tanto en el canal descendente como en el ascendente, para poder corregir desajustes en las ganancias de los amplificadores y detectar atenuaciones anormales; potencia óptica recibida y transmitida, en los nodos y la cabecera; niveles de tensión y corriente de alimentación en los equipos y sistemas de reserva; temperaturas de funcionamiento de los equipos.

Para todos estos parámetros se definen unos umbrales de alarma de acuerdo con las prestaciones exigidas al sistema de cable. Además, es muy conveniente controlar factores externos que afectan directamente a la calidad de los enlaces, sobre todo en el caso del canal de retorno. Nos referimos a los niveles de ruido e interferencias. Es muy importante poder detectar rápidamente fuentes de ruido (impulsivo, por ejemplo) y tener la suficiente capacidad de reacción como para evitar que una fuente incontrolada de interferencias pueda llegar a afectar a todo el canal de retorno.

Para obtener información de todos estos parámetros del sistema es necesario incorporar a la red una serie de equipos que integrarán el sistema de monitorizado y serán los encargados de realizar las medidas necesarias y de transmitir todos estos

datos a una unidad de control en la cabecera (UCC). Esta unidad de cabecera será la encargada de interrogar a todos y cada uno de los equipos de monitorizado (EM) para procesar la información así obtenida y mostrar un informe pormenorizado de la situación de la red en cada momento. El sistema de monitorizado presenta una serie de características básicas:

Canales descendente y ascendente separados: todos los EM reciben mensajes por un canal y transmiten por otro. Además, un EM no escucha los mensajes transmitidos por otro EM.

El canal descendente es “uno a muchos” y el ascendente es “muchos a uno”: sólo la UCC puede transmitir por el canal descendente, y sólo ella puede recibir por el ascendente. Cada EM puede transmitir por el canal ascendente y recibir por el descendente. Todo esto es una consecuencia directa de las características de la red HFC.

Canales descendente y ascendente únicos: para que la gestión de las frecuencias en el sistema de monitorizado sea sencilla, habitualmente se utilizan dos únicos canales para comunicar la UCC con los EM, uno descendente y otro ascendente. En ocasiones es normal reservar otro canal, sobretodo en el canal ascendente, para utilizar un

sistema de protección frente a interferencias (sí un canal es demasiado ruidoso el EM puede conmutar automáticamente al de reserva para comunicarse con la UCC).

No es necesaria una sincronización precisa entre los canales ascendente y descendente: en el canal de retorno, la duración de un ciclo de interrogación (tiempo que tarda la UCC en interrogar a un EM) es la suma de los retardos de propagación en los canales descendente y de retorno, tiempos de procesado de la UCC y el EM, tiempo de transmisión de la trama de datos, tiempo de subida de la salida del EM, y algún margen extra de seguridad.

Tasa de error de bit (BER): según las especificaciones para la capa física (PHY) elaboradas por Stout Technologies para CableLabs, una BER aceptable para los sistemas de monitorizado es de $<10^{-7}$ en el 99.9% del tiempo de servicio. No se utiliza corrección de errores (FEC) en la capa física para no complicar (y encarecer) el sistema y para no aumentar el tiempo de interrogación. Además, el empleo de técnicas FEC no garantiza una transmisión libre de errores en la mayoría de sucesos de fuerte ruido impulsivo.

La UCC está controlada por un programa que se encarga de interrogar secuencialmente a todos los EM de la red y de almacenar todos los datos que recibe de éstos, informando en todo momento de las alarmas y otros sucesos que se

produzcan, detallando su naturaleza y origen si fuera posible. Además de recibir datos, algunos sistemas permiten a la UCC actuar directamente sobre determinados puntos de la red, desconectando a un abonado o grupo de abonados por ejemplo en caso necesario, o conmutando a sistemas de reserva en otros casos.

El enlace digital entre la UCC y los EM se materializa en canales de entre 300 y 400 KHz. mediante el empleo de un esquema binario de modulación FSK. El canal empleado por el sistema de monitorizado suele ubicarse, en el caso del canal de retorno, en la parte baja del espectro, generalmente la más ruidosa. Por este motivo es habitual el empleo de técnicas de modulación sencillas y robustas.

La velocidad de transmisión debe ser de al menos 38.4 Kbps para garantizar un tiempo total máximo de interrogación de 3 minutos, teniendo en cuenta una longitud media de los paquetes de información de unos 100-120 bits, unos tiempos de procesado de la UCC y los EM menor que 2 ms., un tiempo total medio de propagación inferior a 1 ms. (ida y vuelta) en una red de 80 Km., y un sistema de monitorizado de hasta 10000 EM.

6.1 Ajuste del sistema

La distribución unidireccional de señales de TV analógica o digital a través de redes HFC goza de muchos años de experiencia. Existe abundante documentación al respecto y las especificaciones que ofrecen los fabricantes de sus equipos son detalladas y bastante claras sobre cuáles son los parámetros básicos y los valores óptimos de éstos que hacen que la red funcione con el máximo rendimiento y prestaciones en el canal descendente.

No ocurre lo mismo con el canal de retorno. Todavía no está claro cuál es el conjunto fundamental de parámetros del sistema de retorno en los que hay que hacer especial hincapié para hacer viables las comunicaciones bidireccionales en las redes HFC, así como tampoco se han establecido todavía unos métodos o procedimientos de test más o menos normalizados que permitan a los operadores de red ajustar el canal ascendente de manera rápida y eficaz. Sí que existen, sin embargo, ciertos puntos concretos que hay que estudiar a la hora de construir una red HFC con capacidad para comunicaciones bidireccionales. Cada operador deberá posteriormente organizar una estrategia de ajuste y control del sistema, de acorde con las características concretas de su red, no haciendo demasiado caso de las especificaciones que dan los fabricantes de los equipos para el canal de retorno, y estableciendo sus propios criterios de calidad y prestaciones.

6.1.1 Pruebas en el láser de retorno

Habitualmente, se usa la entrada al láser de retorno como punto de referencia para los niveles de las señales ascendentes. A su vez, el nivel a la salida del receptor en la cabecera debería reflejar el nivel a la entrada del láser. De esta manera podemos saber si la red está funcionando correctamente. Cualquier señal que ataque el láser de retorno será automáticamente referida al nivel de referencia establecido. Si la red empieza a desviarse de su funcionamiento correcto, lo detectaremos inmediatamente ya que el nivel de salida del receptor de cabecera se corresponde directamente con el nivel de entrada del láser.

El láser de retorno es generalmente el punto más conflictivo del enlace entre los abonados y la cabecera. El principal problema reside en cómo responde este elemento a las señales, tanto deseadas como indeseadas, presentes a su entrada. El valor de pico del conjunto de señales de entrada debe estar por debajo del máximo nivel para el que está diseñado el láser. Pero, cuál es este nivel máximo de entrada es una cuestión de difícil respuesta. En ocasiones, el fabricante puede proporcionar este dato, pero a menudo no es así. Los fabricantes se encuentran actualmente en el proceso de clarificar la forma en que se presentan las especificaciones de manera que resulten de mayor ayuda al operador de red.

Para ajustar correctamente el láser de retorno es fundamental conocer el punto de clipping, es decir, el nivel de entrada a partir del cual el láser se apaga por una excursión negativa demasiado grande respecto al punto de trabajo. Y, por otra parte, es importante conocer también el punto por debajo del cual el ruido enmascara totalmente la señal de entrada.

Un primer método para comprobar el comportamiento del láser de retorno consiste en atacarlo con una portadora centrada en 8 MHz. cuyo nivel se va incrementando en pasos de 2dB hasta que aparecen los armónicos de segundo y tercer orden (16 y 24 MHz., respectivamente), síntoma inequívoco de clipping. Los armónicos podrían provenir de algún amplificador de RF, pero generalmente su margen de entrada es mayor que el del láser de retorno, y por tanto no suelen ser la causa de la aparición de los armónicos.

