



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

COMUNICACIONES

**"REDES HÍBRIDAS DE FIBRA ÓPTICA
Y CABLE COAXIAL"**

**TRABAJO DE SEMINARIO
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
PRESENTA
MAURICIO GUIMOND VARELA**

ASESOR: ING. JORGE RAMÍREZ RODRÍGUEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2002

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario

"Comunicaciones, Redes híbridas de fibra óptica y cable coaxial"

que presenta el pasante: Mauricio Guimond Varela

con número de cuenta: 9057188-6 para obtener el título de

Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 07 de octubre de 2002

MODULO

PROFESOR

FIRMA

I	Ing. Rodolfo López González	
II	Ing. Jorge Ramírez Rodríguez	
IV	Ing. Juan González Vega	

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. REDES ÓPTICAS	2
2.1. CONECTORES Y REDES ÓPTICAS	5
2.2. ACOPLADORES	6
2.3. MULTIPLEXOR POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA	7
2.3.1. <i>Interferencias</i>	7
2.3.2. <i>Separación de Canales</i>	7
2.4. CONMUTADOR ÓPTICO	8
3. REDES DE ACCESO HÍBRIDAS DE FIBRA ÓPTICA Y CABLE COAXIAL	10
3.1. SIMILITUDES ENTRE LA FIBRA ÓPTICA Y EL CABLE COAXIAL	10
3.1.1. <i>La modulación en amplitud RF</i>	11
3.1.2. <i>Transmisión analógica y digital</i>	12
3.2. DIFERENCIAS ENTRE LA FIBRA ÓPTICA Y EL CABLE COAXIAL	13
3.2.1. <i>La distribución</i>	13
3.2.2. <i>La capacidad de transporte</i>	14
3.3. LA CABECERA	15
3.4. LA RED TRONCAL	15
3.5. LA RED DE DISTRIBUCIÓN	16
3.6. LA RED DE USUARIOS	16
3.7. ARQUITECTURA DEL SISTEMA HFC	18
3.7.1. <i>Protocolo de Control de Acceso al Medio (MAC)</i>	19
3.7.2. <i>El canal de Retorno</i>	26
4. CABLEMÓDEMS	28
5. APLICACIONES DEL SISTEMA HFC	35
5.1. INTERNET DE ALTA VELOCIDAD	36
5.2. TELEFONÍA EN REDES HÍBRIDAS	41
5.2.1. <i>Tarifación</i>	42
5.2.2. <i>Soluciones para la Telefonía por Cable</i>	42
5.2.3. <i>Fiabilidad</i>	45
5.2.4. <i>Alimentación</i>	47
5.2.4.1. <i>Alimentación Distribuida</i>	47
5.2.4.2. <i>Alimentación Centralizada</i>	49
6. NORMALIZACIÓN	53
6.1. ORGANISMOS DE ESTANDARIZACIÓN	53
6.2. IEEE 802.14	55
7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA RED HFC	56
8. COMPONENTES DE UNA RED HFC	58
8.1. CABLES DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO:	58
8.1.1. <i>Cable de tubo holgado</i>	59
8.1.2. <i>Cable con amortiguamiento ajustado</i>	61

8.1.3.	<i>Cable con amortiguamiento separado</i>	62
8.2.	EQUIPO DE TERMINACIÓN DE FIBRA ÓPTICA.....	63
8.2.1.	<i>Paneles de almacenamiento y distribución</i>	63
8.3.	ACCESORIOS Y CONECTORES PARA FIBRA MONOMODO.....	64
8.4.	EQUIPO DE TRANSMISIÓN POR FIBRA ÓPTICA.....	64
8.4.1.	<i>Transmisores de un canal</i>	64
8.4.2.	<i>Transmisores Multicanal</i>	65
8.4.3.	<i>Receptores Multicanal</i>	67
8.5.	ALARMA DE FALLA Y TELEMETRÍA.....	68
8.6.	CABLE COAXIAL Y EQUIPO.....	69
8.6.1.	<i>Cable coaxial para planta externa</i>	69
8.6.2.	<i>Cable coaxial para planta interior</i>	71
8.7.	OTROS COMPONENTES.....	71
8.7.1.	<i>Amplificadores de banda ancha</i>	71
8.7.2.	<i>Componentes Pasivos</i>	72
8.7.3.	<i>Derivadores</i>	72
8.7.4.	<i>Conectores para cable coaxial</i>	73
8.7.5.	<i>Fuentes de poder para cables coaxiales</i>	73
8.7.6.	<i>Equipo de acceso HFC</i>	73
8.7.6.1.	Moduladores RF.....	73
8.7.6.2.	Demoduladores RF.....	74
8.7.6.3.	Equipo de switcheo matricial.....	74
	CONCLUSIONES	76
	TÉRMINOS Y DEFINICIONES	77
	LISTA DE ACRÓNIMOS	82
	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	83

1. Introducción

Los avances tecnológicos de hoy en día nos llevan a considerar a las redes Híbridas de Fibra óptica y cable coaxial (HFC) como las redes que en un futuro no muy lejano harán llegar a todos los hogares de la mayoría de las poblaciones de grande y mediano tamaño una amplia gama de servicios y aplicaciones como pueden ser videojuegos interactivos, videoconferencia, telecompras, telebanco, etc., y los que a la larga serán los productos más demandados de las redes de cable como son el acceso a Internet a alta velocidad y la telefonía.

Las redes de cable deben presentar una arquitectura que sea independiente de los servicios, soporte de flujos interactivos multimedia de elevados anchos de banda, la red del usuario debe permitir todo tipo de servicio, deben tener la capacidad de interconectarse con otras redes y servicios y debe basarse en los elementos con que cuenta actualmente la red de TV por cable.

La tecnología híbridas de fibra óptica y cable coaxial (HFC) surge con el propósito de proporcionar servicios de datos de alta velocidad para el hogar. Los operadores de cable de todo el mundo están desplegando redes HFC que le permiten al suscriptor tener acceso a la red mundial, correo electrónico o cualquier servicio que requiera velocidades que ronden los 10 Mbps.

Así como las redes de cable que han sido desarrolladas principalmente para la emisión de la televisión analógica comienzan a soportar los servicios de envío de información digital sobre demanda, de la misma manera se han presentado nuevos retos que necesitan ser atacados.

Uno de los retos clave es el de monitorear de manera efectiva la red de cable con el propósito de detectar y corregir proactivamente los problemas en la red antes de que los suscriptores se den cuenta de ellos.

2. Redes Ópticas

El uso de la luz para la transmisión de la información está muy lejos de ser una nueva idea. La linterna de Paul Revere fue usada para señalar el acercamiento de los británicos. Y fue el experimento de Alexandre Graham Bell de hace un siglo que condujo al desarrollo del fonógrafo, un aparato que transportaba diálogos de un punto a otro por medio de espejos vibratorios y un rayo de luz solar.

Aunque no hubo éxito comercial, demostró que era viable las comunicaciones por medio de las ondas de luz. Sin embargo la técnica fue hecha a un lado y virtualmente olvidada por casi 100 años.

Probablemente hubiese permanecido en el limbo si no hubiera sido por la aparición del láser. Descrito de una manera breve, el láser es un dispositivo que produce un único tipo de radiación; una luz muy intensa que puede ser enfocada en un rayo muy angosto de una longitud de onda muy específica. La gran cantidad de energía del rayo láser se deriva de lo que se denomina luz coherente.

La luz que se emite desde una vela o un bulbo incandescente es llamada luz incoherente. Está hecha de muchas diferentes y cortas longitudes de onda (colores) que juntas aparecen como blanco las cuales son emitidas en pequeñas ráfagas de energía en diferentes momentos y direcciones. Estas ondas de luz incoherente interfieren unas con otras, por lo tanto su energía está debilitada, distorsionada, y difusa.

El láser, por otro lado emite ondas de luz de la misma longitud de onda, están en fase, y pueden ser focalizadas en la misma dirección por largas distancias sin casi ninguna pérdida de energía o dispersión.

Los láseres proporcionan radiación en frecuencias ópticas e infrarrojas. Con los láseres (y electrónica asociada) puede ser posible desempeñar con frecuencias ópticas las funciones electrónicas que los ingenieros estaban acostumbrados a desempeñar con frecuencias de radio y microondas convencionales. Por lo tanto los láseres proporcionan la habilidad de canalizar señales con muy alta información a lo largo de un camino extremadamente estrecho.

La fibra óptica es una tecnología relativamente nueva que usa los rayos de luz para enviar información a través de una fina hebra a grandes velocidades. Estas fibra son usadas como una alternativa al alambre de cobre convencional en una variedad de aplicaciones como aquellas asociadas a la seguridad, telecomunicaciones, instrumentación y control así como emisión de sistemas audiovisuales.

Hoy en día la habilidad de transmitir grandes cantidades de información a través de fibras ópticas de gran pureza a la velocidad de la luz ha evolucionado las comunicaciones.

La gran capacidad de transporte de señales de la fibra óptica hace posible proveer no sólo algunas si no muchas más señales sofisticadas de lo que pudiera ser manejadas por una cantidad equiparable de alambre de cobre.

La comunicación se trata de transmisión, y la gente se está comunicado desde hace mucho tiempo. Por ejemplo las señales de humo por la presencia o ausencia de fuego comunicaba información en el pasado. La información también fue transmitida en la antigüedad por dispositivos emisores de luz. En ambos ejemplos, sin embargo la comunicación dependía de la habilidad de las partes involucradas para verse unas a otras; una nube en medio impediría una transmisión efectiva de la información.

Por lo tanto, las personas debían liberarse de estos impedimentos y enviar señales por medio de un cable ofrecía una solución. El cable permitía a la señal viajar grandes distancias sin perder su fuerza.

Para entender porque el mundo ha cambiado a la transmisión óptica requiere una explicación del cambio del metal al vidrio. La luz que viaja en una fibra de vidrio es inmune a las interferencias eléctricas además de que no irradia nada porque la totalidad de la señal permanece contenida en el cable de la misma manera que en una fibra es menos voluminosa que los cables metálicos y la señal viaja grandes distancias.

Con los avances de la tecnología, el costo ha venido disminuyendo, una gran cantidad de información puede ser transmitida en una sola fibra. Enviar más información en un alambre metálico significa mandarlo a una distancia más corta, la fibra, sin embargo, parece tener una capacidad infinita.

Una fibra es un tubo de vidrio, tan delgado como un cabello. Está hecho de dos tipos de vidrio: el tubo interno que es muy pequeño y mantiene el flujo de la luz, y recubrimiento externo que evita que la luz escape de la fibra interna. Hoy en día contamos con una variedad de fibra óptica optimizada para diferentes tasas y distancias de transmisión.

Una señal tiene dos componentes. La primera es la información a ser enviada, que es representada por un 1 y un 0. El segundo es la señal óptica que viaja en la fibra. Vale la pena distinguir que todas las funciones de los elementos de la red existen en la capa síncrona así como en la capa óptica.

El principio es el mismo; los elementos en cada capa tan sólo procesan diferentes cosas. Por ejemplo, la capa síncrona maneja los 1 y 0 (la señal transmitida ópticamente entre los puntos es traducida a impulsos eléctricos para ser procesada en el nodo).

¿Como se relacionan la luz con los 1 y los 0? La información a ser enviada está en la forma de señales eléctricas o una serie de voltajes eléctricos representados por 1 y 0. Los 1 y 0 son traducidos en impulsos de luz por un láser. Después de que un código es establecido se puede dar la comunicación. Al otro lado del enlace se necesita de un dispositivo que detecte los impulsos de luz y los traduzca en señales eléctricas que es la función del fotodiodo.

El medio de la transmisión es como un camino; es capaz de ir en dos direcciones. La mayoría de los circuitos de comunicación son bidireccionales, lo que significa que pueden transmitir y recibir excepto tal vez cuando se trata de aplicaciones de distribución de vídeo.

2.1. Conectores Y Redes Ópticas

Un conector es un dispositivo que divide la luz de una fibra en varias fibras o, por el contrario, unirá la luz de varias fibras en una sola.

Las áreas importantes de aplicación para los conectores son en las redes, especialmente las redes de área local (LAN), y en el multiplexaje por división de onda (WDM.).

Las redes se componen de un medio de transmisión que conecta varios nodos o estaciones. Cada nodo es un punto en el cual el equipo electrónico es conectado en la red. La red incluye un arreglo complejo de software y hardware que asegura la compatibilidad no sólo de las señales sino también de la información. Lo más importante en una red es su topología lógica. La topología lógica define el arreglo lógico y físico de la misma. Las topologías lógicas más comunes son las estructuras punto a punto, estrella, anillo o bus.

La topologías punto a punto son como unen las instalaciones de hoy en día. Dos nodos requieren comunicación directa son directamente enlazadas por la fibras, normalmente un par de fibras (una para transmitir y otra para recibir). Las aplicaciones más comunes de la topología punto a punto incluyen: extensiones de canales de computadoras, multiplexaje de terminales y transmisión de vídeo.

Una extensión de la topología punto a punto que la topología en estrella. Esta es una colección de varias conexiones punto a punto, todas con un nodo común que está en control del sistema de comunicaciones. Las aplicaciones más comunes incluyen: switches, como pueden ser un PBX y computadoras centrales.

La estructura de anillo tiene cada nodo conectado en serie con cualquier nodo que esté a su lado. Los mensajes fluyen de nodo en nodo en una sola dirección alrededor del anillo. Ejemplos de topología en anillo son: FDDI y Token Ring de IBM.

Para incrementar la sobrevivencia del anillo en caso de la falla de un nodo se utiliza un anillo en contraflujo . Un nodo es donde dos anillos están transmitiendo en direcciones opuestas, lo cual requiere dos pares de fibras por nodo en donde uno es utilizado en un anillo simple. La FDDI utiliza la topología de anillos en contraflujo.

La estructura de topología bus está soportada por los estándares emergentes, especialmente IEEE 802.3. Todos los nodos comparten una línea común. La transmisión se lleva a cabo en ambas direcciones en la línea común en vez de en una dirección como en la topología de anillo. Cuando un nodo transmite, todos los otros nodos reciben la transmisión aproximadamente al mismo tiempo. El más popular de los sistemas que requiere una topología de bus es el Ethernet, y MAP (protocolo de automatización de manufactura).

2.2. Acopladores

Un acoplador es un dispositivo óptico que combina las señales que viajan en las fibras ópticas. Un puerto es una entrada o un punto de salida para la luz; un acoplador es un dispositivo multipuerto.

Un acoplador es pasivo y bidireccional. Ya que un acoplador no es un dispositivo perfecto, éste puede tener bastantes pérdidas. Estas pérdidas entre las fibras son internas del acoplador y ocurren por absorción, reflexión, desalineamiento y un aislamiento pobre. Este exceso de pérdidas no incluye las pérdidas de las fibras al conectarse a los puertos. Más aún, ya que la mayoría de los acopladores contienen una fibra óptica en cada puerto, pérdidas adicionales pueden ocurrir debido a las diferencias de diámetro entre el puerto de acoplamiento y la fibra conectada.

2.3. Multiplexor Por División De Longitud De Onda

El multiplexaje es el método de mandar muchas señales en una línea simultáneamente. El multiplexaje por división de longitud de onda (WDM) usa diferentes longitudes de onda para multiplexar dos o más señales.

Los transmisores que operan a diferentes longitudes de onda pueden cada uno de ellos inyectar sus señales en la fibra óptica. En el otro extremo del enlace, las señales pueden ser nuevamente discriminadas y separadas por longitud de onda. Un acoplador WDM sirve para combinar longitudes de onda separadas en una sola fibra o para separarlas en sus componentes originales.

Dos consideraciones importantes en un dispositivo WDM son las interferencias o cruzamiento y el canal de separación. Ambos conciernen principalmente a la recepción o demultiplexaje final del sistema.

2.3.1. Interferencias

La interferencia o cruzamiento se refiere a que tan bien son separados los canales demultiplexados. Cada canal debe aparecer sólo en el puerto designado y no en ningún otro puerto de salida. La especificación de la interferencia expresa que tan bien un acoplador mantiene esta separación puerto-puerto.

La interferencia, por ejemplo, indica que tanto de una longitud de onda de 820 nm aparece en el puerto de 1300 nm. Por ejemplo: una interferencia de 20 decibeles significa que un 1% de las señales aparece en el puerto no designado.

2.3.2. Separación de Canales

La separación de canales describe que tan bien un acoplador puede distinguir las diferentes longitudes de onda. En la mayoría de los acopladores, las longitudes de onda deben

estar ampliamente separadas, como 820 nm y 1300 nm. Tal dispositivo no distinguirá entre una señal de 1290 nm y una de 1310 nm.