Otro método utiliza módems de cable con modulación QPSK y una secuencia conocida de datos que se transmite a una frecuencia que permita ver los armónicos de segundo y tercer orden cuando aparezcan. Se va aumentando el nivel de la portadora QPSK hasta que la tasa de error (BER) supera el valor de 10^{-6} (u otro valor que se considere como tope para el enlace digital ascendente).

Finalmente, un tercer método, el más fiable, consiste en llenar casi todo el espectro del canal de retorno con señales de datos y ver para qué niveles de la señal combinada aparece clipping en el láser de retorno. Puede comprobarse que pese a que todos los láseres se comportan según una curva característica parecida, las diferencias pueden ser importantes de cara a su ajuste para el canal ascendente, siendo recomendable caracterizar cada láser por separado.

Por otra parte, mientras que el primer método muestra que el clipping aparece para niveles de entrada notablemente superiores al especificado por el fabricante, cuando se “carga” el canal de retorno con muchas señales de datos este efecto aparece antes de lo esperado. Esto es debido en muchas ocasiones al ruido impulsivo, que eleva el nivel total de la señal de entrada al láser llevándolo a la zona no lineal de su característica de funcionamiento.

Cuanto más canales con el mismo nivel de señal se van añadiendo al retorno, mayor potencia de entrada ve el láser y más nos acercamos al valor máximo que puede aceptar. La solución inmediata a este problema consiste en rebajar los niveles de todas las portadoras de manera que no se exceda el nivel máximo admitido por el láser. Desgraciadamente, la cosa no es tan sencilla.

Habitualmente medimos la potencia de las señales empleando el valor cuadrático medio (rms), pero las señales digitales presentan valores de pico muy superiores a su potencia eficaz (una señal 64-QAM presenta picos entre 9 y 10dB por encima de su valor cuadrático medio; y una señal QPSK, entre 3 y 5dB). Esto no es un problema excesivamente grave con una o dos señales digitales de retorno. Conforme se añaden más portadoras, el nivel total de potencia aumenta proporcionalmente al número de portadoras, pero la potencia puede alcanzar niveles mucho más altos de lo que podría parecer. De hecho, puede haber picos de potencia altísimos si los distintos esquemas de modulación de las portadoras que comparten el canal de retorno entran en algún momento en fase. Dependiendo del grado de coincidencia de las fases, estos picos serán más o menos altos.

Finalmente, pueden establecerse unas recomendaciones básicas respecto al láser del canal de retorno:

Caracterizar los láseres individualmente y entender cómo funcionan;

La relación señal a ruido no es un buen indicador de las prestaciones del enlace digital. Es más importante la relación señal a productos de intermodulación de tercer orden (CTB);

Cambiar la mentalidad que se tiene en el canal descendente que se podría resumir en “cuanta más potencia, mejor”, y establecer los niveles de las señales de acuerdo con los valores de pico que alcanzan;

Determinar el nivel máximo de entrada al láser de retorno con la red “cargada”, previendo un uso del canal de retorno mayor del real.

6.1.2 Pruebas en la red de coaxial

La red de distribución de coaxial presenta en el sentido ascendente unas características que la hacen especialmente sensible a problemas de ruido e interferencias, como hemos visto a lo largo de este capítulo. Por otra parte, debido a que todas las señales generadas en los hogares de los abonados convergen en el nodo óptico, es importante realizar un correcto ajuste de las ganancias y respuestas frecuenciales de los amplificadores de RF del canal de retorno. Esto es lo que se conoce como “alineación” de los amplificadores, y consiste en asegurarse de que todas las portadoras presenten el mismo nivel a la salida de los mismos.

El cable coaxial atenúa en mayor medida las frecuencias altas, por lo que deberá ecualizarse la señal a la entrada del amplificador antes de amplificarla. Otra forma de

corregir este efecto de la propagación de las señales por el coaxial consiste en introducir una predistorsión en la pendiente de la característica ganancia-frecuencia de los amplificadores (transmitir con mayor potencia las portadoras más altas). Además, como hemos visto, deberemos asegurarnos que los niveles son los apropiados a las características del láser de retorno.

Es también importante comprobar el buen estado de los cables y conectores. Un conector corroído es una fuente importante de ruido, distorsión e interferencias. Todos los elementos de la red han de estar convenientemente protegidos para su correcto funcionamiento en las condiciones ambientales a las que se vean sometidos.

6.2 Estudio de tráfico de señales y posible saturación

La evolución de las redes de cable está forzando a los fabricantes de equipos a adaptar y desarrollar sus productos de acuerdo con las nuevas necesidades de los operadores. Numerosas empresas han desarrollado equipos específicos para el canal de retorno en redes de cable. Son equipos que, por ejemplo, realizan un barrido frecuencial del canal ascendente mediante el empleo de dos unidades, una en la red de coaxial, y otra en la cabecera. La unidad de campo inyecta en el canal ascendente una serie de pulsos de barrido que son recibidos por la unidad de cabecera. Ésta devuelve, mediante el empleo de una portadora digital en el canal descendente, un informe detallado de la señal recibida y el “dibujo” del espectro del canal de retorno, que se muestra en la pantalla de la unidad de campo. De esta manera se pueden identificar rápidamente los problemas de ruido e interferencias.

Con el estudio del canal de retorno y los problemas que lo afectan se hace patente la necesidad de equipos de medida que dispongan de capacidad de almacenamiento digital de señales de alta frecuencia y gran ancho de banda para poder capturar

sucesos impulsivos. Son necesarios también generadores de formas de onda arbitrarias para generar señales de test y para reproducir las señales interferentes capturadas. Todo esto, junto con los sistemas de monitorizado descritos en el apartado, permitirá conocer y controlar mejor las redes HFC para conseguir un rendimiento óptimo en las comunicaciones bidireccionales.

6.3 Analizadores de señales y redes

La amplia gama de analizadores de medida que hay actualmente en el mercado, y la industria multiplica con su propia terminología los nombres y las diferencias entre los analizadores de redes y de espectros, añadiendo un conjunto de herramientas de medida especializadas, cada una con su propósito de diagnóstico, que suelen crear una gran confusión.

Hay dos amplias categorías de analizadores y de instrumentación relacionada con ellos, los analizadores de redes y los analizadores de señales.

La categoría de los analizadores de redes se compone de analizadores escalares y analizadores vectoriales de redes, además de medidores de impedancia y LCR o resistencia. Los analizadores de redes deben determinar la impedancia o los parámetros de dispersión de las redes activas o pasivas, como es el caso de los amplificadores mezcladores, los duplexores, los filtros, los acopladores, los atenuadores, y muchos otros componentes utilizados en la configuración de sistemas.

Las redes pueden tener un único puerto (entrada o salida) o muchos puertos. En general, si un diseñador puede medir las características de entrada de cada puerto, además de las características de transferencia de un puerto a cada uno de los restantes, estos datos permiten configurar el componente en un sistema global, como por ejemplo un sistema de comunicaciones o de radar. Generalmente, los componentes activos, como los amplificadores, se miden en su margen lineal, y los componentes no lineales habitualmente necesitan analizadores de señales para determinar su rendimiento con respecto a la distorsión.

6.3.1 Analizadores vectoriales de redes

Los analizadores vectoriales de redes (VNA) son los más potentes de su grupo, ya que miden y muestran por pantalla características completas de amplitud y fase de una red. Entre otros se incluyen los siguientes parámetros: parámetros-S, funciones de transferencia, magnitud y fase, relaciones de ondas estacionarias, pérdidas de inserción o ganancias, atenuación, retardo de grupo, pérdidas de retorno, o coeficientes de reflexión. Los VNA miden normalmente de 100 kHz a 110 GHz.

Los VNA están compuestos por una fuente de barrido de señales, que a veces es interna, un dispositivo de pruebas de separación de señales para separar las señales de prueba directas e inversas, y un receptor de alta sensibilidad con coherencia de fase y canal doble, con una pantalla para mostrar los datos vectoriales en función de la frecuencia en la banda de prueba.

Los parámetros medidos habitualmente en las bandas de RF microondas se conocen con el nombre de parámetros de dispersión y son comunes a la mayoría de los modelos de diseño asistidos por ordenador. Los conceptos de tensión y corriente no son tan claros alrededor de 50 o 100 MHz. Los parámetros de dispersión se basan en el análisis de gráficos de flujo de señales de redes, algo que ya es conocido.

Una vez que se ha diseñado un componente pasivo o activo utilizando todos los recursos de medida que ofrece la tecnología VNA, y el proceso de producción está bajo control, los analizadores escalares de redes (SNA) se pueden utilizar como una herramienta de medida más barata. Miden únicamente la amplitud de los parámetros de dispersión, con términos tales como ganancia, pérdidas, pérdida de retorno o ROE. Aunque los SNAs también necesitan una fuente externa o interna de barrido de señales, y un dispositivo de pruebas de separación de señales, sólo necesitan detectores simples de amplitud y no utilizan instrumentación coherente en fase y con canales dobles, que es cara y compleja. Donde más utilidad tienen los SNAs es en las líneas de producción, donde utilizando sólo los datos de amplitud se puede descubrir qué componente funciona mal.

Los analizadores vectoriales automáticos de redes surgieron debido a la necesidad de los diseñadores de mejorar las posibilidades de medida globales de los VNAs, utilizando el diseño asistido por ordenador y una capacidad de manipulación potente de datos. Integrando modelos de diseño de ingeniería de sistemas y software CAD con datos de pruebas reales de los sistemas de medida, el diseñador puede primero determinar los valores de diseño desde el CAD, construir el componente, reunir automáticamente los datos obtenidos en las pruebas, e iterar dentro de ese bucle de diseño hasta que los componentes tengan las características adecuadas.

Una vez que se han unido los VNAs y los ordenadores, se han podido configurar muchos sistemas de prueba especializados. Algunos ejemplos son: sistemas de prueba de patrones de campo cercano de antenas, sistemas de prueba de módulos de transmisión recepción (T/R) de radares, comprobadores de materiales dieléctricos con accesorios de prueba especiales para probar los materiales que componen la cúpula de los radares y que pueden determinar su rendimiento de microondas.

El HP 4396B es un analizador de espectros/redes económico y muy utilizado en laboratorios de pruebas que necesitan medir parámetros tanto de redes como de espectros.

Para frecuencias bajas de RF, donde se pueden aplicar los modelos de tensión y corriente, utilizando calibraciones realistas de cortos y circuitos abiertos, es mucho más común medir las redes con Analizadores de Impedancia o LCR y Medidores de Resistencia. En estos márgenes, todavía predominan los circuitos como los resistores, los capacitores y los inductores. Son las herramientas de medida preferidas para componentes como transistores y dispositivos semiconductores. La mayoría de los modelos comerciales ofrecen accesorios de prueba utilizados para dispositivos comunes y de montaje superficial. Y esos instrumentos también son a menudo el elemento principal de las estaciones de prueba de circuitos integrados, donde el ingeniero busca características de rendimiento no digital.

Se han desarrollado también otras interesantes aplicaciones personalizadas utilizando accesorios especializados que prueban características de materiales magnéticos y dieléctricos. Dado que esos materiales reaccionan con las señales de prueba de RF dando lugar a pérdidas medibles y desplazamientos del ángulo de fase, los analizadores de impedancia se pueden personalizar para conseguir medidas eficaces de materiales.

Los parámetros medidos incluyen la constante dieléctrica, la tangente de pérdidas, la permeabilidad, y algunos más. Con los accesorios adecuados se pueden analizar incluso líquidos como el petróleo.

También se debería prestar atención al hecho de que los analizadores de redes se han extendido también a componentes de fibra óptica. Las medidas de tipo escalar son más comunes debido a que las versiones vectoriales necesitarían coherencia de señal a longitudes de onda ópticas.

Los analizadores de señales son con diferencia la categoría con mayor número de elementos. Estos instrumentos incluyen analizadores de espectros, analizadores en el dominio de la modulación, analizadores de distorsión, analizadores de señales FFT/dinámicas, analizadores de modulación, analizadores de ruido de fase, analizadores de potencia de pico, y muchos otros. En general, todos los analizadores de señales se orientan a la caracterización de componentes y sistemas desde el punto de vista de la transferencia de señales.

Dado que muchos de esos parámetros de las señales influyen decisivamente en el rendimiento total del sistema, la instrumentación debe proporcionar excelente precisión y sensibilidad a la hora de detectar características tan sutiles como el ruido de fase y la inestabilidad.

6.3.2 Analizador de espectros

Un analizador de espectros es un osciloscopio en el dominio de la frecuencia. Para los ingenieros de microondas y RF es tan importante como un osciloscopio en el dominio del tiempo.

Su arquitectura consiste en un receptor superheterodino con un oscilador de barrido local, dotado de una pantalla para representar la amplitud en función de la frecuencia con un amplio margen dinámico y muchas facilidades de medida como marcadores y cálculo de medidas relativas. La mayoría de los analizadores de espectros modernos van más allá del simple filtrado de banda estrecha para permitir la detección de anchos de banda de modulación completos y dar a los usuarios información bastante precisa de otros parámetros de la señal como por ejemplo la envolvente de la modulación o figuras simples de ruido.

Los productos más flexibles de un analizador de espectros se diseñan con un software de medidas personalizadas que configura el analizador básico para llevar a cabo funciones especializadas como RFI, TV por cable, radio celular y rutinas de pruebas de radio digital. En estas funciones, en la pantalla aparece la terminología especial de pruebas exclusiva de esta industria. Por ejemplo, los límites de señal regulados establecidos en USA por la Comisión Federal de Comunicaciones aparecen en la pantalla para medidas CATV NTSC.

6.3.3 Analizadores de modulación

Los Analizadores de Modulación son receptores sintonizables que recuperan las características de modulación de las señales del sistema con gran precisión. Además de datos de modulación de fase, AM y FM, proporcionan nivel de señal muy preciso, lo que hace que se les conozca también con el nombre de receptores de medida. Esto los hace útiles para laboratorios de metrología y normalizaciones, para aplicaciones como la calibración de generadores de señales.

Otros instrumentos están orientados a la modulación vectorial digital con gran velocidad de datos. Este producto se conoce como analizador vectorial de modulación, y mide parámetros de modulación de radio digital de microondas como QPSK, 64QAM, diagramas de ojos, diagramas de constelación, etc. Los nuevos sistemas de satélites con tráfico de vídeo digital se configuran normalmente con estos formatos de modulación.

6.3.4 Analizadores vectoriales

Los analizadores vectoriales de señales integran el análisis en el dominio de la frecuencia con el análisis en el dominio del tiempo para caracterizar las señales más complejas y con mayor número de variaciones en el tiempo. Entre las señales típicas de un sistema se encuentran las seriales moduladas analógica/digitalmente, las ráfagas, las señales pulsadas, los transitorios y los saltos de frecuencia. Estos analizadores presentan las conocidas pantallas de "waterfall" y de espectrogramas, que muestran perfiles de porciones de tiempo reiterativas de una pantalla de espectros, con gran resolución y un amplio margen dinámico, junto con una gran velocidad de procesamiento. Debido a que procesan información de señal vectorial, son ideales para el análisis de diagramas de constelación y de ojos de las modulaciones digitales. Pueden recuperar a menudo la portadora para hacer un análisis coherente de las señales en comunicaciones reales. Las unidades básicas cubren frecuencias de banda base de hasta 10 MHz, pero los convertidores de precisión llegan hasta 1.8 o 2.65 GHz.