El WDM permite que el potencial de la capacidad de transportar información de una fibra óptica se incremente significativamente. La longitud del ancho de banda utilizado para especificar la capacidad de transmisión de información de una fibra aplica solamente a un solo canal, en otras palabras, a una señal impuesta en una sola portadora óptica.

2.4. Conmutador Óptico

En ocasiones es deseable acoplar luz de una fibra a una o dos fibras, pero no ambas. Un acoplador pasivo (descrito anteriormente) no permite tal opción. La división de la luz es siempre la misma. Un conmutador óptico (óptical switch) sin embargo, permite tal opción. Es análogo a un interruptor eléctrico, ya que permite ser reelegido uno de dos caminos del circuito, dependiendo de la configuración del interruptor.

Cuando se utiliza en una red de anillo, la falla de una sola terminal desconectará toda la red. La conmutación de la fibra óptica resuelve este problema. Dos configuraciones de este interruptor permite a la señal de luz ser transmitida a la terminal que recibe o desviarla y continuar en el anillo a la próxima terminal. Un acoplador direccional después del conmutador debe ser usado conjuntamente con el mismo.

El conmutador usa un arreglo de relevadores para mover las posiciones entre las fibras. Un conmutador puede ser construido de tal manera que automáticamente conmute a la posición de desvío si la energía es retirada, ya sea por una interrupción intencional de la terminal o por una interrupción inesperada.

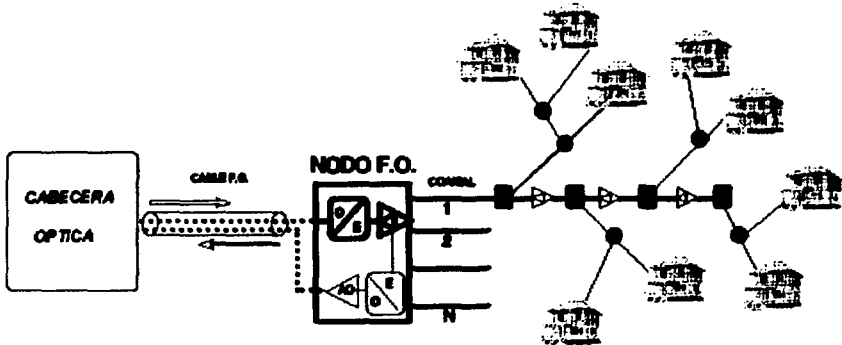
El problema de estos conmutadores es la dificultad de fabricarlos con bajas pérdidas. Mantener el alineamiento de las partes móviles y en conmutaciones repetidas es una tarea muy

difícil de lograr debido a las tolerancias impuestas por la necesidad de un alineamiento preciso de las fibras ópticas.

Por esta razón y muchas otras, se debe tener un gran cuidado al seleccionar el fabricante del sistema de fibra óptica.

3. Redes de Acceso Híbridas de Fibra Óptica y Cable Coaxial

Una red Híbrida de Fibra Óptica y Cable Coaxial (HFC como la llamaremos en adelante) es una red de telecomunicaciones por cable que combina la fibra óptica para las transmisiones de largo alcance y el cable coaxial como soporte de la transmisión de las señales en las áreas de los usuarios. Esta se compone básicamente de cuatro partes: la cabecera, la red troncal, la red de distribución y la red de usuarios.



3.1. Similitudes entre la fibra óptica y el cable coaxial

Tanto la fibra óptica monomodo y el cable coaxial tienen capacidades espectrales equivalentes. El énfasis es en fibras monomodo de 1310 nm. Las fibras multimodo no tienen la capacidad de transmitir varios canales de vídeo al mismo tiempo y tienen una mayor atenuación.

La capacidad espectral tanto el cable coaxial como de la fibra monomodo está en el rango de 1 Ghz. El equipo que se ha usado hasta el día de hoy no es aún capaz de cumplir con la capacidad que ofrecen ambos medios.

En el caso de la fibra monomodo, los transmisores de 50 a 750 Mhz apenas empiezan a salir al mercado. Los amplificadores para cable coaxial están disponibles para el mismo rango de frecuencia pero aún están en diseño los de frecuencia que sobrepasan los 750 MHz.

La capacidad espectral de 700 MHz o 116 6 MHz requerida para los canales de televisión analógicos con capacidad para audio estéreo es impactante. Compare esta potencia espectral con una LAN traduciendo ancho de banda a velocidad usando tan sólo el requerimiento de 45 Mbps por canal de vídeo, la velocidad del tren de datos requeridos podría ser de 5.2 Gbps. Utilizando la compresión MPEG-2 en este ejemplo, y asumiendo que el estándar será fijado a 3.0 Mbps, los 116 canales seguirán requiriendo 348 Mbps que se encuentra fuera del alcance de los sistemas de datos de alta velocidad y también se vuelve muy caro. Ya que se requieren lo último en tecnología para ubicar seis canales T-1 en una asignación de vídeo de 6 MHz, significa que tanto la fibra unidireccional como el cable coaxial pueden transportar 696 circuitos T-1 ó (696×24) 16,704 circuitos de voz.

Pero el argumento más convincente es que los circuitos de vídeo y voz y datos pueden coexistir tanto la fibra óptica como en el cable coaxial. Todo lo que requieren a nivel de interfaz es un fotodiodo para traducir de una señal luminosa a una señal eléctrica y un modulador láser para lo contrario.

3.1.1. La modulación en amplitud RF

Las compañías telefónicas incrementan las tasas de bits de los sistemas de transmisión digital para soportar más tráfico. Un OC-1 pueden transportar 672 canales de voz. Un OC-48 puede transportar 32,256 conversaciones de voz. Cuando se trata de transmisiones de banda ancha, las compañías de cable siempre han incrementado el ancho de banda.

Esta vieja tecnología de asignar una frecuencia a un transmisor de una emisora se remonta hacia la AM. Una portadora RF se producen en la frecuencia de transmisión deseada y la modulación de amplitud de la señal es sobrepuesta a la portadora. Esto es lo que la banda ancha se refiere y es el principio de la tecnología HFC.

Cuando la FCC determinó en los años treinta que las portadoras de las emisoras de televisión debían encajar en la banda de frecuencia de los 6 MHz, inventaron los sistemas de banda ancha de televisión por cable y el sistema HFC del futuro.

Tanto la fibra óptica como el cable coaxial pueden manejar el espectro de la banda ancha, con portadoras RF de 6 MHz, de manera óptima y sin dificultad.

Antes de traducir las señales eléctricas a una versión digital a 1310 nm, es importante que todas las portadoras RF estén apiladas una sobre otra y que la salida del ancho de banda sea combinada en un solo cable. Este cable viene a ser la entrada al transmisor de fibra óptica, el cual transmite la totalidad de la amplitud modulada en la frecuencia óptica de 1310 nm. El fotodiodo en el receptor traduce el ancho de banda óptico a un ancho de banda eléctrico para ser transmitido en el cable coaxial.

3.1.2. Transmisión analógica y digital

En la banda base, una transmisión analógica tiene medios niveles. Una transmisión digital, sin embargo, consiste sólo de 1 y 0. Esta substancial diferencia entre los parámetros de transmisión digital y analógicos puede ser salvada al modular la portadora RF utilizando la modulación de amplitud.

Ni a la fibra óptica ni al cable coaxial le importan que la información en la portadora RF estén en formato analógicos o digital. Esto ofrece la flexibilidad necesaria para desarrollar los servicios de banda ancha.

Los servicios de televisión por cable pueden transmitir en forma analógica hasta que estén disponibles sistemas de televisión digital baratos y utilicen convertidores estándares.

Los servicios de vídeo en demanda pueden ser transmitidos en el formato digital MPEG-2 y hacerlos disponibles a los suscriptores por medio de un convertidor digital-analógico.

La telefonía, datos e incluso datos de alta velocidad pueden ser transmitidos en subgrupos T-1 o E-1 y en forma digital vía un cablemódem, el cual puede hacer interfaz directamente con los conmutadores ATM y las redes de larga distancia SONET.

Ni la FDDI ni las redes Ethernet pueden ofrecer la flexibilidad de transmisión que la red HFC puede proporcionar.

3.2. Diferencias entre la fibra óptica y el cable coaxial

La fibra óptica monomodo no pierde demasiada iluminación por dispersión a 1310 nm. Por lo tanto, una transmisión óptica tienen atenuaciones tan bajas como 0.35 decibeles por kilómetro. Y ya que toda la banda RF de 750 MHz está viajando en la longitud de onda de 1310 nm, esta atenuación es la misma para todas las frecuencias.

El cable coaxial tiene varias atenuaciones sobre el mismo rango de frecuencia. Mientras más alta la frecuencia, más alta será la atenuación. A 750 MHz un cable coaxial con un diámetro de 0.9 pulgadas tiene una atenuación de uno. Veintinueve decibeles por cada 100 pies.... tres pies por metro, esto se compara a 42.5 decibeles por kilómetro. La ventaja es muy clara; la fibra óptica es el único medio que puede superar las distancias.

3.2.1. La distribución

Con el propósito de servir a un gran número de usuarios, la fibra óptica requieren la separación de la transmisión óptica para transferirla a otras fibras. Tal dispositivo es llamado

acoplador de fibra óptica. Las pérdidas de 3.5 decibeles son comunes en los acopladores de dos vías, en tanto que las pérdidas de siete decibeles tiene lugar en acopladores de cuatro vías.

Si se considera que un enlace óptico (transmisor a receptor) tienen una demanda de 10 decibeles, entonces tenemos una opción. Se puede establecer una distancia de 28 kilómetros o separar la transmisión por fibra ocho veces y sin siquiera doblar en una esquina. La planta coaxial por otro lado, tienen enlaces con demandas de 22 decibeles entre amplificadores y pueden instalar derivadores de ocho vías con pérdidas de entre 0.9 y 3.7 decibeles dependiendo del nivel que se requiere para entregar información a un suscriptor.

Un sistema HFC utiliza esta diferencia básica entre la fibra óptica y el cable coaxial a su máxima ventaja. La fibra óptica con una transmisión óptica es usada por el segmento de transporte y el cable coaxial con transmisión eléctrica son usados para la distribución a todos los usuarios.

3.2.2. La capacidad de transporte

La fibra óptica no tiene un conductor metálico con el voltaje necesario para el equipo. Todas las fuentes de voltaje alterna deben ser provista para cada equipo.

El cable coaxial, sin embargo, en una muy buena capacidad de transporte de energía debido el gran calibre del centro del conductor y la cubierta sólida exterior. Los amplificadores de televisión por cable han sido alimentados a través del cable coaxial por las últimas tres décadas. Una fuente de poder de 60 Vca y 15 A puede alimentar hasta diez amplificadores de una área.

Las compañías telefónicas proporcionan siempre la corriente de tono para los teléfonos desde la oficina central lo que indica a preguntarnos acerca de qué hacer con respecto a la banda ancha en el futuro. Algunos fabricantes están combinando cables coaxiales con un par trenzado para llenar el vacío.

3.3. La Cabecera

La cabecera es el centro desde donde se gobierna todo el sistema. Su complejidad va a depender de los servicios que ha de prestar la red, por ejemplo, para el servicio básico de distribución de señales unidireccionales de televisión (analógicas, digitales) dispone de una serie de equipos de recepción de televisión terrena, vía satélite y de microondas, así como de enlaces con otras cabeceras o estudios de producción. Por otra parte las señales analógicas se acondicionan para su transmisión por medio del cable y se multiplexan en frecuencia en la banda comprendida entre los 86 y los 606 MHz; las señales digitales de vídeo, audio y datos que forman los canales de televisión digital se multiplexan para formar el flujo de transporte MPEG (Motion Picture Expert Group).

La cabecera también se encarga de monitorear la red y supervisar su funcionamiento. El monitoreo se esta convirtiendo en un requerimiento básico de las redes de cable, ya que la complejidad de las nuevas arquitecturas y la sofisticación de los nuevos servicios que transportan exigen de la red una fiabilidad extremadamente alta. Otras de las funciones que se realizan en la cabecera se relacionan con la tarificación y control de los servicios prestado a los usuarios.

3.4. La Red Troncal

La red troncal suele presentar una estructura en forma de anillos redundantes de fibra óptica que une a un conjunto de nodos primarios. Esta estructura emplea habitualmente tecnología PDH ó SDH (Jerarquía Digital Plesiócrona y Síncrona, respectivamente), que permite construir redes basadas en ATM (Modo de Transferencia Asíncrono). Los nodos primarios alimentan a otros nodos (secundarios) mediante enlaces punto a punto o bien mediante anillos. En éstos nodos secundarios las señales ópticas se convierten a señales eléctricas y se distribuyen a los hogares de los usuarios a través de una estructura tipo bus de cable coaxial, la red de distribución. Cada nodo sirve a unos pocos cientos de hogares (500 es un tamaño habitual en las redes HFC), lo cual permite emplear cascadas de 2 ó 3 amplificadores de banda ancha como máximo. Con esto se consiguen unos buenos niveles de ruido y distorsión en el canal descendente

(de la cabecera al usuario). La red de acometida salva el último tramo del recorrido de las señales descendentes, desde la última derivación hasta la base de conexión del usuario.

3.5. La Red de Distribución

La red de distribución tiene por misión multiplexar la información ya sea proveniente de distintos proveedores de servicios o distintos usuarios, y adaptar el sistema de transporte a las características específicas del usuario. Generalmente el sistema de distribución enlaza los grandes nodos de conmutación con los nodos de distribución que son los responsables de recolectar o distribuir la información de los usuarios. Los nodos de distribución se sitúan físicamente en las manzanas de las grandes ciudades ofreciendo aproximadamente servicios a un millar de usuarios. El medio físico de transporte que une los nodos de conmutación con los de distribución continúa siendo la fibra óptica.

El sistema de distribución también puede albergar centros intermedios de almacenamiento digital, que sirvan para descongestionar los servidores de información de los proveedores de servicios. A los nodos de distribución también se les denomina cabecera de red de distribución.

3.6. La Red de Usuarios

La red del usuario interconecta los dispositivos del cliente con la cabecera. Desde el punto de vista topológico existen diversas posibilidades de interconexión de los usuarios con la cabecera de red, topologías en estrella, bus, árbol, etc. La más usual es la de árbol y ramas ya que es probable que esta sea la topología de la red de TV por cable.

La interconexión cabecera-cliente se puede realizar con diversos medios físicos, que atendiendo a la señalización de línea o modulación empleada, permiten la sincronización y reparto del ancho de banda.

En el medio físico, la interconexión se puede clasificar en cinco tipos FTTC (Fiber to the Curb), FTTN (Fiber to the Node), FTTH (Fiber to the Home), ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Loop) y HFC (Hybrid Fiber-Coax).

La tecnología FTTH propone la utilización de fibra óptica en la Red del usuario empleando una modulación óptica por división en longitud de onda (WDM). La interconexión entre el usuario y el nodo de distribución puede realizarse con una topología en estrella (conexión punto-punto) o se puede intercalar un divisor óptico pasivo (Passive Optical Network) que reparta la información entre varios usuarios. Al ser el ancho de banda de la red del usuario elevado permite transportar la información directamente con JDS a tasas de 155, 622 Mbps o superiores.

La tecnología FTTC consiste en interconectar los edificios con la cabecera a través de fibra óptica. El usuario se conecta con la unidad óptica situada el centro de distribución del edificio (Optical Network Units) con cable coaxial o par trenzado. Al ser el sistema FTTC un sistema en banda base el mecanismo de multiplexado para repartir la información a los usuarios se realiza con técnicas TDM. El multiplexado de la unidad óptica puede realizarse mediante un conmutador ATM que maneja anchos de banda de la red del usuario cercanos a los 50 Mbits sobre cable coaxial o par trenzado.

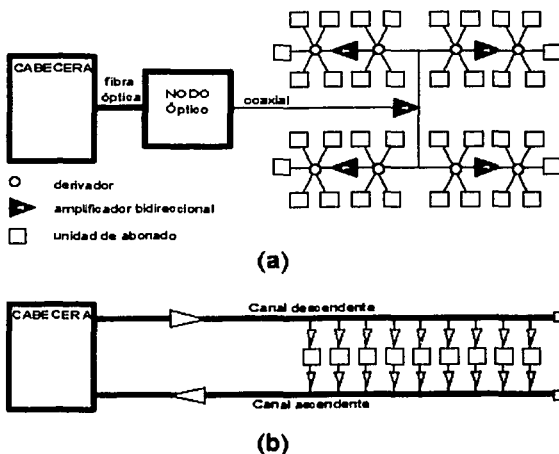
La tecnología híbrida HFC transporta la información hasta el nodo de distribución mediante fibra óptica para posteriormente distribuirla a los usuarios con una topología de árbol y ramas a través de cable coaxial. La tecnología HFC tiene la ventaja de mantener la misma topología que la red de TV por cable y ser una estructura modular. La red HFC distribuye el espectro del cable coaxial en un canal corriente abajo (downstream), 47-606 Mhz, que alberga canales de vídeo analógicos que mantienen la compatibilidad con la distribución de TV clásica, un canal de bajada digital (606-862 Mhz) que transporta canales digitales de vídeo MPEG y un canal de retorno digital con un ancho de banda entre 5 y 42 Mhz.