Los Analizadores de Espectros Automatizados aportan la potencia de la computación para cubrir un margen de medidas más extenso y especializado. Por ejemplo, los Sistemas de Monitorización de Espectros junto con las antenas asociadas de banda ancha pueden caracterizar por completo el entorno espectral de la cima de una montaña que se está considerando como posible emplazamiento para una nueva antena. Otros analizadores de señales automatizados monitorizan los canales del transpondedor de un satélite para estudiar las cargas en las señales y la distorsión causada por sobrecargas. Otras funciones de medida especializadas son las pruebas de compatibilidad electromagnética (EMC) durante las pruebas de cualificación en la fase de diseño de un producto. Ahora casi todos los productos electrónicos y de datos deben cumplir determinados requisitos sobre fugas de RFI, de tal manera que los laboratorios de cualificación necesitan hacer las pruebas de conformidad automáticamente para conseguir un manejo de datos detallado, eficiente y que se pueda repetir.

Los analizadores de espectros de microondas abarcan hasta el espectro de la fibra óptica con convertidores ópticos, y llevan a cabo muchas de las mismas caracterizaciones de espectros.

6.3.5 Analizadores dinámicos

Los analizadores dinámicos/FFT son potentes herramientas de medida basadas en algoritmos matemáticos conocidos como por ejemplo la transformada de Fourier. Esto simplemente indica que se puede sacar información completa en el dominio de la frecuencia de una única señal analógica o suceso. Los instrumentos con Transformada de Fourier Rápida (FFT) utilizan técnicas rápidas de muestreo de datos y rutinas matemáticas potentes para analizar el rendimiento espectral de muchas aplicaciones.

Dado que son especialmente potentes para las bajas frecuencias, sus principales aplicaciones están en el campo acústico y de las vibraciones. Las aplicaciones típicas incluyen análisis de maquinaria, estructuras y terremotos, análisis de la vibración de motores, además de la mayoría de las medidas acústicas, supersónicas y de sonar. La tecnología FFT se utiliza en los analizadores de señales vectoriales mencionados arriba.

6.3.6 Analizadores de dominio de modulación

Los analizadores en el dominio de la modulación (MDA) se diferencian de los Analizadores de Modulación en su arquitectura básica. Se considera el dominio de la modulación como la tercera dimensión de los analizadores en el dominio del tiempo y la frecuencia. El dominio del tiempo representa amplitud (tensión o potencia) frente a tiempo mientras que el dominio de la frecuencia es amplitud frente a frecuencia. El dominio de la modulación muestra frecuencia frente a tiempo.

Estos analizadores se basan en el procesamiento complejo de datos utilizando la tecnología de contadores electrónicos, con medidas secuenciales extremadamente rápidas de períodos del paso por cero de la señal. Los MDAs simplifican el estudio de las respuestas al escalón de osciladores controlados por tensión y de las características de los saltos de frecuencia en transmisores rápidos. Proporcionan un análisis detallado de la inestabilidad (jitter) de las señales en sistemas de comunicaciones, en componentes de lectura y escritura de las unidades de disco y en sistemas mecánicos. Existen más aplicaciones en la sincronización de redes y en el análisis de sistemas.

6.3.7 Analizadores de potencia de pico

Los analizadores de potencia de pico se han diseñado para caracterizar completamente 13 parámetros de envolventes de formas de onda pulsadas en sistemas de navegación o de radar por ejemplo. Los siete parámetros de tiempo son tiempo de subida y de bajada, anchura de los pulsos, PRI, PRF, duración del ciclo y retardo. Los cinco parámetros de amplitud incluyen potencia media y de pico, amplitud máxima y mínima del pulso, y sobretensión.

Los analizadores de potencia de pico detectan la envolvente de dicha potencia y la amplifican con los canales dobles de unos amplificadores de ancho de banda de vídeo, para retener anomalías de los pulsos como sobretensión, ringing y señales parásitas de los pulsos. Basados en las arquitecturas de los osciloscopios de muestreo digital, los datos de los pulsos digitalizados pueden ser procesados con DSP para presentar las características de los pulsos en formatos estadísticos, y para permitir comparaciones entre formas de onda de sistemas de microondas y vídeo. Hay una versión disponible para los formatos de modulación digital de microondas.

Los analizadores de ruido de fase de portadora son analizadores de señales especializados, orientados a la detección y al procesamiento de pequeñas imperfecciones de ruido en las fuentes de señales utilizadas habitualmente en los osciladores locales (LO).

Cuando se utilizan en sistemas con mezclas superheterodinas, los efectos de las bandas laterales de ruido de fase de los osciladores locales (LO) pueden aparecer a lo largo del canal de offset junto con la señal de comunicaciones deseada, incluso aunque tengan 150 dB por debajo de la señal deseada.

Los analizadores de portadora funcionan normalmente en el margen de ancho de banda de 40 MHz. Para medir ruido de fase de fuentes desconocidas hasta a 18 GHz, un equipo especial de pruebas de ruido de Portadora funciona como un convertidor superheterodino, pero se diseña con el oscilador local básico especialmente filtrado y presenta un ruido de fase propio extremadamente bajo.

6.3.8 Analizadores de distorsión

Los analizadores de distorsión comenzaron siendo una herramienta de diagnóstico de audio, diseñados para medir la distorsión total de los armónicos de una señal de prueba de audio desconocida. Con un filtro de muestra en hendidura (filtro "notch") sintonizable, los elementos fundamentales de la señal portadora se podían rechazar, mientras que con un detector de banda ancha se medían el resto de los armónicos y de las señales espúreas y de ruido. Estas señales que representan la distorsión total se comparaban entonces con la señal fundamental para hacer una interpretación de los porcentajes. Los analizadores de audio se diferencian de los analizadores de distorsión en que los analizadores de audio son realmente analizadores de barrido de espectros diseñados para el espectro de audio y cubren quizás frecuencias de hasta 100 kHz.

Los analizadores de figuras de ruido constituyen una categoría media. Mientras que la figura de ruido es en realidad un parámetro orientado a señales, normalmente de amplificadores o mezcladores, estos analizadores también miden parámetros de ganancia o pérdida de las redes.

La figura de ruido es crucial en los amplificadores y mezcladores utilizados en las primeras etapas de los receptores, porque cada amplificador añade su propio ruido no deseado, a la vez que amplifica la señal deseada - cuanto más baja es la figura de ruido mejor es el amplificador. Una figura de ruido de 3 dB significaría que al amplificador añade ruido de igual valor que la señal deseada, no sería un buen componente. Los analizadores modernos de figuras de ruido combinan la medida de figuras de ruido con pantallas de ganancia/pérdidas para permitir a los diseñadores intercambiar ganancias por figuras de ruido de un mayor rendimiento. Con los convertidores se pueden hacer medidas hasta a las frecuencias de las fuentes de ruido asociado que funcionan a 50 GHz o más.