El usuario a través de una interfaz específica (Set-up Box) sintoniza uno o varios canales de 6 Mhz para obtener información de los canales de bajada. Simultáneamente dispone de un

canal corriente arriba (upstream) que es compartido entre todos los usuarios mediante el control de acceso al medio (MAC).

3.7. Arquitectura del Sistema HFC

El sistema HFC esta caracterizado por la topología de árbol y ramas. En la raíz del árbol, la cabecera controla el tráfico. El ancho de banda esta dividido en varios canales, algunos dedicados para comunicaciones corriente abajo (desde la cabecera hacia las estaciones) mientras otras son transmisiones corriente arriba (desde las estaciones hacia la cabecera). Los estándares 802.14 y MCNS (Sistemas de Redes de Canal Multimedia) están diseñados sobre las especificaciones de protocolos de Capas Físicas y del protocolo MAC para implementar redes bidireccionales HFC.



Esquema de red HFC (a) y abstracción de la misma (b).

Las especificaciones de la Capa Física definen características eléctricas del cable tales como las técnicas de modulación, porcentajes y frecuencias usadas. También describen varias operaciones de calidad en el sistema final de la capa física tales como perturbaciones, corrección de errores adelantada (FEC), sincronización de rangos y tiempos.

3.7.1. Protocolo de Control de Acceso al Medio (MAC)

El elemento clave que permite el funcionamiento correcto y eficiente de un sistema de acceso compartido como es una red HFC es el protocolo MAC (Medium Access Control), que constituye el conjunto de reglas que deben seguir todos los usuarios de la red. El protocolo MAC asigna ancho de banda a los usuarios que lo solicitan y regula su actividad de manera que cada uno reciba la capacidad deseada, asegurando que el sistema se comporte de manera óptima.

El protocolo MAC, que esta por encima de la capa física dentro de la pila de protocolos, fluye información entre la estación y la cabecera. La responsabilidad principal es asegurar que la estación A esta concediendo permiso para enviar información hacia la cabecera sin chocar con la estación B o C u otra estación que quiera hacer algo desde el canal corriente arriba. El Protocolo de Resolución de Colisión (CRP) esta hecho para resolver resultados de colisiones desde dos o más estaciones que estén transmitiendo simultáneamente.

Este protocolo se utiliza para la comunicación corriente arriba entre las estaciones y la cabecera, con el fin de usar eficientemente el canal corriente arriba. El MAC especifica las reglas que las estaciones deben emplear para solicitar el acceso al canal. El procedimiento es como sigue: Primero, una estación envía un pedido de ancho de banda por el canal corriente arriba a la cabecera. Si más de un usuario transmite una petición en el mismo tiempo, dichas peticiones chocan. La cabecera utiliza un protocolo de Resolución de Colisión (CRP) para forzar las estaciones a transmitir en diversos tiempos. Si las estaciones transmiten peticiones exitosamente, la cabecera reconoce su transmisión y reserva ancho de banda en el canal corriente arriba para las estaciones. La cabecera informa a la estación, usando un mensaje de concesión, cuándo utilizar el canal y el usuario envía datos sin el conflicto de tiempo especificado.

Una unidad de paquetes de información (PDU) MAC es la unidad básica de transferencia entre la capa MAC en la cabecera, y la estación. Esto consiste de una cabecera MAC con o sin una data PDU. La misma estructura esta usada en ambas direcciones corriente arriba y corriente abajo para transmitir información y administración de mensajes. El canal corriente arriba esta dividido en ranuras de tiempo discretos llamadas mini ranuras.

Un número variable de mini ranuras está agrupadas para formar una trama de la capa MAC. La cabecera determina el formato de la trama por la colocación del número de ranuras de datos (DS) y ranuras de conflictos (CS) en cada trama y envía esta información hacia las estaciones sobre el canal corriente arriba usando un mensaje asignado. Distintas mini ranuras pueden estar agrupadas juntas para formar una ranura de información (DS) que porta un PDU MAC.

Las ranuras de información (DS) están asignadas explícitamente hacia una estación especificada por la cabecera. La CS ataca en una mini ranura y son usadas por las estaciones para transmitir solicitudes de ancho de banda. Más de una estación puede transmitir una solicitud en el mismo tiempo; las CS están propensas a colisiones. La cabecera controla el acceso hacia las CS además de administrar el CRP. Para ganar acceso hacia el canal corriente arriba una estación debe seguir estos procesos. Sobre la llegada de paquetes de data, la estación genera una solicitud y envíos en una CS. En caso de un choque de CS, la estación entra en el proceso de resolución de contención en orden para retransmitir las solicitudes.

Como vemos, el canal corriente arriba exige una mayor atención que el canal corriente abajo por parte del operador de red si se quiere asegurar ciertas prestaciones en el enlace digital ascendentes. Una red HFC correctamente diseñada y con nodos que sirvan a unos 500 hogares constituyen un sistema de envidiables prestaciones de cara al establecimiento de todo tipo de servicios de telecomunicaciones.

En estos días en los que las llamadas "plataformas digitales" de televisión por satélite inundan la prensa diaria con noticias acerca de su inmediata implantación y de los servicios que la tecnología digital va a llevar hasta nuestros hogares, no debemos olvidar el lento pero inexorable avance de otra tecnología, la del cable, que en unos años se convertirá en la dominante en lo que a redes de acceso de banda ancha se refiere.

El canal de retorno en una red HFC es un medio compartido entre cientos de usuarios. El acceso de estos debe realizarse de manera ordenada y perfectamente controlada, de forma que se aproveche al máximo el ancho de banda disponible. El control de acceso al medio se realiza mediante ciertos protocolos y métodos de acceso múltiple. Los métodos básicos de acceso múltiple son: TDMA, FDMA, y CDMA; acceso múltiple por división en tiempo, frecuencia, y código, respectivamente. Sobre estos métodos se montan los llamados protocolos de capa MAC (Medium Access Control). Estos protocolos se encargan de supervisar el acceso de los distintos usuarios a los slots temporales, portadoras, canales, etc. disponibles, y asignan a cada uno una dirección que los identifica y distingue, conceden autorizaciones para el acceso al medio, y resuelven conflictos entre peticiones.

El acceso múltiple por división temporal (TDMA) consiste en la segmentación del tiempo en que los usuarios pueden acceder al medio para transmitir datos. De esta manera, todos los usuarios comparten la totalidad del ancho de banda disponible pero sólo lo utilizan durante los periodos de tiempo en los que les es permitido. Estos periodos se llaman slots o ranuras temporales. En un esquema de transmisión TDMA rígido, a cada usuario le corresponde una ranura determinada y sólo puede transmitir en ella. Un sistema más eficiente asignaría dinámicamente los slots a los usuarios que los requirieran para optimizar el uso del espectro.

El acceso múltiple por división en frecuencia (FDMA) consiste en segmentar el espectro disponible en canales independientes que se asignan a los distintos usuarios. Cada uno de ellos transmite en el canal o grupo de canales que se le asigna, y dispone de él durante todo el tiempo. Llevando al límite el esquema FDMA, puede dividirse el ancho de banda disponible en miles de subcanales que se asignan a los usuarios aisladamente o en grupos, de acuerdo con las

necesidades de capacidad de transmisión de cada uno. Estamos hablando entonces de sistemas multiportadoras como los que se han comentado antes.

En la práctica, el método de acceso múltiple más empleado consiste en una mezcla de TDMA y FDMA, en un intento de aprovechar las ventajas de ambos métodos. Se divide el ancho de banda disponible en un cierto número de subcanales, y se emplea un esquema TDMA dentro de cada uno de ellos. Los cablemódems reciben los datos de manera continua y sólo tienen en cuenta aquellos que les están destinados. En cambio, la transmisión por el canal de retorno es a ráfagas. Los cablemódems transmiten ráfagas de símbolos de longitud variable dentro de ranuras temporales que vienen determinadas por el reloj de cabecera.

Mientras que en los sistemas tradicionales de acceso múltiple TDMA ó FDMA la discriminación entre distintos usuarios se realiza mediante separación en tiempo o frecuencia, respectivamente, de los canales, el CDMA está basado en una secuencia-firma especial que se asigna a cada usuario para asegurar la discriminación entre señales. Esta secuencia se emplea para ensanchar, al mismo tiempo, el espectro de la señal transmitida. Dicha técnica de transmisión-multiplexado se conoce como "acceso múltiple por división de código de secuencia directa con espectro ensanchado" (DS/SS-CDMA).

Existen distintas familias de secuencias para CDMA, de distintas longitudes, y con distintas características de ortogonalidad. La longitud determina el número de secuencias diferentes de que podremos disponer, y por tanto, el número máximo de usuarios distintos (CDMA también se puede utilizar junto con TDMA para aumentar este número). En cuanto al grado de ortogonalidad, interesa que sea lo mayor posible para poder distinguir mejor las secuencias.

En un sistema CDMA, las señales de cada usuario se expanden espectralmente hasta ocupar todo el ancho de banda disponible. Cada usuario ve al resto como señales interferentes y su capacidad de transmisión dependerá del número total de usuarios distintos que comparten el medio y de la presencia mayor o menor de ruido e interferencias externas. El CDMA se puede

utilizar junto con las técnicas habituales de modulación digital (BPSK, QPSK, 16-QAM), pero para que la eficiencia espectral (bits/s/Hz.) sea comparable a la de otros métodos es imprescindible que todas las estaciones transmisoras tengan las mismas referencias temporales con una precisión cuanto más alta mejor. Esto permite mantener la ortogonalidad de las secuencias en recepción y por tanto la eficacia del discriminador. Se dice entonces que se trabaja con CDMA síncrono (S-CDMA).

El diseño de la capa MAC ha de tener muy en cuenta las características de las redes HFC. Agrupaciones de entre 100 y 2000 hogares son servidas por un nodo óptico, que está conectado a la cabecera a través de un enlace de fibra óptica. La distancia que recorren las señales descendentes desde la cabecera hasta el hogar de un usuario puede ser de hasta 80 Km, de los cuales tan sólo una pequeña parte corresponde al último tramo de coaxial (2 Km, por ejemplo).

Para el diseño de la capa MAC, puede utilizarse un modelo simplificado de red HFC que consistiría en dos líneas de transmisión, una descendente y otra de retorno, entre las que se sitúan los cablemódems, que reciben por el canal descendente y transmiten por el ascendente, sin la posibilidad de escuchar las transmisiones de los demás (por lo tanto, son incapaces de detectar colisiones y coordinar sus transmisiones por sí solos). Se supone la existencia de una capa física que proporcione la conectividad necesaria entre la cabecera y los cablemódems. En la práctica, los canales de que disponen éstos para comunicarse con la cabecera son más estrechos (los sistemas de cable son altamente asimétricos por naturaleza) y de peor calidad que los canales disponibles para las comunicaciones descendentes.

Además, cuando la cabecera pasa de "escuchar" a un cablemódem a "escuchar" a otro se consume un cierto tiempo en "sintonizar" esta comunicación, mientras que los cablemódems pueden estar permanentemente "sintonizados" a un canal descendente por el que reciben datos de la cabecera. Por otra parte, supondremos que la cabecera dispone de medios para determinar los tiempos de propagación de las señales entre ésta y los distintos cablemódems (hasta 2.4ms.). En general, se tiende a centralizar la gestión del ancho de banda en la cabecera, lo cual se traduce en una reducción de la complejidad de los equipos de usuario. La cabecera concede los permisos de

utilización del espectro del canal ascendente, de acuerdo con las necesidades de capacidad de transmisión manifestadas por cada cablemódem.

Existe una multitud de protocolos MAC para distintos tipos de redes. Están los protocolos determinísticos como, por ejemplo: interrogación secuencial (polling), token bus (IEEE 802.4), token ring (IEEE 802.5), reserva de bits, y ciertos métodos de acceso en anillos. También hay protocolos no determinísticos (basados en contención; los cablemódems transmiten directamente en la ranura y pueden producirse colisiones que deberán ser resueltas por la cabecera): Aloha puro, Aloha ranurado, y variaciones de la familia Aloha en las que las estaciones “escuchan” antes de transmitir (CSMA -Carrier Sense Multiple Access-, ISMA, CSMA/CD -CSMA con detección de colisión, IEEE 802.3, Ethernet). Y por último están los protocolos de contención limitada: CSMA/CA (CSMA/Collision Avoidance, IEEE 802.11), y otros protocolos como los que se basan en reserva de bits. De todos los protocolos de capa MAC existentes, ninguno se ajusta a las características de una red HFC. Los protocolos determinísticos asignan recursos de manera permanente a todas las estaciones de la red o emplean recursos para ofrecer a todas ellas la oportunidad de transmitir, incluso en el caso de que sólo haya una estación lista para transmitir.

Los protocolos MAC basados en contención presentan problemas cuando todas las estaciones quieren transmitir, y no alcanzan la total utilización del canal. Los protocolos MAC actuales, tanto los determinísticos como los basados en contención, están diseñados para funcionar en redes de área local (LAN), en las que la relación entre los retardos de propagación y la longitud media de los paquetes, habitualmente conocida como “a”, es menor que la unidad.

El aumento del retardo de propagación perjudica el funcionamiento de estos protocolos. Por otra parte, las redes de área amplia (WAN), están constituidas por una serie de enlaces que conectan nodos entre sí. Los paquetes viajan por la red en base a unas decisiones de enrutado y al empleo de colas en cada uno de esos nodos, y suelen emplearse protocolos tales como X.25, Frame Relay, o ATM.

Las redes HFC presentan los retardos de propagación propios de redes WAN, pero deben de poder servir de soporte para servicios en los que conocer y acotar el tiempo de acceso es fundamental. Por eso, la primera fase en el diálogo entre las capas MAC de la cabecera y un cablemódem consiste precisamente en determinar de forma lo más exacta posible el retardo de propagación existente entre ambos. Este proceso se conoce como proceso de adquisición o de ranging, y es en esta primera fase en la que se sincroniza el cablemódem de acuerdo con el esquema de temporización que la cabecera pone a disposición de todos los cablemódems de la red HFC a través del canal descendente. Una vez realizado este proceso, se establece el formato de trama que se va a utilizar (puede ser diferente según sea para el canal descendente o de retorno, y según el tipo de tráfico) y se determinan otros parámetros de la comunicación ascendente como, por ejemplo, la potencia de transmisión.

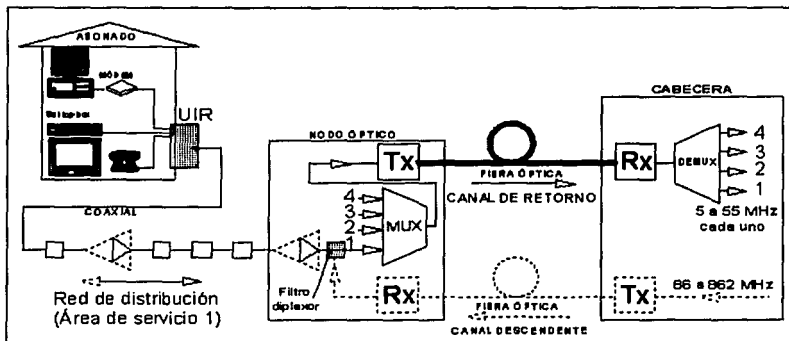
La cabecera asigna los recursos necesarios (ranuras temporales y/o frecuenciales) a los cablemódems que los solicitan. Una de las funciones más importantes de la capa MAC es la de resolver conflictos entre cablemódems evitando las colisiones y arbitrando de forma precisa el acceso de cada uno de ellos al medio compartido. La tendencia actual indica que el protocolo MAC debe poner a disposición de los cablemódems ranuras cuyo acceso por éstos pueda realizarse bien por reserva (se asegura el acceso del cablemódem a una ranura determinada de la trama de datos ascendente durante el tiempo que la necesite), o bien por contención, de manera que se optimice el uso de los recursos disponibles en el canal de retorno.