6.3.9 Analizador de espectros combinado

Debido a la considerable duplicidad de circuitos que hay en un laboratorio cuando se hacen pruebas con un analizador de redes y con otro de espectros, no es sorprendente que los fabricantes combinen esos dos instrumentos en un Analizador de Redes/Espectros. Esta combinación de instrumentos se puede utilizar de forma muy rentable en el diseño de redes activas y en las pruebas donde, además, se desea un alto rendimiento de la señal, como en amplificadores o mezcladores por ejemplo. Cubren una frecuencia de 100 kHz a 1.8 GHz. Algunos modelos utilizan técnicas de FFT para conseguir mayor resolución y mayor velocidad en la visualización del espectro. Otros ofrecen análisis de espectros disparado por tiempo en aplicaciones como por ejemplo las unidades de disco de los ordenadores para reducir las interferencias por ruido.

Este analizador de señales VCO/PLL (de 10 MHz a 3 GHz) mide los 9 parámetros requeridos para conocer totalmente las prestaciones de los osciladores controlados por tensión embebidos en PLLs.

Aunque los ingenieros aplican analizadores de señales estándar a sus rutinas de pruebas especializadas, a menudo se encuentran con situaciones donde son más indicadas las soluciones personalizadas. Esto a menudo implica la combinación de las funciones de medida y de fuente de muchos instrumentos. Varias de estas combinaciones de instrumentos se darán como ejemplo.

Para los ingenieros de sistemas celulares, diseñar el módulo de su oscilador local puede acarrear un proceso de pruebas extremadamente tedioso. El oscilador local consiste habitualmente en un VCO/PLL (oscilador controlado por tensión/lazo de enganche de fase (phase-lock loop)) dentro de la radio. Para caracterizar totalmente los VCO/PLL más usuales se necesitan 9 o 10 parámetros para conocer su rendimiento bajo todas las condiciones de tensión de drive y de señal. Solamente para llevar a cabo las pruebas de ruido de fase se necesitan varias horas debido a su complejidad. De manera que con un analizador personalizado conocido como analizador de señales VCO/PLL (de 10 MHz a 3 GHz) no sólo pueden medir los 9 parámetros de la señal de un VCO con una única caja, sino que se ha desarrollado una innovación especial en las pruebas que reduce el tiempo empleado para medir el ruido de fase en un factor de 10.

Otro ejemplo de un analizador personalizado es el medidor LCR/Impedancia de cristal. Este instrumento se configuró para proporcionar una solución total a las pruebas de caracterización de cristales de cuarzo, tanto en el diseño como en las pruebas de producción. Basado en la incipiente arquitectura de los medidores de impedancia, el software, el hardware, y los accesorios están adaptados para determinar 9 parámetros del cristal como son: la frecuencia de resonancia, el parámetro Q, y otros datos necesarios con relación al rendimiento.

Equipo de pruebas es un nombre genérico asignado a las múltiples combinaciones de instrumentos de prueba que llevan a cabo las pruebas de sistemas especializadas. Se han diseñado para sistemas de microondas y RF, desde transmisores móviles de FM a aplicaciones de radar. Un ejemplo de equipo de pruebas típico sería un Sistema de Pruebas móvil celular en modo dual, que estaría destinado a la instalación y el mantenimiento de transmisores celulares. En este caso el equipo de pruebas contendría un generador de señales, para producir señales precisas y ajustables del formato del sistema con niveles de potencia y modulación nominales para probar la parte del receptor. También combina funciones de análisis de espectros para probar el rendimiento espectral, de potencia y modulación de la parte del transmisor.

6.4 Desarrollo de servicios a prestar a consumidores finales

Como ya hemos comentado, la nueva ley de las telecomunicaciones por cable contempla las redes de CATV como una infraestructura apta para la integración de diversos servicios y como vía de acceso a las autopistas de la información.

Por ello se prevé que en los próximos años las redes de televisión por cable, ya con un marco legal, dejen de ser simples difusoras de televisión y pasen a ser proveedores de servicios de telecomunicación integrados.

La mayor parte los servicios requerirán redes bidireccionales. Estos servicios se pueden agrupar en tres categorías:

Servicios interactivos: PPV (pago por visión), NVOD (vídeo casi bajo demanda), telecompra, etc.

Servicios de telefonía: servicio telefónico básico, RDSI, etc.

Datos a alta velocidad: interconexión de redes de ordenadores en una misma ciudad, acceso a Internet, etc.

6.4.1 Servicios interactivos

Están muy relacionados con la televisión y, puesto que envían muy poca cantidad de información, requieren una bidireccionalidad sencilla y de baja capacidad. Suelen utilizar un aparato descodificador o *Set Top Box* (STB) que se coloca entre la toma de cable y el televisor. Veamos algunos de estos servicios:

PPV (pago por visión): Previo pago de una cuota los programas que deseemos ver serán descodificados en el *Set Top Box*. Para cobrar la cuota hay varios métodos. El más simple consiste en avisar por teléfono al operador y darle el número de abonado. Otro sistema más avanzado es el de incorporar al STB un lector de tarjetas. Por último el mejor método es el de hacer la selección mediante el mando a distancia y enviar la información a la cabecera por el canal ascendente.

NVOD (vídeo casi bajo demanda): Podremos elegir en qué momento queremos ver una película que se retransmite cada cierto tiempo. Por supuesto previo pago de una cuota.

VOD (vídeo bajo demanda): Con este servicio se consigue una programación realmente personalizada. Cada usuario puede elegir en cualquier instante qué programa desea ver dentro del menú ofrecido por el operador. Dado el elevado número de abonados que puede tener una red de CATV ofrecer una programación personalizada a cada uno de ellos requiere una importante inversión, por ello se prevé que este servicio tardará en implantarse.

6.4.2 Servicios de telefonía

Pueden ofrecerse servicios de telefonía tradicional, RDSI e incluso transporte de tráfico de telefonía móvil.

El servicio telefónico es uno de los más atractivos para los operadores, el inconveniente es que estos sistemas son complejos y caros de instalar y mantener ya que para ofrecer este servicio es aconsejable disponer de alimentación remota. Además al ser un servicio en tiempo real es necesario un pequeño fragmento de ancho de banda asignado de forma permanente mientras dure la comunicación.

6.4.3 Datos a alta velocidad

Por medio de los módems de cable se pueden transmitir datos a alta velocidad por las redes de televisión por cable, alcanzándose velocidades del orden de Mbps. Entre los servicios de datos a alta velocidad que se pueden ofrecer a través de las redes de televisión por cable destacamos los siguientes:

Teletrabajo: Este servicio permite trabajar desde cualquier lugar siempre que tengamos acceso a la red de cable a la que estamos abonados.

Videoconferencias: Este servicio permitirá realizar reuniones sin movernos de casa, lo cual puede ser muy útil en la empresa, en la teleeducación, etc.

Los sistemas de videoconferencia modernos utilizan compresión de datos para poder tener conexiones bidireccionales con interactividad total en el menor ancho de banda posible. Los operadores de cable proporcionan mejor calidad de vídeo que la RDSI puesto que trabajan con velocidades superiores.

Teleservicios: Teleservicios de todo tipo, principalmente los de carácter doméstico como telecompra, telebanco, distribución de audio, etc.

Telemedicina: Con este servicio se podrán compartir historiales clínicos entre distintos centros sanitarios y consultas privadas, diagnóstico remoto, etc.

Enlaces dedicados: Hasta ahora para unir dos puntos alejados en una misma ciudad se debía alquilar una línea de datos lo cual resultaba muy caro. Las redes de CATV permiten hacer esto de una manera mucho más económica.

Acceso a Internet: Por las características de ancho de banda compartido, las redes de CATV pueden dar el acceso más rápido y al mejor precio.

6.5 Posibilidades de crecimiento y mejoras de velocidad

Con la introducción de la fibra óptica en la red abonada, se podrán aprovechar las grandes ventajas que la fibra óptica presenta como lo es su gran ancho de banda, poca atenuación, pocas interferencias electromagnéticas etc. para implementar nuevos servicios al usuario, como lo son servicios de videoconferencias, transmisión de video, es decir sistemas interactivos y distributivos, servicios de TV y radio a través de la fibra óptica, además servicio convencional de telefonía, servicios de ISDN de banda ancha.