Si estos protocolos deben estar basados en ATM o no es un tema que está actualmente bajo discusión. Parece claro que el futuro tiende hacia ATM, pero existen especificaciones que van a ser utilizadas a corto plazo por los fabricantes que no incorporan ATM en un principio, si bien dejan la puerta abierta a futuras modificaciones o ampliaciones de los protocolos que permitan convertir finalmente las redes de cable en redes ATM completas.

3.7.2. El canal de Retorno

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

El canal de retorno ocupa en las redes HFC el espectro comprendido entre los 5 y 55 MHz.. Este ancho de banda lo comparten todos los hogares atendidos 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 usuario 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 usuarios, que se convierten en señales ópticas en el láser de retorno, el cual las transmite hacia la cabecera.



Esquema simplificado de red HFC desde el punto de vista del canal de retorno. En esta configuración, del nodo óptico parten 4 buses de coaxial que sirven a 4 áreas de distribución distintas. Si el nodo sirve a 500 hogares, cada bus dará servicio a unos 125 hogares, que compartirán los 50 MHz del canal de retorno. En cada hogar, una Unidad de Interfaz de Red (UIR) sirve para conectar los distintos equipos terminales de usuario (PC/módem de cable, TV/set-top-box, y terminal telefónico) a la red HFC.

Un problema que presenta la estructura de árbol 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 (noise funneling). A esto hay que añadir el hecho inevitable de que el espectro del canal de retorno es considerablemente más ruidoso que el del canal descendente, sobre todo su parte más baja, entre los 5 y 15-20 MHz.

4. Cablemódems

Los cablemódems prometen velocidades de 30 Mbps hasta las computadoras de los usuarios. Casi cada día son noticia por parte de los fabricantes y de los proveedores de servicios, ya que éstos vislumbran un gran negocio a corto plazo. Gran parte de los comentarios relativos a cablemódems se reducen a expresiones como: "¿Se imagina navegar por Internet a más de 10 Mbps, 300 veces más rápido que con su módem telefónico a 28.8 Kbps, y descargar imágenes y archivos de manera casi instantánea.

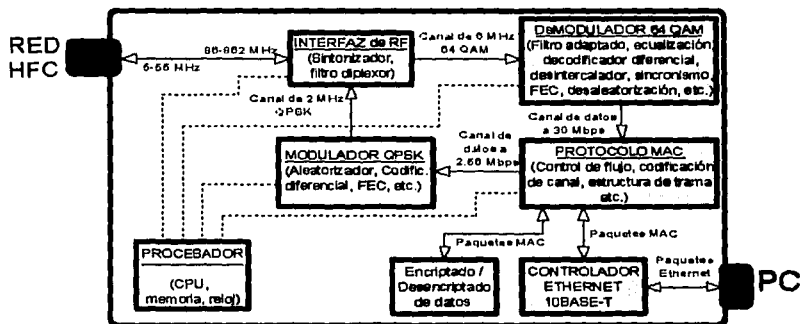


Diagrama de bloques de un cablemódem bidireccional. En este ejemplo, el cablemódem recibe datos en canales de 6 MHz de ancho de banda con modulación 64QAM (30 Mbps). Los datos se encapsulan en paquetes Ethernet para suministrárselos al PC del usuario. Por otra parte, los paquetes originados por éste son encapsulados según el formato de trama que definen las capas MAC y PHY y enviados a la cabecera en un canal de 2 MHz de ancho de banda con modulación QPSK (2.56 Mbps).

Lo demuestra el gran número de empresas que están fabricándolos y la gran cantidad de pruebas de campo que ya se están realizando. Y aunque la sobre valoración puede llegar a ser contraproducente, ya que levanta falsas expectativas o crea una imagen demasiado optimista de estos equipos, la realidad es que los cablemódems pueden trabajar a velocidades de alrededor de 1.5 Mbps. Esto, si lo comparamos con los 28.8 Kbps de la RTC o incluso con los 128 Kbps de la

RDSI, ya resulta extremadamente atractivo. Si además el operador de cable puede dar este servicio a un precio accesible y el precio del cablemódem también, el éxito está más que asegurado.

Si realizamos una simulación de descarga de archivos mediante un módem telefónico convencional a 28.8 Kbps, un módem RDSI a 128 Kbps, y un cablemódem a 1.2 Mbps. Observamos que el tiempo de descarga de un archivo o página Web de 505 KBytes es, respectivamente, de 2 minutos 24 segundos, 31 segundos, y de tan sólo 3 segundos en el caso del cablemódem. Si se toma una "instantánea" del momento en que el cablemódem ha completado la descarga (3 segundos desde el inicio). En ese instante, la pantalla correspondiente al módem RDSI justamente ha empezado a mostrar algo; y en la pantalla correspondiente al módem telefónico convencional a 28.8 Kbps no se aprecia más que una estrecha línea en la parte superior.

Por otro lado, las compañías telefónicas están desarrollando muy activamente la tecnología ADSL, que permite a las viejas líneas de cobre transportar datos a velocidades de hasta 9 Mbps en distancias cortas. Está por verse si esta tecnología podrá competir con los cablemódems y tendrá la gran difusión que se les augura a éstos. Los operadores de redes de cable HFC gozan de una buena posición para convertirse en proveedores a bajo costo de servicios de video, voz, y datos. Los nuevos sistemas digitales sobre redes de cable serán capaces de soportar telefonía, y acceso a Internet a alta velocidad vía PC o televisor.

Existen otros tipos de red de acceso de banda ancha como pueden ser las redes FTTC (Fiber To The Curb - Fibra hasta la acera), los sistemas MMDS y LMDS (Microwave Multipoint Distribution System; y Local MDS, respectivamente), y los sistemas de TV digital por satélite. Los sistemas inalámbricos (wireless) presentan el inconveniente fundamental de la inexistencia o la gran complejidad tecnológica de un canal de retorno de alta capacidad. El retorno por la RTC supone en estos casos una alternativa económica y en muchas ocasiones eficaz y suficiente para cierto tipo de servicios altamente asimétricos. Por esta y por otras consideraciones, las redes de acceso inalámbricos podrían convertirse a largo plazo en un elemento complementario del cable y

no llegar realmente a suponer una competencia excesivamente fuerte, sobretodo en los grandes núcleos de población.

Las redes del tipo FTTC, por el contrario, se caracterizan por disponer de grandes anchos de banda tanto descendentes (de la cabecera al usuario) como ascendentes o de retorno (del usuario a la cabecera), gracias a que la fibra óptica penetra muy profundamente en la estructura de la red, lo cual, por otra parte, encarece la implantación del sistema (cada nodo óptico sirve a unas pocas decenas de usuarios).

La red FTTC utiliza anillos de fibra óptica que unen nodos ópticos donde las señales pasan de óptico a eléctrico y llegan a los usuarios a través de cable de pares trenzados y/o coaxial (se trata de líneas punto a punto, nodo-usuario). La información se transmite mediante esquemas de modulación digital en banda base. Este tipo de redes no puede ofrecer canales analógicos de TV a no ser que disponga de una red paralela de coaxial. Este punto supone un inconveniente mayor de lo que podría parecer ya que los usuarios desean poder seguir viendo los canales de TV habituales que reciben con su instalación de antena colectiva.

Las redes HFC, en cambio, emplean un sistema pasa banda, en el cual un conjunto de sub portadoras distribuidas a lo largo del espectro de RF del cable son moduladas para transportar las señales a los usuarios. Este esquema de multiplexado por división en frecuencia permite un uso eficiente del bus de acceso compartido para distribución de señales. El enfoque pasa banda es compatible con la distribución de señales analógicas de televisión, lo cual es de uso común en los sistemas actuales de cable. Además, permite el transporte de señales digitales convirtiéndolas a un formato analógico, que es fácilmente combinado con las señales de vídeo analógico.

Se puede decir que, al ser las redes HFC verdaderas redes de telecomunicaciones de banda ancha, pueden ofrecer a sus usuarios una variedad tal de servicios que la amortización de las inversiones puede realizarse más rápidamente. Un operador de red HFC puede prestar servicios de TV de pago, telefonía y datos, de una manera progresiva, escalonando la inversión en los

equipos necesarios y extendiendo la red conforme los servicios van adquiriendo mayor penetración.

Por otra parte, prever con exactitud el comportamiento del mercado del cable es una tarea bastante difícil puesto que en ella interviene una gran cantidad de factores sobre los que en la mayoría de los casos se tiene poca información y/o poco control. El mercado norteamericano suele ser el espejo donde se miran todos los demás para tratar de pronosticar su propia evolución y las tendencias de futuro.

De hecho, la palabra "módem" puede inducir a confusión, ya que evoca automáticamente la imagen del típico módem telefónico por todos conocido. Un cablemódem es un módem en el verdadero sentido de la palabra, ya que MODula y DEModula señales. Pero los parecidos terminan aquí, porque los cablemódems son un orden de magnitud más complejos que los módems telefónicos. Un cablemódem realiza o puede realizar funciones de modulación y demodulación, sintonización, encriptado y desencriptado, bridge, router, interfaz de red, agente SNMP (Simple Network Management Protocol), y hub Ethernet.

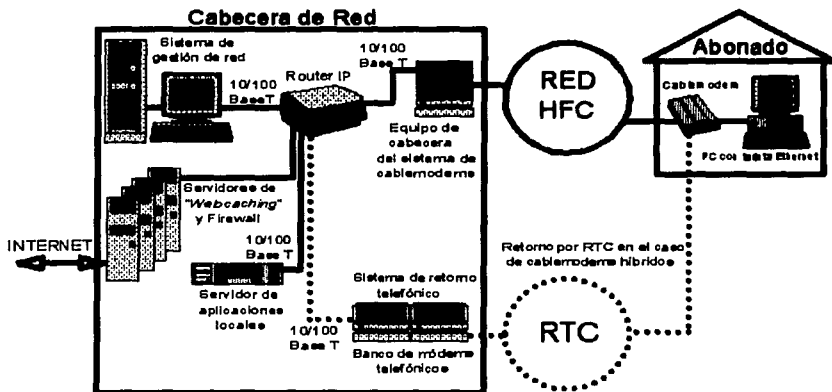
Realmente, un sistema de cablemódems en una red de cable se compone, en su forma más simple, de dos equipos: uno en la cabecera, que hace de interfaz entre la red de cable y otras redes, locales o remotas, como Internet; y otro, el cablemódem, en casa del usuario. Las comunicaciones entre ambos equipos se realizan por dos canales independientes: el canal descendente, de la cabecera al usuario; y el canal ascendente o de retorno, del usuario a la cabecera. El canal descendente se caracteriza por tratarse de un canal poco ruidoso en general y del tipo "uno a muchos". El equipo de cabecera "habla", y los cablemódems "escuchan". Si el mensaje va dirigido a un cablemódem concreto, éste lo adquiere mientras que el resto lo ignora.

El canal de retorno posee características muy diferentes. Se trata de un canal de comunicaciones muy problemático debido a que la parte de coaxial de la red HFC se comporta como una gran antena que recoge las señales indeseadas que penetran, en su mayor parte, en los hogares de los usuarios y en la red de acometida, y que por efecto embudo se acumulan en el

nodo óptico. Los mayores problemas los crean el ruido impulsivo y las interferencias de banda estrecha, sobretudo en la parte más baja del espectro ascendente. Por otra parte, el canal de retorno es del tipo "muchos a uno".

Todos los cablemódems conectados a un nodo óptico comparten el mismo espectro de frecuencias (5 a 55 MHz) y el medio de transmisión para enviar datos a la cabecera. Debido a la estructura de la red un cablemódem no puede "oír" a otros cablemódems, por lo que desconoce si éstos están transmitiendo o se encuentran en reposo. Por tanto, se requiere un mecanismo de control de acceso al medio (capa MAC) que arbitre las transmisiones del conjunto de cablemódems por el canal de retorno. Las características de ambos canales, descendente y de retorno, condicionan de manera determinante el diseño de los cablemódems, tanto en los aspectos del enlace físico (capa física, PHY), como en los aspectos de gestión del sistema de comunicaciones (capa MAC).

El cablemódem puede ser un equipo independiente, con una carcasa propia, o puede tratarse de una tarjeta que se conecte directamente al bus (ISA, habitualmente) de nuestra computadora. En el primer caso, dispondrá de un conector de coaxial tipo F con el que se conectará a la red de cable, de un conector RJ-45 para conectarse a la tarjeta ethernet 10 Base-T con que deberá estar equipada la computadora, y, opcionalmente, de un conector RJ-11 para conectarse a la línea telefónica, en caso de que el canal de retorno sea por la red telefónica (RTC).



Sistema completo de cablemódems. Equipos de cabecera y de usuario. Se han representado las dos posibilidades de conexión para el canal de retorno: cablemódem bidireccional por la red HFC; y cablemódem híbrido (retorno por la RTC, líneas de puntos).

Los cablemódems con retorno telefónico son una versión más sencilla de los cablemódems con retorno por la red de cable en los que el enlace digital descendente presenta las mismas características que en éstos, pero el ascendente se realiza por la RTC mediante un módem telefónico convencional, que puede formar parte del propio cablemódem o bien ser un dispositivo aparte incorporado en nuestra computadora. La señal recibida por el canal descendente es demodulada para extraer los datos de usuario y la información de señalización y control que envía el equipo de cabecera.

Los datos de usuario son encapsulados en paquetes con formato Ethernet y enviados a la computadora por la conexión 10 Base-T. Los datos originados por el usuario son extraídos de los paquetes Ethernet que llegan de la computadora a través de su tarjeta Ethernet y se encapsulan formando otro tipo de paquetes cuyo formato dependerá del protocolo de red empleado (según capas física y MAC) en el sistema de cablemódems. Finalmente, se transmiten los paquetes en el instante y el canal indicados por la cabecera. Si el cablemódem está montado en una tarjeta ISA,

lo único que deberá tener es un conector de coaxial tipo F para conectarse a la red de cable. Si el retorno es vía RTC, la computadora deberá disponer de un módem telefónico para establecer la comunicación ascendente con la cabecera.

5. Aplicaciones del Sistema HFC

APLICACIÓN	ANCHO DE BANDA REQUERIDO	OTRAS CARACTERÍSTICAS
DIFUSIÓN DE VIDEO ANALÓGICO	Canales de entre 6 y 8 MHz.	Modulación clásica AM-VSB
DIFUSIÓN DE VIDEO DIGITAL	2-3 Mbps de ancho de banda descendente (video comprimido).	Las técnicas de compresión (MPEG-2) y las eficientes técnicas de modulación (64, 128, 256 QAM) permiten transportar hasta diez veces más canales que con las técnicas analógicas. El video digital permite ofrecer servicios de tipo Pago por Visión y bajo Demanda de manera flexible.
VIDEO BAJO DEMANDA	3 Mbps de capacidad del canal descendente (comprimido) y una pequeña capacidad del canal de retorno que permita la interactividad (del orden de 1 Kbps).	Posibilidad de detener y reanudar la reproducción por parte del usuario. El operador de red necesita una serie de mecanismos de seguridad para las aplicaciones de Pago por Visión. Se requiere un servidor especial de video en la cabecera para simular las funciones de un aparato de video casero convencional.
TELEVISIÓN AVANZADA	10 Mbps de ancho de banda descendente (comprimido).	Los estándares propuestos de televisión de alta definición (HDTV) requieren mucha mayor capacidad de la red. Una imagen de alta definición de 1240 x 720 pixel (no comprimida) requiere tres veces la velocidad de transmisión necesaria para una imagen de video ordinario no comprimida.
AUDIO DIGITAL	1 Mbps de ancho de banda descendente.	Exigencias de reproducción análogas a las del video bajo demanda. Las técnicas de compresión permiten reducir de 1.4 Mbps a 384 Kbps la velocidad de transmisión necesaria para un canal de audio de calidad CD.
TELEFONÍA	600 Kbps bidireccional (no comprimido). Mediante técnicas de compresión, la capacidad requerida es considerablemente menor.	Teóricamente basta con 128 Kbps (64 Kbps en cada sentido), pero ha de hacerse frente a problemas de Retardo de Paquetización y otros retardos que introduce la red y que precisan de técnicas de cancelación de ecos. Los usuarios demandan privacidad en las comunicaciones y los estándares de servicio telefónico exigen una alta fiabilidad del sistema.
VIDEO CONFERENCIA	100 Kbps bidireccional (comprimido).	Tasas de bit muy variables. Hay aplicaciones de baja calidad que funcionan a 28 Kbps en Internet. La red de cable puede ofrecer un servicio de mayor calidad empleando capacidades de entre 100 Kbps y 1 Mbps. Los retardos son un problema para la interactividad. Los usuarios dan mucha importancia a la privacidad de sus comunicaciones.