Todos estos servicios harán de las telecomunicaciones dar un paso hacia el futuro y presentar al usuario mucho más opciones, opciones claro está que tendrán un costo, y tal vez un costo elevado al inicio comparando con el servicio tradicional de telefonía; sin embargo, acorde a los servicios que se prestarán.

Entre las diversas ventajas que se tendrá con respecto a las vías de transmisión de cobre que prestan los actuales servicios, se destaca principalmente, el gran ancho de banda de transmisión de las fibras ópticas, que en el área de redes urbanas, permite ofrecer nuevos servicios de videoconferencias, videoteléfono, sin necesidad de realizar una nueva red, una multitud de programas de televisión comunicación entre bancos, negocios, así como también con cada abonado residencial.

La introducción de los servicios de banda ancha es hoy en día una realidad, este concepto ha crecido lo suficiente para ya no seguir siendo una utopía. Para la implementación de los distintos servicios a la red de abonada, se deberán tener en cuenta varios factores como los son: la disponibilidad de equipos adecuados para la implementación de los servicios.

El objetivo principal de la aplicación de la fibra óptica en el abonado es abrir las puertas para el desarrollo masivo de la aplicación de la fibra óptica en la red y solucionar la falta de servicios esenciales de telefonía, así como crear una infraestructura de red hacia el futuro con los usuarios orientados hacia la evolución de la red.

A través de la fibra óptica se utilizarán equipos terminales ópticos llegando tan cerca como es posible al abonado a través de las unidades de distribución óptica ONU, además se reducirá así el gran número de repetidores convencionales que se tendrían que usar con transmisiones convencionales por medio de cable coaxiales.

Inicialmente se utiliza el concepto fibra/coaxial que es el primer paso para la implementación de la fibra óptica en la red de abonado, así prestar estos servicios de CATV, utilizando la fibra óptica. Dependiendo de los parámetros de la red, como lo son la infraestructura existente, la expansión de servicios planeada, cualquiera de estos tipos de estructura de red antes mencionados podrán ser instalados, y puesto que los equipos terminales son del tipo modular, se podrán utilizar en cualquier momento los mismos equipos para pasar de una red óptica pasiva a una red óptica activa con el hardware necesario para la transmisión de CATV, con lo cual las fibras ópticas estarán llegando tan cerca como sea posible al abonado y así crear una red con una gran versatilidad en cuanto a la prestación de todos los servicios que requiera el abonado, y esto se logrará solo a través del uso de la fibra óptica.

Con una red óptica hasta el abonado se creará una infraestructura para servicios futuros de telecomunicaciones y se podrá responder rápida y flexiblemente las necesidades del usuario, este sistema digital de transmisión utiliza las características principales de la fibra óptica, para prestar servicios de telefonía, transmisión de datos, todos los servicios de ISDN en banda ancha y video telefonía. Se necesita de una central digital para prestar los servicios de telefonía, así como una estación de recepción para programas de TV y radio.

En los extremos de la red óptica activa se llevaran a cabo las conversaciones optoelectricas, en el lado de la central digital a traves de los terminales de linea ópticos OLT que convertiran las senales electricas en senales opticas para ser enviadas a traves de fibra óptica hasta el area del abonado. En el lado del abonado se utilizaran terminales de distribución óptica ODT y unidades de red óptica ONU que volveran a convertir las señales opticas en electricas y asi distribuir las hasta los equipos locales de los abonados.

6.6 Desventajas del sistema

Uno de los principales factores de deterioro de la señal es la interferencia provocada por frecuencias extrañas a travez de malas conexiones o danos físicos al cable, incluyendo cortes y tensados muy apretados, el medio más eficaz de control de interferencia es la comparación de niveles de canales de cable, con canales locales.

Diferencias entre 30 y 35 dB aun indican buena calidad de señal, con la posibilidad de interferencia esporadica. Menos de 20 dB de diferencia genera casi destrucción completa de la senal, al detectar diferencias de menos de 30 dB es recomendable localizar la falla lo mas pronto posible, la tendencia de origen de este tipo de fallas es cerca de la entrada del amplificador, una unión o un ecualizador localizados a menos de 100 metros.

6.6.1 Ruido por efecto antena

La red de distribución de coaxial constituye una gran antena que puede recoger señales indeseadas en toda el área a la que sirve. La mayor parte de estas interferencias (95%) penetra en la red en los hogares de los abonados (70%) y a través del sistema de acometida (25%), siendo por tanto las instalaciones en los edificios uno de los puntos críticos en la construcción de la red. De hecho, el ruido emana de cada uno de los hogares de la red, y debido al efecto embudo el ruido generado en cualquier punto afecta a todos los abonados. Una forma de determinar los puntos por los que penetran las interferencias es encontrar los puntos de fuga de la red. Pero este método no siempre es válido, puesto que puntos que presentan fugas despreciables a las frecuencias del canal descendente pueden ser unas perfectas mini antenas receptoras a las frecuencias del canal de retorno. Las señales indeseadas pueden dividirse en dos grandes bloques: las interferencias de banda estrecha, y el ruido impulsivo y a ráfagas.

6.6.1.1. Interferencias de banda estrecha (*ingress*).

Las interferencias de banda estrecha penetran en el sistema de cable debido a las propiedades de éste como potencial antena. Por lo tanto, el ruido procedente de transmisiones de radio, junto con ruido ambiental de radio frecuencia, es amplificado

y transmitido junto con la señal digital útil. Cualquier señal que exista en el espectro de RF en la banda de 5 a 55MHz. es candidato a penetrar en la red. Estamos hablando, por ejemplo, de emisoras internacionales de onda corta; emisoras de Banda Ciudadana (CB) y radioaficionados (HAM); señales provenientes de televisores mal apantallados; ruido de RF generado en ordenadores; interferencias eléctricas de tubos de neón, motores eléctricos, sistema de encendido de vehículos, secadores de pelo; interferencias generadas en líneas eléctricas; etc.

Un elevado número de fuentes de banda estrecha tales como estaciones de radio de AM pueden identificarse claramente sobre una gráfica de la banda de retorno registrada mediante un analizador de espectro, en ausencia de señales de usuario.

6.6.1.2. Ruido impulsivo

El ruido impulsivo tiene su origen en varias fuentes: descargas por efecto corona en redes de suministro eléctrico, a menudo localizadas en los mismos postes o conductos que el cable de la red de CATV; descargas entre contactos de conectores oxidados; Sistema de encendido de automóviles; y aparatos domésticos tales como motores eléctricos.

Consiste en estrechos picos de señal de amplitud generalmente grande, que afectan a todo el espectro del canal de retorno. Su densidad espectral de potencia disminuye con la frecuencia, por lo que su efecto en el canal descendente es considerablemente menor, su origen puede ser externo o interno, siendo este último tipo de ruido impulsivo el que más afecta a las prestaciones del canal de retorno.

El ruido impulsivo provoca aumentos momentáneos muy fuertes del nivel de entrada (señal + ruido) en amplificadores y en el láser de retorno. La saturación de estos dispositivos hace que entren en las zonas no lineales de sus características entrada-salida, lo que a su vez provoca la aparición de productos de intermodulación de segundo y tercer orden (CSO y CTB, respectivamente). Los amplificadores modernos están diseñados de manera que prácticamente se cancelen los CSO para niveles normales de entrada, siendo los CTB los productos de intermodulación que limitan las prestaciones del sistema en caso de sobrecarga de los amplificadores.

En el caso del láser de retorno, un aumento incontrolado del nivel de entrada al driver hace que los picos de la señal entren en la zona negativa de la característica entrada-salida, en la que el láser no presenta respuesta (sencillamente se apaga). Este fenómeno se conoce como laser clipping y, junto con las no-linealidades en amplificadores.

El ruido impulsivo se modela como un tren periódico aleatorio de impulsos filtrados, caracterizado mediante los parámetros:

A_{imp} : amplitud de los impulsos

p_{imp} : período de los impulsos

d_{imp} : retardo del primer impulso

La forma del pulso del ruido impulsivo se representa mediante un filtro, $h_{imp}(t)$. Se modela como un pulso estrecho rectangular de anchura T_{imp} . Típicamente, esta anchura es de unos 100 ns. , Y el período de repetición, de unos 20 μ s. Un modelo más complejo de ruido impulsivo aleatorizaría la amplitud y el período.

6.6.1.3. Ruido a ráfagas

El ruido a ráfagas (*burst*) es semejante al ruido impulsivo, pero con una mayor duración de cada suceso. El ruido a ráfagas se modela como ruido blanco gaussiano aditivo, filtrado y muestreado.

6.6.2 Ruido térmico

El ruido térmico nace en los componentes circuitales del sistema de cable y se modela simplemente como ruido blanco aditivo gaussiano, de media cero, y densidad espectral, para una resistencia de valor $R(f) = R_s @ \text{cte}$ a una temperatura $T_s(K)$.

En sistemas de CATV, como referencia para determinar la relación señal a ruido, se toma el nivel de la portadora de vídeo en el caso de canales analógicos de TV en el canal descendente. Se trabaja, por tanto, con la relación portadora a ruido (CNR). En el canal de retorno, la CNR expresa la relación entre el nivel de la portadora digital de datos y el nivel de la base de ruido térmico.

6.6.3 Microreflexiones

Las microreflexiones se generan en las discontinuidades existentes a lo largo de la red de cable (conectores, empalmes, derivadores, amplificadores, e incluso imperfecciones o daños en el propio cable coaxial), que producen reflexiones de parte de la energía de la señal, debido pequeños errores de desadaptación de impedancias. El nivel de estas reflexiones viene determinado por la magnitud de las pérdidas de retorno en cada discontinuidad. Cuanto mayores sean, mejor. Un par de discontinuidades con pérdidas de retorno bajas y separadas por una longitud de cable lo suficientemente grande pueden provocar la aparición de ecos con retardos y niveles suficientes como para interferir apreciablemente con la señal directa.

Las formas de onda correspondientes a modulaciones del tipo BPSK y QPSK toleran estas microreflexiones a velocidades inferiores a 1-2 megasímbolos por segundo. Modulaciones más complejas como la modulación QAM son menos robustas y pueden requerir ecualización.

6.6.4 Zumbido

El zumbido es una modulación de amplitud producida cuando la corriente alterna se acopla a través de las fuentes de alimentación de los equipos en la envolvente de la señal. Afecta sobretodo a los sistemas con modulación QAM, que deben eliminar el zumbido; prácticamente no afecta a la modulación QPSK. El modelo viene representado por la expresión:

$$y(t) = x(t) (1 + A m(t)),$$

Donde $m(t)$ es la forma de onda del zumbido, que suele modelarse como una señal triangular de 50 Hz. (Y armónicos) con amplitud de pico A (típicamente 5%). En el dominio frecuencial, junto a la portadora útil, y separadas 50 Hz. ó sus armónicos de manera simétrica, aparecen dos señales indeseadas de zumbido, fácilmente identificables.

6.6.5 Distorsión de camino común

Efectos rectificadores no previstos en el sistema de cable, causados por conectores oxidados, por ejemplo, producen distorsiones de camino común. Las señales descendentes son demoduladas por estas uniones y reflejadas en el canal de retorno. Este interesante fenómeno ocurre cuando aparece un efecto diodo indeseado en el medio de transmisión de las señales. Por ejemplo, si utilizamos conectores tipo “feed-through” junto con coaxial con conductor central de aluminio cobreado, cada conector se convierte en un potencial diodo.

Veamos cómo: si un tornillo de latón de fijación en una derivación o en un amplificador penetra, a través de la capa de cobre, en el conductor central del cable, el latón y el aluminio entrarán en contacto físicamente. Esta unión de metales diferentes puede producir una corrosión galvánica, que crearía una fina capa de óxido entre ambos. Esto constituye un diodo. Las señales descendentes que pasen a través de estos “diodos” producirán señales armónicas de segundo y tercer orden, espaciadas 8 MHz. aproximadamente (sistema PAL, 6 MHz. en NTSC), que se propagarán por el canal ascendente. Por este motivo, es recomendable el uso de conectores tipo “pin”.

El modelo de la distorsión de camino común es similar al modelo para el ruido por efecto antena (*ingress*): un filtro FIR excitado por ruido blanco gaussiano. El filtro, $h_{cc}(t)$, se diseña para conformar el ruido blanco en picos, de acuerdo con datos obtenidos de redes reales. El resultado es una secuencia de señales de modulación gaussiana separadas 6 MHz. (Serían 8 en Europa; 6 en USA), correspondientes a diferentes frecuencias entre canales de TV del canal descendente y/o señales de datos.

6.6.6 No-linealidades

Las no-linealidades en amplificadores, en el transmisor láser en el nodo óptico (considerado como el efecto dominante), y en el receptor láser en la cabecera, limitan el rango dinámico útil del canal. En presencia de fuerte ruido por efecto antena o ruido impulsivo o a ráfagas, o bien cuando los usuarios no respetan las restricciones de nivel de potencia, aparecen armónicos y productos de intermodulación originados por compresión de la señal en estas no-linealidades.

Los productos espúreos resultantes se suman a la base de ruido y pueden situarse en cualquier lugar del espectro, incluso por encima de otros servicios que comparten el

canal de retorno. Por esta razón, uno de los criterios de evaluación para el diseño del protocolo del canal de retorno es la minimización de colisiones causadas por muchos usuarios transmitiendo simultáneamente, que pueden saturar el láser del canal de retorno.

6.6.7 Ruido de fase y desplazamiento de frecuencia

El ruido de fase y el desplazamiento en frecuencia se producen en multiplexores de frecuencia encontrados en el canal de retorno de algunos sistemas. El ruido de fase también se puede producir en las cavidades de los láseres, pero a un nivel menos significativo, y en los osciladores de los módems de abonado y de cabecera, aunque estos dispositivos no son estrictamente una parte del modelo de canal, ya que se encuentran en los equipos terminales.

El ruido de fase se modela como un ruido gaussiano, integrado y filtrado, que modula la fase de la portadora. $hf(t)$ es la respuesta del filtro pasabajo conformador del ruido, que puede tener en cuenta la dependencia del ruido de fase con la frecuencia. Incluye ganancia en continua y frecuencias de corte. D_f es el desplazamiento (offset) de frecuencia; y f es un desplazamiento constante de fase.