REDES DE COMPUTADORAS	100 Kbps a 100 Mbps (ó más) de tráfico bidireccional, generalmente a ráfagas (bursty).	Las características del tráfico y las necesidades futuras dependen en gran medida del tipo de aplicaciones que se usen. La mayoría de los operadores de cable tienden a ofrecer servicio de Internet, que soporta una gran cantidad de distintas aplicaciones muy atractivas para los usuarios. Uno de los grandes negocios de las redes HFC es el alquiler de enlaces punto a punto de alta velocidad a empresas, utilizando tecnología SDH o PDH.
VIDEOJUEGOS	Depende de la aplicación.	Algunos sistemas no requieren comunicaciones bidireccionales puesto que almacenan los programas de juegos en la memoria del terminal de usuario y no hay interactividad con la red. Otros, sin embargo, permiten jugar de forma interactiva con la cabecera y con otros usuarios de la red, exigiendo comunicaciones bidireccionales con retardos muy pequeños.
TELEMETRÍA	1 Kbps de tráfico a ráfagas.	La red de cable puede usarse para monitorear contadores de electricidad, gas, y agua; sistemas de televigilancia; y otros sistemas como, por supuesto, la propia red de cable. La seguridad y la fiabilidad son esenciales para muchas aplicaciones.

5.1. Internet de Alta Velocidad

El acceso a Internet a velocidades cada vez mayores va camino de convertirse en uno de los grandes negocios de las nuevas redes de acceso de banda ancha. Las redes HFC, mediante el uso de módems especialmente diseñados para las comunicaciones digitales en redes de cable, tienen capacidad para ofrecer servicios de acceso a redes de datos como Internet a velocidades cientos de veces superiores a las que el usuario medio está acostumbrado (hasta 33.6 Kbps desde casa, a través de la red telefónica). Los módems de cable están convirtiendo las redes de CATV en verdaderos proveedores de servicios de telecomunicación de video, voz, y datos.

Un módem de cable típico tiene las siguientes características:

- Es un módem asimétrico. Recibe datos a velocidades de hasta 30 Mbps. y transmite hasta 10 Mbps. (valores más normales son 10 y alrededor de 1 Mbps., descendente y ascendente, respectivamente).

- Se conecta a la red HFC mediante un conector de cable coaxial tipo F, y al PC del usuario a través de una tarjeta Ethernet 10Base-T que éste debe incorporar.

- La recepción de datos se realiza por un canal de entre 6 y 8 MHz. del espectro descendente (entre 50 y 860 MHz.) con modulación digital 64-QAM (Quadrature Amplitude Modulation). El módem de cable demodula la señal recibida y encapsula el flujo de bits en paquetes Ethernet. La PC del usuario ve la red HFC como una enorme red local Ethernet.

- En sentido ascendente, el módem de cable descompone los paquetes Ethernet que recibe de la PC y los convierte en celdas ATM o entramas con otro formato propietario. Utiliza un canal de unos 2 MHz. del espectro de retorno (entre 5 y 55 MHz.) con modulación digital QPSK(Quaternary Phase Shift Keying).

- Suele disponer de un sistema FAMM (Frequency Agile MultiMode), que le permite conmutar de un canal ruidoso a otro en mejores condiciones de manera automática, de acuerdo con las órdenes del equipo de cabecera.

La cabecera ha de disponer de unos equipos que realicen funciones de router y switch, y que adapten el tráfico de datos de la red HFC al protocolo IP. Además, debe existir un sistema de gestión de red y de usuarios, pudiendo también existir un servidor que realice funciones de caching de información y actúe como Firewall.

En el acceso a Internet a través de un módem telefónico, se establece entre éste y el módem del proveedor de servicio una conexión con circuito dedicado, que ofrece al usuario una capacidad constante y simétrica (igual descendente que de retorno) y que termina cuando éste cuelga. Habitualmente, estas conexiones dedicadas son de banda estrecha y ofrecen una capacidad máxima de transmisión de alrededor de 64 a 128 Kbps en RDSI, ó 33.6 Kbps ó menos con un módem telefónico estándar.

La transmisión de datos en redes HFC se realiza a través de un medio de acceso compartido, en el que un grupo más o menos grande de usuarios comparte un ancho de banda generalmente grande, un canal de 6 MHz, por ejemplo, con una capacidad de entre 10 y 30 Mbps. Como todo el mundo sabe, en una red local Ethernet de 10 Mbps, la capacidad de transmisión y recepción de datos que ve cada usuario individual de un total de 100, por ejemplo, es bastante superior a una centésima parte de los 10 Mbps. Esto es debido a la naturaleza a ráfagas del tráfico de datos que atraviesa el medio compartido. Este tipo de tráfico es característico de la mayoría de las aplicaciones corrientes del servicio Internet.

En una navegación típica de 60 segundos por las páginas de un servidor WWW, de una PC conectada directamente a él, un promedio de poco más de 1 MByte de información va del servidor a la PC del usuario, y éste le devuelve unos 70 KBytes que representan clic de ratón y reconocimientos de llegada de paquetes. La relación entre el tráfico descendente y ascendente muestra una asimetría de un factor de 15 ó más. Por este motivo, la mayoría de los módems de cable se diseñan con capacidades de recepción de datos mayores que las de transmisión a través del canal de retorno. No obstante, algunos fabricantes siguen la filosofía de construir módems simétricos en cuanto a sus capacidades de recepción y transmisión, ya que consideran que la demanda de ancho de banda por parte de los usuarios evolucionará en el sentido de capacidades ascendentes cada vez mayores.

Es importante destacar el hecho de que, a pesar de que el número de usuarios que comparten una cierta capacidad de transmisión puede ser elevado, el número de accesos simultáneos en cada instante es considerablemente menor, lo cual permite a cada uno de ellos apreciar una capacidad efectiva grande. Este fenómeno se conoce como multiplexado estadístico del tráfico de la red. En una red de acceso con medio compartido el usuario utiliza los recursos disponibles en el preciso momento en que los necesita y los libera inmediatamente para que puedan ser utilizados por el resto de usuarios.

Las redes HFC se diseñan de 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 aún menor contrata el servicio de datos con módems de cable. De éstos, a lo mejor un 30% se conecta simultáneamente, con lo que la capacidad total disponible para este servicio se reparte realmente entre unos pocos usuarios en cada instante de tiempo, lo cual se traduce en capacidades efectivas (máximas y medias) de transmisión por usuario muy elevadas, aún comparándolas con el acceso RDSI a 128 Kbps.

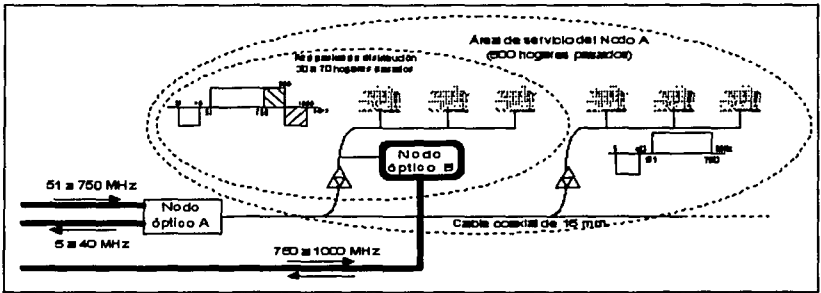
Las redes de acceso HFC ofrecen a sus usuarios la posibilidad de estar permanentemente conectados (no es necesario establecer una vía de comunicación cada vez que se quiere navegar por Internet o enviar un e-mail, como es el caso del acceso telefónico o RDSI) y de que sólo se les facture por el tiempo 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 permiten la difusión de datos a todos o a grupos específicos de usuarios (broadcast y multicast) para servicios de noticias, juegos multiusuario, descarga de software, etc. En las redes con circuitos dedicados sólo se puede 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 del número de usuarios 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 pasados), para poder ofrecer los 50 MHz del espectro ascendente a un menor número de usuarios y por tanto aumentar sus capacidades individuales de interacción con la cabecera. En ciertos casos puntuales, existen incluso ciertas soluciones que permiten ofrecer anchos de banda ascendentes mucho mayores empleando frecuencias cercanas a 1 GHz.

Este sistema puede proporcionar a cada usuario una capacidad de hasta 1.544Mbps en el canal de retorno y 10Mbps en el descendente, y puede ser rentable en áreas en las que la

inversión necesaria para su implantación está justificada por una alta demanda de servicios digitales conmutados de banda ancha (vídeo, voz y datos).

Añadiendo un nuevo nodo óptico (NODOB) después del último amplificador de la porción de red de distribución que sirve a un reducido número de hogares (entre 30 y 70), ampliamos su ancho de banda de 750 a 1000MHz. (de 750 a 900 para el canal descendente, y de 900 a 1000 para el canal de retorno, todo ello por una única fibra). Esta solución, además, permite aumentar la capacidad del sistema de manera selectiva, haciéndolo solamente en aquellas zonas en las que la demanda lo justifique.



Esquema de red HFC mejorada con la introducción de un nuevo nodo óptico. El Nodo A sirve a un área de distribución de unos 500 hogares. Mediante la introducción del Nodo B, se amplía el ancho de banda, tanto descendente como de retorno, a un grupo escogido de hogares (en la realidad, este grupo podría corresponder a una empresa que demanda una mayor capacidad en su acceso a la red).

5.2. Telefonía en Redes Híbridas

Las redes de acceso 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 cablemódems parece que se va a convertir 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 usuarios, tanto residenciales como empresariales.

Una red HFC puede amortizarse prestando simultáneamente una multiplicidad de servicios, uno de los cuales consiste en alquilar parte del 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 éstos. Un ejemplo de esto último lo tenemos en varios casos de operadores de cable en el Reino Unido: Videotron Holdings PLC (Londres) alquila líneas dedicadas del anillo SDH (Jerarquía Digital Sincrona) de la red troncal de su red de CATV a los hospitales Hammersmith NHS Trust para comunicar sus redes locales y cursar tráfico telefónico interno; y Cambridge Cable (Cambridge) alquila líneas de 2 Mbps a un distribuidor local de equipos informáticos, Acorn Computers Ltd.

Por otra parte, gracias a la liberalización de las telecomunicaciones, los operadores de cable no solamente se interesan en ofrecer servicios combinados de telefonía y datos a las empresas, sino que también se muestran cada vez más atraídos por la telefonía local básica para sus usuarios residenciales.

5.2.1. Tarifación

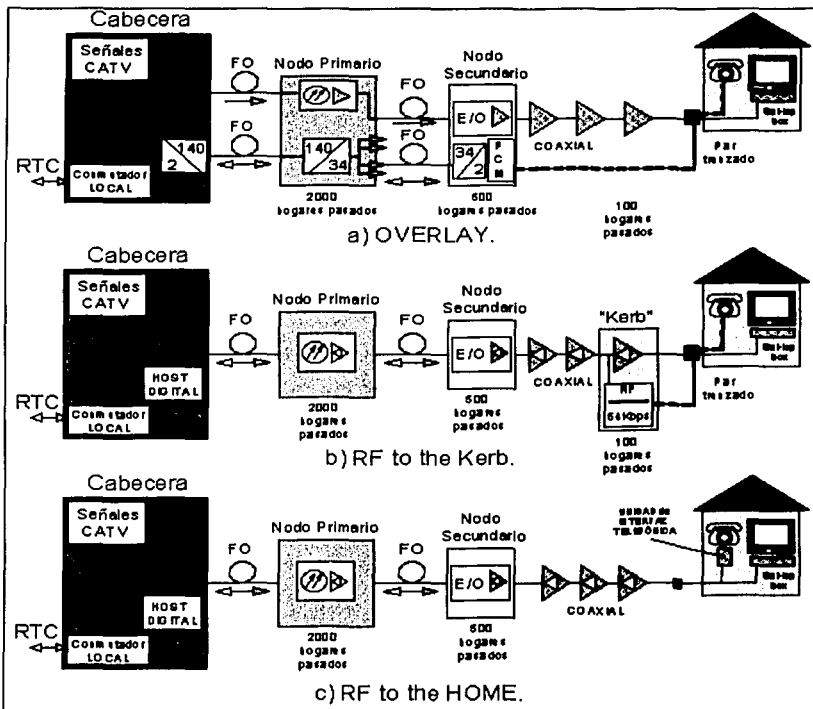
Hasta ahora, los operadores de CATV estaban acostumbrados a ofrecer un cierto número de canales de TV y cobrar por ello una cantidad fija al mes. Incluso los incipientes servicios y aplicaciones de datos a alta velocidad por cable pueden cobrarse de esta manera. El servicio telefónico, por el contrario, ha de cobrarse en función de la utilización que cada usuario hace de él, aparte de unas cuotas fijas. Parece que las redes de telecomunicaciones multiservicio HFC tienden actualmente hacia una plataforma de tarifación integrada que determine de manera conjunta el importe de una única factura que se presentará a cada usuario 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 tarifación de los servicios, los operadores de cable tienen varias opciones. La más inmediata es la de intentar adaptar sus sistemas de tarifación tradicionales de CATV a nuevos servicios como la telefonía. También existen nuevas soluciones de software para la integración de estas funciones desarrolladas por compañías especializadas, o incluso puede subcontratarse todo el proceso de tarifación a una tercera empresa que se encargue de todo. La tarifación 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.

5.2.2. Soluciones para la Telefonía por Cable

La primera opción tecnológica existente para ofrecer telefonía por cable consiste en superponer una red de acceso telefónico a la red de distribución de televisión por cable. Esta arquitectura, conocida habitualmente como overlay, combina dos tecnologías diferentes sobre las que se tiene una gran experiencia por separado, por lo que su construcción resulta relativamente sencilla. Y aunque no se alcanza con ella un nivel alto de integración de la red, tiene la capacidad de poder ser diseñada de tal manera que sea de rápido despliegue, económica, flexible, fiable, y que tenga en cuenta una posible evolución futura hacia arquitecturas más avanzadas y con un mayor nivel de integración. La arquitectura overlay lleva un canal de 64 Kbps hasta cada uno de

los hogares pasados por la red, a través de un cable de pares, directamente desde el nodo óptico. En el nodo, las señales a 64 Kbps se multiplexan para formar canales agregados a 2 Mbps, y éstos a su vez forman canales de niveles jerárquicos superiores (8, 34 y 140 Mbps), hasta llegar a la cabecera. En la cabecera, un conmutador local hace de interfaz entre la red overlay y la red telefónica conmutada (RTC). En este tipo de arquitectura, por tanto, el operador pone a disposición de cada usuario un canal telefónico dedicado, y toda la concentración del tráfico se realiza en la cabecera.



La figura anterior muestra diferentes sistemas de telefonía por cable. **a) Arquitectura overlay:** las señales de CATV y las señales telefónicas llegan al usuario a través de dos redes superpuestas. **b) RF hasta la acera:** las señales telefónicas se transportan en el espectro de RF de la red HFC hasta un nodo telefónico ("Kerb") donde pasan a su formato digital en banda base (64 Kbps). De allí, un par trenzado las lleva al usuario. **c) RF hasta el hogar:** todas las señales comparten el espectro de RF de la red HFC. Las señales telefónicas se convierten a banda base en el hogar del usuario, donde está instalado un equipo que hace de interfaz con el teléfono.

La segunda opción tecnológica consiste en aprovechar la infraestructura de la red HFC de CATV para transportar las señales telefónicas en el espectro de RF de la misma. Se reservan para el tráfico telefónico ciertos canales del espectro descendente (86-862 MHz.) y del de retorno (5-55 MHz.). No se dedica a cada usuario un canal de 64 Kbps, sino que todos los usuarios de una misma zona de distribución (la servida por un nodo óptico, por ejemplo) comparten una serie de ranuras temporales de 64 Kbps a las que acceden según un esquema TDMA (Acceso Múltiple por División Temporal).

La propia red HFC realiza, por consiguiente, una concentración de tráfico telefónico previa a la que tiene lugar en el conmutador local de la cabecera, y en un grado que dependerá de la calidad de servicio que se quiera ofrecer y del dimensionado del sistema de acceso telefónico. Esta concentración del tráfico permite simplificar los equipos digitales de cabecera, ahorrar ancho de banda en la red HFC (muy importante en el canal de retorno), y flexibilizar el sistema frente a problemas de ruido e interferencias puesto que la asignación de canales de RF a los usuarios se realiza de manera dinámica.