CONCLUSIONES

1. El sistema HFC ha sido propuesto como un medio para el cual los operadores de CATV puedan mejorar los sistemas existentes logrando mayores capacidades de canales sin tener que remplazar la planta coaxial existente. La inclusión de fibra óptica reduce las cascadas de amplificadores en las líneas troncales, lograndose de esta forma, reducir la contribución del ruido de RF y también bajar los costos de mantenimiento al ver disminuido el número de amplificadores.
2. El modelo de canal de retorno puede utilizarse para evaluar las prestaciones de un determinado equipo de comunicaciones para redes HFC, sin necesidad de probarlo en una red real. Gracias a la elaboración de este modelo pueden crearse herramientas de simulación que permitan reproducir en laboratorio las condiciones a que se verían sometidas las señales ascendentes en una red HFC. Si se consigue un modelo fiable se podría determinar si una red concreta cumple unos ciertos requisitos de calidad, dada una serie de parámetros que la definirían. El estudio exhaustivo y la modelización rigurosa de los parámetros fundamentales que definen las prestaciones del enlace digital ascendente en una red HFC puede facilitar enormemente la elección de las técnicas de transmisión más apropiadas para el canal de retorno.
3. La arquitectura de red HFC posee una serie de cualidades que la hacen muy atractiva, tanto a los operadores de cable como a las empresas de telecomunicaciones, para ofertar servicios de banda ancha a los abonados, estos están utilizando de manera masiva los servicios que proporciona Internet. Con la creciente demanda de servicios de alta velocidad, los operadores de cable se encuentran en una posición óptima para generar ingresos a partir de la presentación de estos a través de unas redes que optimizan la relación entre penetración de la fibra óptica y los costos de implementación del sistema. Para ello es necesario diseñar un sistema de módem de cable de bajo costo, sencillo de instalar y fácil de usar por los abonados, estableciéndose así una sólida base para un crecimiento futuro del servicio.

4. Como se pueden observar las posibilidades, servicios, aplicaciones y mercados son infinitos y es lo que hace que a esta tecnología le estén prestando mucha atención todos los agentes del gran mercado de las telecomunicaciones. Sin embargo, los organismos competentes se han demorado un poco en la creación de estándares abiertos que permitan a ésta plataforma desarrollarse plenamente, lo que ha creado cierta anarquía de conceptos y diseños en los equipos implementados por los fabricantes. Es imperativo y necesario, la creación de un estándar, que solucione en gran medida estos problemas.

RECOMENDACIONES

1. El tamaño de los nodos ópticos es fundamental y no debe pasar de 500 hogares, debido a que de esta manera se reducen el número de elementos en serie (cascadas de amplificadores en la red de distribución de coaxial).
2. La red de fibra óptica es mucho más segura y fiable que la de coaxial, ya que esta última tiene problemas con filtraciones de agua, deterioro de empalmes y conectores.
3. Una red HFC de nueva construcción es mucho más fiable que una red antigua de CATV mejorada para la prestación de servicios bidireccionales de telecomunicación.
4. La red óptica troncal, es conveniente introducir una cierta redundancia, tanto en los equipos de comunicaciones (transmisores y receptores ópticos en la cabecera y los nodos), como en la propia red (arquitectura con anillos redundantes).
5. Para el mantenimiento de una red, es indispensable un equipo que realice barridos de frecuencias, decibelímetros que manejen retorno y un analizador de espectro.
6. Se debe aterrizar todos los amplificadores troncales, e instalar varillas de tierra al lado de todos los postes de la red principal y distribución.

BIBLIOGRAFIA

1. AZZAM, Albert. **High-speed cable módems**. Nueva York, Estados Unidos: McGraw Hill, 1997.
2. CICIORA, Walter y otros. **Modern cable television technology video, voice and data communications**. San Francisco, California: Morgan Kaufmann Publishers, 1999.
3. GROB, Bernard. **Televisión práctica y sistemas de video**. Mexico, D.F.: Alfaomega 1992.
4. Instituto de ingenieros en electricidad y electronica, IEEE. **Grupos de trabajo IEEE 802**. <http://standards.ieee.org/getieee802/portfolio.html>
5. **Redes LAN**. www.cybercursos.net. 21 de marzo de 2002
6. RASKIN, Donald y Dean Stoneback. **Broadband return system for Hybrid fiber/coax cable TV networks**. Nueva Jersey, Estados Unidos: Prantice Hall, 1,998.

APÈNDICE

Tabla I. Espectro de canales

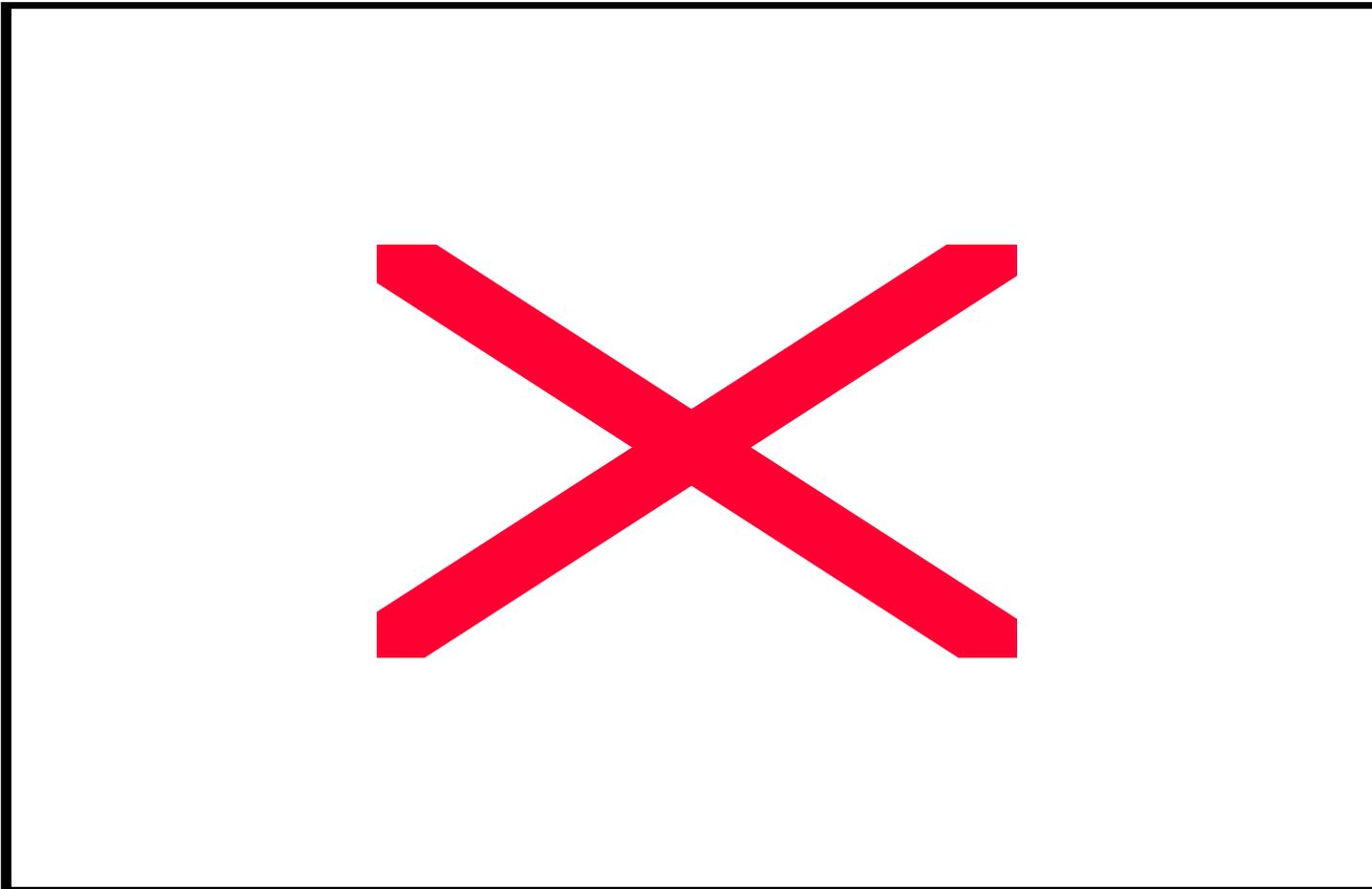


Tabla II. Simbología de Componentes de CATV