Dentro de la segunda opción tecnológica descrita existen dos variantes: RF to the Kerb, y RF to the Home (RF hasta la acera y RF hasta el hogar, respectivamente). La primera variante consiste en llevar las señales telefónicas en su formato de RF hasta un nodo telefónico en el que se convierten a su formato digital en banda base (señales telefónicas de 64Kbps). De este nodo

parten pares trenzados hasta cada uno de los hogares. En la segunda variante, RF to the Home, la red de distribución de coaxial de la red HFC lleva hasta los hogares todas las señales provenientes de la cabecera, tanto las de TV y otros servicios, como las señales de telefonía. Es, por tanto, en el hogar del usuario donde se realiza la conversión de RF a señal digital de 64 Kbps en banda base.

La diferencia fundamental entre ambas variantes es el punto donde se pasa de RF a 64 Kbps. En el primer caso, un solo equipo localizado en un nodo telefónico sirve a unas decenas de hogares mediante líneas punto a punto de pares trenzados, y el resto de servicios llegan a través de la red de distribución de coaxial. En el segundo caso, todas las señales llegan a través de cable coaxial, y la conversión se realiza en el hogar del usuario, por lo que éste deberá disponer de un equipo que haga de interfaz entre la red HFC y su terminal telefónica.

La arquitectura overlay es la primera solución que se adoptó para ofrecer servicios telefónicos en redes de CATV, sin embargo, su implantación es considerablemente más cara que en el caso de RF hasta la acera o hasta el hogar, para penetración baja del servicio telefónico. Conforme la penetración aumenta, los costos fijos del overlay se reparten entre más usuarios, y las tres soluciones tienden a igualar sus costos por usuario conectado. De todas formas, para una penetración alta, la solución más económica es llevar la RF hasta la acera. Además, en este último caso, el nivel de integración de la red es mucho mayor, un sistema único soporta todo tipo de servicios y aplicaciones de telecomunicación: vídeo, voz, y datos.

5.2.3. Fiabilidad

Una medida de las prestaciones y de la fiabilidad de una red de comunicaciones es la medida de la disponibilidad de la misma. Las normas para redes de banda estrecha de telefonía establecen un tiempo medio máximo en el que la red no está disponible (el usuario descuelga y no oye tono de invitación a marcar, por ejemplo) de 53 minutos al año por usuario, o lo que es lo mismo, una disponibilidad del 99.99%. En una red HFC existen numerosos elementos susceptibles fallar: derivadores, amplificadores, transmisores y receptores ópticos, servidores en

la cabecera, cable y elementos pasivos de la red de fibra óptica, acometida al usuario, cable coaxial, sistema de alimentación... De todos ellos, los tres últimos son los que en mayor medida contribuyen con sus fallos al tiempo total de la falta de disponibilidad de la red.

Para alcanzar el objetivo de los 53 minutos al año, es necesaria una serie de mejoras en el diseño y construcción de las redes HFC. El tamaño de los nodos ópticos, por ejemplo, es fundamental. La fiabilidad aumenta notablemente reduciendo este tamaño a alrededor de 500 hogares pasados o menos, ya que de esta manera se reduce el número de elementos en serie (cascadas de amplificadores en la red de distribución de coaxial, por ejemplo), la longitud de los tendidos de cable coaxial, el número de equipos de alimentación, etc.

Generalmente, la red de fibra óptica es mucho más segura y fiable que la de coaxial. Los fallos que tienen lugar en esta última incluyen cortes y rotura de cables, filtraciones de agua, deterioro de empalmes y conectores, etc., y guardan una relación directa con la antigüedad de los materiales empleados. En este sentido, 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 como el de telefonía. La acometida al hogar del usuario es otro de los puntos problemáticos de la red de coaxial debido básicamente a los conectores tipo F de coaxial, que en ocasiones no están bien montados o simplemente están mal conectados.

Por otra parte, la prioridad que se daba a las averías en las acometidas de los usuarios individuales antes de la llegada de los servicios interactivos era relativamente baja, por lo que un usuario podía permanecer desconectado o con problemas en su servicio de CATV durante muchas horas. La nueva concepción de la red HFC como red de telecomunicaciones de banda ancha y los problemas asociados a las comunicaciones por el canal de retorno que provocan estas averías individuales obligan a reconsiderar estas prioridades de reparación. En cuanto a 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 el propio trazado de la red (arquitecturas con anillos redundantes).

5.2.4. Alimentación

Cuando se produce un fallo en el suministro eléctrico el teléfono sigue funcionando con normalidad, ya que recibe la alimentación desde la central. Esto es bueno desde el punto de vista de la percepción que el usuario tiene de la fiabilidad de la red telefónica. En una red HFC, proporcionar una calidad de servicio comparable a la de la RTC supone llevar la alimentación (por el propio cable coaxial) desde el nodo óptico hasta el equipo que hace de interfaz entre el teléfono del usuario y la red de cable, es decir, hasta la acera o hasta el hogar, según sea la solución que se haya adoptado, de las comentadas anteriormente de telefonía por cable (RF to the Kerb o RF to the Home). Para ello, es necesario dotar a los nodos de sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI ó UPS), basados en baterías, grupos electrógenos, y redundancia en el suministro de energía (dos compañías eléctricas).

5.2.4.1. Alimentación Distribuida

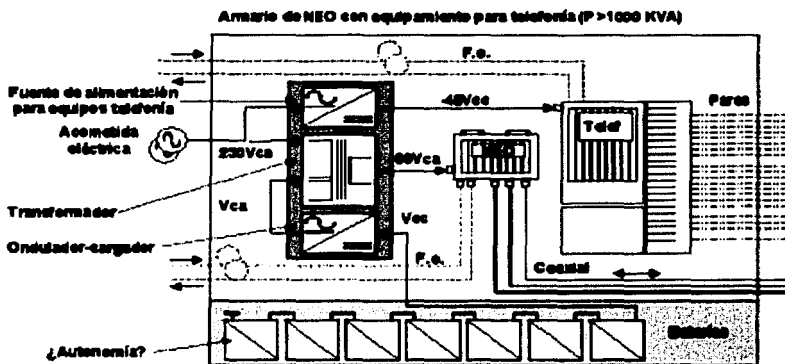
Vamos a ver en primer lugar en qué consiste y qué consecuencias tiene la adopción por parte del operador de un esquema distribuido de alimentación de nodos finales. En este esquema, cada elemento de la red dispone de sus propios equipos de alimentación. Esto es así en cualquiera de las dos alternativas para los nodos primarios y la cabecera. En el caso de los nodos finales, la disponibilidad de espacio suele ser reducida (los nodos se instalan, por regla general, en armarios en la vía pública, en azoteas, garajes, etc), por lo que el equipamiento de alimentación deberá reducirse a una acometida eléctrica y a un SAI con un grupo de baterías que proporcione un cierto tiempo de autonomía en caso de fallo en el suministro principal (0,5-1 hora). Las baterías suelen ser del tipo "sin mantenimiento"; de plomo, estancas, con recombinación de gases, y electrolito gelificado.

El SAI, básicamente compuesto por un transformador y un inversor-cargador, deberá encargarse de acondicionar la tensión y la corriente de entrada al formato adecuado para alimentar los equipos: normalmente, de corriente alterna trifásica o monofásica entre 220 y 400V, a corriente alterna monofásica a 60/90V para equipos de CATV, y/o corriente continua a -48V

para equipamiento de telefonía y datos. Los requerimientos de alimentación eléctrica de un nodo final que sirva un área de unos 500 HP, teniendo en cuenta los consumos combinados de los equipos de CATV (nodo electro-óptico y amplificadores de RF), y los de telefonía y datos (equipos de acceso y terminales de usuario), vienen a ser de alrededor de 1KW de potencia.

Como ventaja principal de un sistema distribuido destaca el hecho de que no es necesario acondicionar un local especial para los equipos de alimentación sino que éstos se reparten por los emplazamientos de los nodos finales, y las instalaciones son sencillas. Sin embargo, los inconvenientes son numerosos:

- Mayor dependencia de la calidad de servicio proporcionada por la compañía eléctrica que nos ofrece el suministro. No podemos instalar un grupo electrógeno junto al nodo final y la autonomía de las baterías es limitada.
- Nodos finales de mayor tamaño. Limitaciones de espacio en los emplazamientos de nodo final. No en todas partes cabe un nodo electro-óptico con su SAI correspondiente y su grupo de baterías.
- Elevados costes de mantenimiento. Las baterías son una fuente inagotable de problemas, que se multiplican cuando las tenemos dispersas geográficamente en distintos emplazamientos.
- Mayor dificultad para ofrecer una alta fiabilidad. Autonomía limitada.
- Aumenta el número de potenciales puntos de fallo.



El cable de fibra óptica que une el nodo primario con el nodo óptico es en realidad un cable híbrido especialmente diseñado para esta aplicación, formado por un tubo central que contiene 6 ó más fibras ópticas, rodeado por 9 conductores de aluminio cuya misión es transportar 480 V de corriente eléctrica alterna trifásica (3 hilos por fase). En el nodo óptico, las señales ópticas pasan a eléctricas y una fase de los 480 V de corriente alterna se transforma a 60 ó 90 V c.a. para alimentar la red de distribución de coaxial y las unidades de interfaz de red en los hogares de los usuarios.

5.2.4.2. Alimentación Centralizada

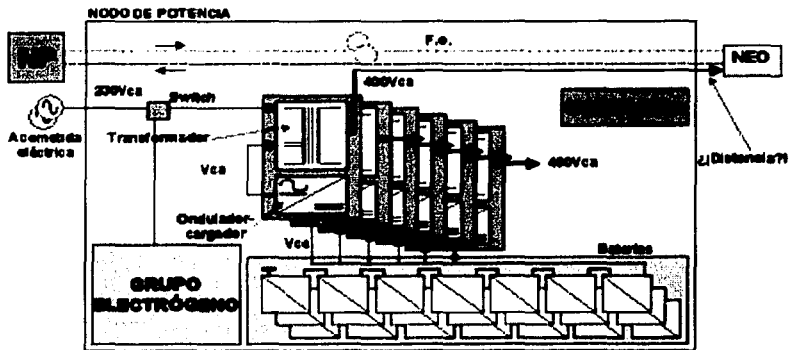
Un sistema de alimentación centralizada como este requiere unas instalaciones fiables en los nodos primarios. Afortunadamente, la alimentación centralizada es una tecnología bien desarrollada por las compañías telefónicas, por lo que un sistema como el diseñado por SNET no representa ningún problema tecnológico ni económico, y consigue, junto con el reducido tamaño de los nodos, elevar la fiabilidad del sistema y equipararla a la de la red convencional de telefonía.

Como ventajas del esquema de alimentación centralizada mediante nodos de potencia cabe citar:

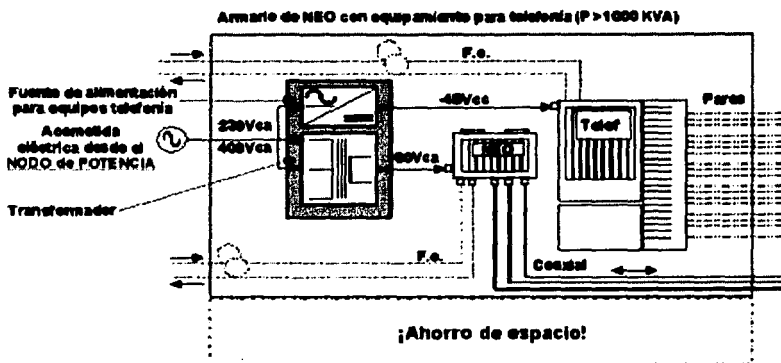
- Mayor eficiencia en la gestión de la energía.
- Mayor fiabilidad del sistema. Ya no son docenas de puntos los susceptibles de fallar, ahora es uno y mucho mejor controlado.
- Permite emplear un esquema redundante N+1 para los equipos de potencia.
- Escalabilidad. Puede ampliarse la capacidad del nodo de potencia de manera sencilla conforme aumentan las exigencias de potencia de alimentación en las diferentes áreas de servicio de los nodos finales.
- Disponibilidad de elementos estándar (SAI, grupos electrógenos, baterías). Al disponer de un espacio bien acondicionado y de tamaño adecuado no es necesario recurrir a soluciones a medida y se puede trabajar con elementos estándar montados en bastidores de dimensiones normalizadas.
- Menores costes de operación y mantenimiento. La operación se facilita enormemente con el uso de sistemas de gestión remota de los emplazamientos de los nodos de potencia. Y el mantenimiento se realiza más cómodamente y de manera más controlada.
- Coste de las baterías inferior al instalar grupos en vez de infinidad de unidades dispersas.
- Menor número de acometidas eléctricas que contratar.
- Sistema de monitorización más sencillo y barato; menor número de transponders.
- Mejor aprovechamiento de espacios.

Aunque también hay inconvenientes:

- Necesidad de habilitar un local especial para la ubicación del Nodo de Potencia. (Aunque puede coincidir con el del Nodo Primario).
- Necesidad de diseñar y desplegar una red paralela de distribución de energía eléctrica y obtener permisos de paso para la misma (ya no es sólo fibra). En ocasiones, los operadores de cable llegan a acuerdos con otras compañías que poseen infraestructuras de canalización para pasar sus cables por ellas. Un ejemplo es la compañía del gas.
- El fallo de un Nodo de Potencia afecta a una porción mayor de la red de cable



Nodo de Potencia. Alimentación centralizada



Nodo electro-óptico. Alimentación centralizada.

La solución óptima debería pasar por un diseño mixto que combine un cierto grado de centralización de la alimentación de nodos finales en aquellas zonas en que por densidad de población (elevado número de hogares pasados por kilómetro) o por exigencias extraordinarias de fiabilidad de la red, y un sistema distribuido para aquellos nodos que no exijan una alta fiabilidad del suministro eléctrico o bien no lo justifiquen económicamente dada la baja penetración de los servicios o lo distante de su localización geográfica del resto de nodos de la red. En la práctica, el operador de cable se encuentra con que debe construir su red de manera casi artesanal, estudiando cada una de las áreas de servicio con el mayor detenimiento para encontrar la solución óptima en cada caso. Los sistemas de alimentación son una pieza clave en el complejo engranaje que constituyen las redes de telecomunicación de banda ancha. Una gran calidad de servicio empieza por una alta disponibilidad de la red que lo soporta.

6. Normalización

6.1. Organismos de Estandarización

- DAVIC es una asociación sin fines de lucro establecida en Ginebra (Suiza) y tiene como objetivo potenciar la implantación de las nuevas aplicaciones y servicios audiovisuales emergentes mediante la disponibilidad de normas internacionales sobre interfaces abiertas y protocolos que maximicen la interoperabilidad de los sistemas. DAVIC tiene un campo de actuación que incluye todas aquellas aplicaciones y servicios que contienen un componente importante de audio y vídeo. Está formado por más de 200 empresas de más de 20 países.
- El proyecto DVB es un grupo de más de 200 organizaciones de 25 países que cooperan para establecer una base técnica para la introducción de sistemas que se emplearán para la difusión digital de vídeo, voz y datos. El DVB está desarrollando un conjunto de especificaciones para llevar la televisión digital hasta los hogares, y está trabajando sobre normas para sistemas de satélite, cable, transmisión digital terrestre, servicios de transmisión de datos, sistemas de codificación, y una interfaz de acceso condicional común que pueda beneficiarse de las economías de escala por hacer uso de todo un conjunto de componentes tecnológicos comunes.
- El IEEE es una organización profesional norteamericana con más de 300,000 miembros que representan un amplio segmento del sector de la informática y las comunicaciones. El IEEE es un líder mundial en el desarrollo y la difusión de normas de tecnología eléctrica y electrónica. De particular importancia son las normas referentes a las redes de área local y metropolitana (LAN y MAN, respectivamente; serie IEEE 802).
- El ATM Forum es una organización internacional sin fines de lucro fundada en 1991, con sede en California (USA), cuyo objetivo es el de acelerar el uso de productos y servicios de comunicaciones basados en el modo de transferencia asíncrono (ATM), potenciando la rápida

convergencia de las especificaciones de interoperabilidad entre sistemas. El ATM Forum promueve la colaboración entre empresas, y cuenta actualmente con unas 700 empresas miembro.

- SCTE es una organización profesional sin fines de lucro fundada en USA en 1969 para promover la difusión de conocimientos prácticos y técnicos en el campo de la televisión por cable y las comunicaciones de banda ancha. En agosto de 1995 el SCTE se convirtió en una organización acreditada para el desarrollo de estándares del American National Standards Institute (ANSI).
- MCNS es una sociedad limitada constituida por las empresas TCI, Time Warner, Cox, Comcast, Continental Cablevision, Rogers CableSystems, CableLabs y Arthur D. Little. MCNS se creó con el objetivo de desarrollar normas para comunicaciones de datos sobre redes HFC, pero no se trata de una organización reconocida de normalización y debe remitir sus propuestas al ITU a través de la SCTE.
- Por otra parte, el DAVIC y el grupo de trabajo 802.14 del IEEE desarrollan una norma para sistemas ATM sobre redes HFC. El grupo de trabajo del IEEE 802.14 tiene como objetivo desarrollar normas para el despliegue de todo tipo de servicios de banda ancha a través de las infraestructuras HFC de cable, y recibe propuestas de multitud de otros grupos y empresas que desarrollan tecnología para redes de cable. Concretamente, el IEEE 802.14 está trabajando en las capas MAC y PHY para cablemódems. Diferentes empresas han anunciado que fabricarán cablemódems de acuerdo con la norma IEEE 802.14, aunque la mayoría de estas empresas también ha manifestado que construirá cablemódems según las especificaciones del MCNS.
- MCNS también desarrolla sus propias especificaciones para las capas MAC y PHY. Su gran poder económico valida automáticamente cualquier esfuerzo que realice. MCNS ha trabajado conjuntamente con el IEEE 802.14. Los fabricantes han lanzado al mercado una infinidad de productos para comunicaciones bidireccionales por cable, ya sea con retorno a través de la propia red HFC o a través de la red telefónica.

6.2. IEEE 802.14

El Grupo IEEE 802.14 es una parte de la larga serie de estándares 802 de LAN/MAN. Los estándares IEEE 802 para Ethernet y Token Ring, son los mas extendidos en las redes de comunicación, y productos basados en los estándares sobre 802 dan razón de la mayoría de nodos de comunicación instalados en la industria.

El Grupo de trabajo IEEE 802.14 está caracterizado para crear estándares para transportar información sobre el cable tradicional de redes de TV. La arquitectura especifica un híbrido fibra óptica/coaxial que puede abarcar un radio de 80 kilómetros desde la cabecera. El objetivo primordial del protocolo de red en el diseño es el de transportar diferentes tipos de tráfico del IEEE 802.2 LLC (Control de Enlace Lógico), por ejemplo Ethernet. Sin embargo existe una fuerte opinión dentro del grupo que la red debería soportar redes ATM para llevar varios tipos de tráfico multimedia.

El grupo del estándar de la IEEE 802.14 define el protocolo de Capa Física y Control de Acceso al Medio (MAC) de redes usando cables Híbridos Fibra Óptica/Coaxial (HFC). Varios protocolos MAC han sido propuestos por el grupo de trabajo el cual tiene que comenzar la evaluación de procesos para concebir un sencillo protocolo MAC satisfaciendo todos los requerimientos de HFC.

Actualmente existen organizaciones implicadas en procesos de normalización de las telecomunicaciones en todo el mundo.

7. Ventajas y Desventajas de la Red HFC

La red de distribución de coaxial constituye una gran antena que puede recoger señales indeseadas en todo el área a la que sirve. La mayor parte de estas interferencias (95%) penetra en la red en los hogares de los usuarios (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 usuarios. Cualquier señal que exista en el espectro de radio frecuencia (RF) en la banda de 5 a 55 MHz puede 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 las computadoras; interferencias eléctricas de tubos de neón, motores eléctricos, sistema de encendido de vehículos, secadores de pelo; interferencias generadas en líneas eléctricas; etc.

Además de las interferencias de banda estrecha provenientes de estaciones emisoras de radio, uno de los principales problemas de interferencias en la parte de coaxial de una red HFC es el que representa el 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 a la propia red, 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 -composite secondorder- y CTB -composite triple beat-, 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 (por debajo del umbral de emisión láser) de la característica entrada-salida, en la que el láser no presenta respuesta (sencillamente se apaga). Este fenómeno se conoce como láser clipping, y es el responsable de la aparición de productos de intermodulación a la salida del mismo.

El canal de retorno exige una mayor atención que el descendente por parte del operador de red si quiere asegurar unas ciertas prestaciones en el enlace digital ascendente. De todas formas, una red HFC correctamente diseñada y con nodos que sirvan a unos 500 hogares constituye un sistema de envidiables prestaciones de cara al establecimiento de todo tipo de servicios de telecomunicaciones.

8. Componentes de una red HFC

Para utilizar la capacidad de los sistemas de transmisión de banda ancha HFC se están desarrollando modems RF para telefonía, Ethernet, T-1 así como para MPEG-1.5, MPEG-2 y formato de televisión de alta definición (HDTV). A continuación se listan los componentes de una red híbrida de fibra óptica y cable coaxial.

8.1. Cables de fibra óptica monomodo:

Hay tres tipos de cables de fibra óptica: con amortiguamiento ajustado, separado y holgado. Las especificaciones eléctricas son idénticas para los tres:

Longitud de onda	1310 nm/1550 nm
Atenuación (dB/Km)	0.35/0.25
Diámetro del núcleo (micrones)	8.3 nominal
Diámetro de revestimiento (micrones)	125 ± 1.0
Diámetro de la cubierta (micrones)	245 ± 10.0
Longitud de onda de corte (nm)	1250 ± 70
Longitud de onda de dispersión cero (nm)	1310 ± 10

siendo las características mecánicas las diferencias predominantes.

La fibra óptica es una guía de onda muy pequeña. En un ambiente libre de esfuerzos o fuerzas externas, éste guía de onda transmitirá la luz con una mínima pérdida o atenuación. Para aislar la fibra de estas fuerzas externas, dos protecciones de primer nivel de la fibra se han desarrollado: amortiguamiento ajustado y holgado.

Una vez que sea seleccionado cualquiera de los dos amortiguamientos, el diseñador del sistema debe tomar la decisión de intercambiar entre las pérdidas por micro dobleces y flexibilidad con el propósito de obtener sus metas de operación.

Para la instalación del cable, las propiedades mecánicas tales como la fuerza de tensión, resistencia al impacto, flexiones y dobleces son importantes. Los requerimientos ambientales abarca la resistencia la humedad, químicos y otros tipos de condiciones atmosféricas. Las cargas normales del cable durante su instalación pueden poner a la fibra en un estado de tensión.

El nivel de tensión puede causar pérdidas por micro curvaturas que puedan resultar en un incremento del atenuación y efectos posibles de pérdida. Para corregir este problema se le agregan ciertos aditamentos a la estructura del cable óptico. Tales aditamentos de refuerzo proporcionan al cable óptico propiedades similares a los cables electrónicos y mantienen a las fibras libre de esfuerzos al minimizar la elongación y contracción. En algunos casos, también actúan como elementos estabilizadores de la temperatura.

La fibra óptica se estira muy poco antes de romperse, por lo tanto los aditamentos de refuerzo deben tener baja elongación a una carga de tensión especificada.

8.1.1. Cable de tubo holgado

En la construcción de amortiguamiento holgado, la fibra está contenida en un tubo de plástico que tiene un diámetro interno considerablemente mayor que la misma fibra. El interior del tubo plástico es generalmente relleno con un material gel.

El tubo holgado aísla la fibra de las fuerzas mecánicas exteriores que pudieran actuar en el cable. Para cables multifibras, un número de estos tubos, cada uno de ellos conteniendo múltiples fibras, son combinados con un refuerzo para mantener las fibras libres de tensión y para minimizar la elongación y la contracción.

Al variar la cantidad de fibra dentro del tubo durante el proceso de cableado, el grado de encogimiento debido a las variaciones de temperatura pueden ser controladas y por lo tanto el grado de atenuación sobre un rango de temperatura es minimizado.

Los cables de tubo suelto generalmente constan de seis o doce fibras en un manojo dentro de un tubo de amortiguamiento.

El cable de tubo holgado utiliza:

- Un compuesto de relleno dentro del tubo de amortiguamiento
- Un compuesto de relleno entre los tubos de amortiguamiento
- Rellenos en blanco para substituir los tubos de amortiguamiento que no se requieran
- Una capa de hilo de aramid para incrementar la fuerza de tensión
- Un blindaje (si se requiere)

A continuación se muestran las características más significativas de dos tipos de cables de tubo holgado:

Número de fibras	2-36	37-22
Número de tubos de amortiguamiento	6	6
Diámetro externo	0.56 pulgadas	0.56 pulgadas
Peso (libras/1000 pies)	150	150
Máxima carga de tensión durante la instalación	600 libras	600 libras
Máxima carga de tensión durante la operación	200 libras	200 libras
Radio mínimo de dobléz bajo carga	11 pulgadas	11 pulgadas

Todos los cables de tubo holgado vienen en longitudes de hasta 35,000 pies en bobinas que van desde las 42 pulgadas de diámetro para 5000 pies a 78 pulgadas de diámetro para 35,000 pies. El

peso del cable es aproximadamente de 150 libras por cada 1000 pies. El cable blindado duplica la resistencia a la compresión de 500 a 1000 libras.

Cada construcción tiene sus ventajas inherentes. El tubo con amortiguamiento holgado ofrece menor atenuación del cable debido a los micro dobleces en una ciudadana, además de un alto nivel de aislamiento a las fuerzas externas. Bajo continuas tensión mecánica, el tubo holgado permite más características de transmisión estable.

8.1.2. Cable con amortiguamiento ajustado

El amortiguamiento ajustado utiliza una extrusión de plástico sobre el recubrimiento de la fibra. Los cables construidos con amortiguamiento ajustado son capaces de soportar mayores fuerzas de contracción e impacto sin que se rompa la fibra.

El diseño de amortiguamiento ajustado, sin embargo, tiene un menor aislamiento a las tensiones provocadas por las variaciones de temperatura. Mientras que son relativamente más flexibles que los cables de amortiguamiento holgado, si el amortiguamiento ajustado se presenta con dobleces pronunciados o torcimientos, las pérdidas ópticas pueden exceder las especificaciones nominales debidas a los micro dobleces.

La configuración de los cables con amortiguamiento ajustado contienen manojos de 6 o 12 fibras:

- Hilos de unión alrededor de cada manajo
- un compuesto de relleno entre manajos
- un tubo de amortiguamiento combinan todos los manajos
- una barrera contra la humedad y una cubierta exterior con un refuerzo dieléctrico

La versión con blindaje contienen un blindaje dentro de la cubierta exterior y puede contener un refuerzo de acero dentro de la misma cubierta.

Debido sus características, las propiedades de este cable son diferentes al anterior:

Número de fibras	2-48	49-96
Número de tubos de amortiguamiento	1	1
Diámetro externo	0.49 pulgadas	0.57 pulgadas
Peso (libras/1000 pies)	115	152
Máxima carga de tensión durante la instalación	600 libras	600 libras
Máxima carga de tensión durante la operación	200 libras	200 libras
Radio mínimo de doblez bajo carga	10 pulgadas	11.5 pulgadas

La resistencia a la contracción ara el cable blindado es de 1000 libras y el doble de la version sin blindaje.

8.1.3. Cable con amortiguamiento separado

Una forma refinada del cable con amortiguamiento ajustado es el cable con amortiguamiento separado. En el cable con amortiguamiento separado, una fibra con amortiguamiento ajustado está rodeada de hilo Aramid y una cubierta, normalmente de PVC. Estos elementos de una única fibra son cubiertas por una funda común para formar el cable separado. Este cable dentro del cable ofrece la ventaja de una instalación directa a un conector simple.

Estos tipo de cables son ligeros y más flexibles. Las fibras no están en manojos sino que residen en el centro del tubo de amortiguamiento. Las fibras se mantienen en el centro del tubo de amortiguamiento con un compuesto de relleno.

Estos cables están disponibles con menor cantidad de fibras:

Número de fibras	2-12
Número de tubos de amortiguamiento	1
Diámetro externo	0.35 pulgadas
Peso (libras/1000 pies)	57
Máxima carga de tensión durante la instalación	400 libras
Máxima carga de tensión durante la operación	90 libras
Radio mínimo de dobléz bajo carga	7 pulgadas

Este cable está normalmente disponible en versión blindada que duplica la resistencia a la compresión de 500 a 1000 libras.

8.2. Equipo de terminación de fibra óptica

8.2.1. Paneles de almacenamiento y distribución

Hay varios proveedores de equipo de almacenamiento y terminaciones de fibra para montaje en Rack y es importante que los paneles de las terminaciones de fibra y los conectores incorporen los siguientes parámetros:

- capacidad de montaje en rack y en pared.
- Requerimiento de mínimo espacio en rack
- conexiones a tierra
- alivio de tensión
- almacenamiento para el exceso de fibra
- almacenamiento de protección para todos los empalmes
- cajones independientes de empalmes
- cada uno con una o dos bandejas de empalmes

- panel frontal removible y puerta frontal de policarbonato
- adaptadores y receptáculos SC y ST

8.3. Accesorios y conectores para fibra monomodo

Los conectores deben ser ST o SC con bayoneta. La pérdida por inserción deberá ser de 0.2 decibeles o mejor.

La reflexión debe ser mejor en -35 decibeles (0.1 a 0.01%) como se obtiene en el Pulido PC. Se recomienda el Pulido super PC.

También se recomienda el uso de receptáculos de acoplamientos duplex para combinar dos conectores individuales.

Los conectores ST de compresión ligera ofrece una terminación libre de epóxicos que se puede llevar a cabo en menos de 2 minutos. Consiste de 2 pasos de compresión para asegurar la fibra, hendirla y 30 segundos de pulido.

Pueden ser usados adaptadores, si se requieren, pero estos tienen que ser ST o SC con funda de zirconia. Cuando se usen estos adaptadores en cajas para montaje en pared, use retenedores de plástico angulados que puedan ser quitados individualmente para su limpieza.

8.4. Equipo de transmisión por fibra óptica

8.4.1. Transmisores de un canal

Los transmisores de fibra óptica de un canal son unidades de banda base adecuadas para un solo canal de vídeo y audio. Aunque no son usados en sistemas de transmisión Multicanal, son una solución muy económica para una señal de retorno de un canal de un edificio de baja densidad.

Sus especificaciones más comunes son:

Entrada/Salida de Video	1 Vp-p
Pérdida de retorno	30 dB
Razón Señal-Ruido	62 dB
Potencia de Transmisión	1000 μ W
Longitud de onda	20 Hz a 10 MHz
Sensitividad del Receptor	20 μ W

La demanda óptica es usualmente de diez decibeles, lo que permite distancias de hasta 20 kilómetros. Hay disponibles transmisores para montaje en pared para una fácil instalación en locaciones remotas. Para traducir las señales en banda base a un canal RF, puede ser usado un modulador estándar. Se requiere de un demodulador para convertir la señal de la frecuencia RF a la banda base para ser transmitida por la fibra.

8.4.2. Transmisores Multicanal

Diseñados para ser operados en sistemas HFC multicanales, hay una gran variedad de transmisores de baja potencia y alta potencia en el mercado. Los transmisores en las locaciones centrales son generalmente montados en rack junto con los receptores y los amplificadores RF. El equipo de transmisión para locaciones remotas pueden tener varios tipos de receptáculos. Como ejemplo tenemos los de perfil RU, montaje en rack, o carcasas de fundición de aluminio para exterior que combinan los transmisores de retorno con los receptores de envío y los amplificadores RF.

Mientras que los transmisores de fibra óptica de salida se requieren para transmitir una banda lo más ancha posible (50 a 550 y 50 a 750 MHz), los transmisores de retorno o entrada son generalmente sub alimentadas diseñadas para transmisiones de 5 a 200 MHz.

Estas son las especificaciones técnicas más comunes:

	Potencia media	Alta Potencia	Baja Potencia	Baja Potencia
Respuesta en frecuencia (MHz)	50-750	50-750	5-550	5-550
Longitud de onda (nm)	1310	1310	1310	1310
Potencia de Transmisión (mW)	9	12	0.25	0.3
(dBμW)	39	42.5	22.5	24.5
Demanda Óptica	11	12.5	9.5	11.5
Inpedancia (Ohms)	75	75	75	75
Nivel de entrada RF (dBmV)	32	32	32	32
Planicidad (dB) 50-750 MHz	± 1.5	± 1.5	± 1.0	± 1.0
Relación C/N (dB)	51	52	50	51
Pulso compuesto de seg. orden (dB)	-60	-60	-60	-60
Tercer Pulso compuesto (dB)	-65	-65	-62	-62.5
Pérdida de retorno (dB)	16	16	16	16
Fuente de Voltaje (Vca)	110	110	110	110
Corriente (A)	0.5	0.8	0.2	0.25

En comparación, las especificaciones para los transmisores de retorno están generalmente basados en una banda de retorno de 5 a 200 MHz. Esta carga de 30 canales requiere especificaciones menos rígidas y pueden ser provistas por un equipo láser Fabry Perot más económico.

	Fabry Perot	Fabry Perot	Baja Potencia	Potencia media
Respuesta en frecuencia (MHz)	5-186	5-200	5-200	5-200
Carga de canal	8	24	32	32
Potencia de Transmisión (dBμW/canal)	23	23	22	35.5
Demanda Óptica	10	10	9	11
Impedancia (Ohms)	75	75	75	75
Nivel de entrada RF (dBmV)	32	32	32	32
Planicidad (dB) 5-200 MHz	± 1.0	± 1.0	± 1.0	± 1.0
Relación C/N (dB)	50	50	51	51
Tercer pulso compuesto (dB)	-62.5	-62.5	-62	-65
Pérdida de retorno (dB)	16	16	16	16

Incluso si se está planeando un sistema de subdivisión con un retorno de 5 a 46 MHz, deben ser usados estos transmisores de retorno ya que no hay equipo de transmisión de 5 a 46 MHz. La filosofía del sistema HFC es convertir los rangos de retorno de 5 a 46 MHz a una banda de retorno de 5 a 200 MHz para el segmento de retorno de la fibra óptica.

8.4.3. Receptores Multicanal

Hay una gran variedad de receptores de fibra óptica en el mercado que están basados en el principio de operación del fotodiodo. La señal óptica es recibida, traducida al ancho de banda RF y amplificada al nivel requerido de salida.

Los receptores para la instalación en las locaciones centrales en las cabeceras puede ser obtenidos en unidades para montaje en rack auto contenidos. En la locación remota, el receptor puede ser montado sobre la terminal de la fibra.

Los receptores son generalmente diseñados para el ancho de banda por lo tanto pueden ser usados para la dirección de entrada y salida.

Estas son las especificaciones más comunes:

Respuesta en frecuencia (MHz)	5-200	5-550	5-750
Capacidad de canal	24-32	32-80	60-80
Nivel de Salida RF (dBmV)	+13	+13 ó 33	+33
Planicidad (dB) 5-200 MHz	±0.5	±0.5	±0.5
Relación C/N (dB)	53.5	51.5	51.0
Tercer pulso compuesto (dB)	122 (24)	108 (60)	80 (80)

8.5. Alarma de falla y telemetría

Quando se compran transmisores y receptores de fibra óptica, es importante considerar la habilidad de estas unidades para reportar fallas en la transmisión.

Las alarmas de falla y los reportes de la telemetría de la integridad operacional de las unidades será de gran ayuda para la supervisión de la red.

Los signos vitales de un transmisor incluyen:

- pérdida de energía
- pérdida de señal
- la temperatura del láser

los signos vitales de un receptor incluyen:

- pérdida de energía
- pérdida de señal
- baja potencia óptica de recepción

La sección de telemetría de la unidad debe ser cableado de tal manera que combine las condiciones de falla de alarma y múltiples unidades transmisoras y receptores.

8.6. Cable coaxial y equipo

8.6.1. Cable coaxial para planta externa

Existen una gran variedad de cables para uso externo. Las principales diferencias son los tamaños del cable. Mientras más grande sea el diámetro menor será la atenuación. El tipo de dieléctico utilizado también influye en la atenuación, mientras más aire encontremos en la estructura celular del dieléctico, menor será la atenuación.

Las siguientes especificaciones cubren los cables de planta externa que usan un dieléctico expandido de polietileno y una funda de polietileno de mediana densidad.

Cables dieléctricos estándar:

Dimensiones Físicas	Serie 500	Serie 625	Serie 750	Serie 875
	Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas
Diámetro nominal del conductor	0.109	0.137	0.167	0.194
Diámetro nominal sobre	0.450	0.563	0.678	0.797
Diámetro nominal sobre	0.500	0.625	0.678	0.797
Espesor nominal del conductor	0.025	0.031	0.036	0.039
Versión con funda				
Diámetro nominal sobre la funda	0.560	0.685	0.820	0.945
Espesor nominal de la pared de	0.030	0.030	0.030	0.030
Versión subterránea				
Diámetro nominal sobre la funda	0.570	0.695	0.830	0.955
Versiones blindadas				
Diámetro nominal sobre blindaje	0.635	0.755	0.920	1.017
Espesor nominal del blindaje	0.008	0.008	0.008	0.008
Diámetro nominal sobre funda	0.715	0.835	1.000	1.097
Espesor nominal sobre funda	0.040	0.040	0.040	0.040

Las diferencias en el desempeño mecánico de estos cables son los siguientes:

Características mecánicas	Serie 500	Serie 625	Serie 750	Serie 875
Radio mínimo de doblez:				
(sin forro)	6.5 pulgadas	7.5 pulgadas	9.0 pulgadas	10.0
(Con forro)	6.0 pulgadas	7.0 pulgadas	8.0 pulgadas	9.0 pulgadas
(Blindado)	8.5 pulgadas	9.5 pulgadas	10.5 pulgadas	11.5
Máxima tensión de	300 libras	475 libras	675 libras	875 libras
Máxima resistencia de CD @				
Revestimiento de cobre				
(Conductor interno)/1000 pies	1.35 ohms	0.84 ohms	0.57 ohms	0.42 ohms
(Conductor externo)/1000 pies	0.37 ohms	0.23 ohms	0.19 ohms	0.55 ohms
(Circuito)/1000 pies	1.72 ohms	1.071 ohms	0.76 ohms	0.55 ohms

En la atenuación sobre frecuencia de estos cables se compara en la siguiente tabla:

Frecuencia (MHz)	Serie 500 Máx. dB/100'	Serie 625 Máx. dB/100'	Serie 750 Máx. dB/100'	Serie 875 Máx. dB/100'
5	0.16	0.13	0.11	0.09
30	0.40	0.32	0.26	0.23
45	0.49	0.41	0.33	0.28
50	0.52	0.42	0.35	0.30
55 (canal 2)	0.54	0.46	0.37	0.33
83 (canal 6)	0.66	0.57	0.46	0.41
108	0.75	0.63	0.52	0.45
150	0.90	0.77	0.62	0.55
181	1.00	0.85	0.68	0.60
193	1.03	0.88	0.71	0.62
211 (canal 13)	1.09	0.92	0.74	0.66
220	1.11	0.94	0.76	0.67
250	1.20	1.00	0.81	0.72
270	1.24	1.02	0.84	0.73
300	1.31	1.04	0.89	0.78
325	1.37	1.13	0.93	0.81
350	1.43	1.18	0.97	0.84
400	1.53	1.27	1.05	0.91
425	1.57	1.32	1.08	0.95
450	1.63	1.35	1.12	0.97
500	1.73	1.43	1.18	1.03

550	1.82	1.50	1.24	1.08
600	1.91	1.58	1.31	1.14
750	2.16	1.78	1.48	1.29
865	2.34	1.93	1.61	1.41
1000	2.52	2.07	1.74	1.53

Como puede verse, mientras que las diferencias son pequeñas a bajas frecuencias, las diferencias entre la serie 500 y la serie 875 a 750 MHz es casi 1 dB por 100 pies a 1000 MHz.

8.6.2. Cable coaxial para planta interior

Todos los cables que se usan en la planta externa pueden ser usados dentro de los edificios excepto donde lo estipula el Código Eléctrico Nacional (NEC) de los Estados Unidos.

El Código Eléctrico Nacional (NEC) "National Electrical Code" describe los lineamientos mínimos de seguridad establecidos por la Asociación Nacional para la Protección contra el Fuego "National Fire Protection Association" (NFPA). El artículo 820 describe los requerimientos asociados con la televisión por cable (CATV) y los sistemas de distribución de radio. Los cables coaxiales instalados dentro de los edificios son probados y etiquetados de acuerdo a los estándares de la NEC. Las agencias de códigos de construcción estatales y locales deben ser consultadas así como las organizaciones de inspección contra fuego antes de la selección del cable. Todos los cables coaxiales que cumplan con los requerimientos NEC deben ser marcados e identificados con el tipo de clasificación para lo que fueron diseñados.

8.7. Otros Componentes

8.7.1. Amplificadores de banda ancha

Los sistemas de banda ancha consisten en segmentos troncales y de distribución por lo tanto existen diferencias entre los amplificadores troncales y los amplificadores de distribución.

Mientras que los amplificadores troncales están diseñados para amplificar la señal una y otra vez, los amplificadores de distribución están diseñados para niveles de alta ganancia y alta salida para alimentar los ramales que entregan la señal al usuario.

Hay un gran número de variaciones del desempeño y tipo de amplificadores en el mercado. Hay versiones Push-Pull, PHD, alimentación frontal, salida actual y cuádruple, modelos con control de nivel automático y/o térmico.

8.7.2. Componentes Pasivos

Dentro de una red HFC tenemos equipos pasivos tales como separadores, acopladores direccionales e inyectores de potencia los cuales deben ser seleccionados con una construcción robusta, resistente a la corrosión, derivación de potencia de CD y las siguientes características eléctricas:

Pasa Banda:	5-750 MHz
Planicidad Pasa banda:	± 0.25 dB
Impedancia:	75 Ohms
Derivación de potencia:	12 A máximo
Modulación de zumbido:	mejor que -70 dB a una corriente de 10 A

8.7.3. Derivadores

Pueden ser usados derivadores de 2, 4 y 8 puertos a la entrada del edificio en la localidad IDF para las conexiones de los cables de bajada. Los derivadores son dispositivos de dos vías y permiten la transmisión y recepción de la banda de frecuencia, siendo los derivadores de 4 y 8 puertos los más comúnmente utilizados en sistemas HFC debido a su densidad.

8.7.4. Conectores para cable coaxial

La selección de conectores de alta calidad es de suma importancia. Los conectores son usados para interconectar el cable coaxial sesión con la caja de equipo. Mientras que todas las cajas de los puertos están estandarizados, la configuración de los diferentes cables requieren diferentes medidas de fundas, conductor central seguro del recubrimiento exterior.

El conector es la principal fuente de problemas cuando éstos no están instalados de manera correcta. La FCC ha determinado límites para la radiación de señales de los sistemas coaxiales los cuales deben ser tomados en cuenta. Para un sistema diseñado a una frecuencia arriba de los 750 MHz, sólo deben utilizarse conectores libres de radiación probados.

8.7.5. Fuentes de poder para cables coaxiales

Deben ser utilizadas fuentes de poder estándares de equipo de CATV de 60 Vca y 15 o 20 amperes para proporcionar la energía necesaria a los dispositivos activos del sistema a través del cable. La fuente de poder debe convertir los 110 Vca de la acometida a los 60 Vca en el cable coaxial. La fuente de poder debe estar montada e interconectada con el cable coaxial a través de un director de potencia. Debe ser utilizado un cable JCA entre el puerto de salida de la fuente de poder y la unidad inyectora de potencia. La fuente de poder se conecta directamente a la tomacorriente.

8.7.6. Equipo de acceso HFC

8.7.6.1. Moduladores RF

Los moduladores son usados a las salidas de un switch matricial, una terminal de computadora o una cámara para convertir audio y video a canales RF en el sistema de distribución HFC. Los moduladores deben tener una respuesta desde los 50 MHz hasta los 750 MHz. Éstas frecuencias son requeridas para acomodar el cambio de locación de canales que se

pueda requerir en un futuro. Si se requieren una operación totalmente automatizada, los moduladores RF deben contener un puerto RS232C para ser operados desde una terminal de computadora.

8.7.6.2. Demoduladores RF

Los demoduladores son utilizados para demodular canales de televisión por cable o canales HFC a vídeo y audio a banda base.

Para poder asignar el demodulador a cualquier canal de televisión por cable, este debe tener una respuesta en frecuencia. Para poder ser controlado desde una terminal de computadora remotamente, el demodulador debe tener una conexión física por medio de un cable a un puerto RS232C.

8.7.6.3. Equipo de switcheo matricial

El tamaño del switch de ruteo matricial está directamente relacionado al número requerido de entradas de vídeo o fuentes y el número de canales de distribución HFC deseados. El sistema de ruteo matricial debe ser sin bloqueo y permitir la selección de cualquier salida o cualquier entrada.

Un complemento inicial con 16 entradas y 16 salidas se recomienda. El sistema debe ser expandible al adicionársele gabinetes de ruteo a 32 y 48 o más fuentes de entradas y a 32 y 48 o más salidas.

El control de todas las funciones de switcheo del sistema de ruteo matricial debe ser compatible con el puerto RS-232C de la computadora para una operación en tiempo real.

La transmisión en banda base a través del switch debe soportar servicios analógicos y digitales.

Un switch matricial de vídeo de 16 por 16 debe requerir un espacio de 1 RU (unidad de rack) ó 2 RU para audio y vídeo (monoaural o estéreo). Un switch de audio y vídeo expandido a 32 por 32 no debe ocupar más de 8 RU.

Conclusiones

El elemento clave que permite el funcionamiento correcto y eficiente de un sistema de acceso compartido como es una red HFC es el protocolo MAC (Medium Access Control), este constituye un conjunto de reglas que deben seguir todos los usuarios de red.

La arquitectura de red HFC posee una serie de características que la hacen atractiva, tanto a operadores de cable como a las empresas de telecomunicaciones, para ofertar servicios de banda ancha a los usuarios. Éstos están usando de manera masiva los servicios que proporciona Internet.

Debido a la creciente demanda de servicios de datos a alta velocidad, los operadores de cable se encuentran en una posición óptima para generar ingresos a partir de la prestación de éstos a través de unas redes que optimizan la relación entre penetración de la fibra óptica y los costos de instalación del sistema. Para esto es necesario diseñar un sistema de cablemódem de bajo costo, sencillo de instalar, y fácil de usar por los usuarios, estableciéndose así una sólida base para un crecimiento futuro del servicio.

Términos y definiciones

100BASE-FX: Especificación para Fast Ethernet 100Mbps sobre fibra. Similar a la especificación FDDI.

100BASE-T4: Especificación para Fast Ethernet 100Mbps sobre cableados de pares retorcidos categoría 3 o mejor. Utiliza los cuatro pares de cable. No soporta dúplex en T4

100BASE-TX: Especificación para Fast Ethernet 100Mbps sobre cableados de pares retorcidos categoría 5 o mejor. Similar a las especificaciones de CDDI.

AUI: Unidad de Interfaz de Enlace (Attachment Unit Interface.)

Auto-Negociación: Un estándar 100BASE-TX que incluye un sensor automático de velocidad de modo dúplex.

Back pressure: Un método de control de flujo que hace que el medio aparezca ocupado a cualquier dispositivo que quiera transmitir en ese segmento de medio.

Backbone cabling: Cableado de red estructurado que corre entre marcos de distribución.

Broadcast address: Un único vector de 48 bits que se utiliza para designar todos y cada uno de los puertos conectados a la red.

CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection): Un protocolo estándar de sensibilidad de colisión Ethernet/Fast Ethernet, que permite que múltiples dispositivos accedan a una red compartida.

Dominio de colisión: Un grupo de dispositivos Ethernet o Fast Ethernet que están directamente conectados por repetidores.

Marco de distribución: El panel principal de conexiones de la red, al cual los dispositivos de los grupos de trabajo están conectados. Se encuentra generalmente en el closet de cableado.

Ethernet: Red industrial estándar (IEEE 802.3) que transfiere datos a 10Mbps utilizando medios compartidos y CSMA/CD.

Dirección de destino: Un vector único de 48 bits utilizado para definir el puerto específico al que el actual paquete se está enviando.

Fast Ethernet: Red industrial estándar que transfiere a 100Mbps utilizando medios compartidos y CSMA/CD.

Control de flujo: La habilidad de un sistema de comunicaciones o de un dispositivo de controlar el flujo de paquetes de datos.

Fibra/fibras ópticas: Un tipo de cable que utiliza vidrio para cargar datos a través de impulsos de luz en lugar de corriente eléctrica. El cable de fibra óptica multimodo común es conocido como un cable de 62.5/125 micrones de diámetro, aunque también puede utilizarse el de 50/125 micrones de diámetro. El modo simple es de menor diámetro, solo aproximadamente 9/125 micrones.

Dúplex: Transmisión de datos donde ambos dispositivos pueden transmitir y recibir simultáneamente.

Semi-dúplex: Transmisión de datos donde un solo dispositivo transmite mientras que los otros reciben.

Cableado horizontal: Cableado de red estructurado que corre entre el marco de distribución y el enchufe en la pared.

HUB: También es llamado repetidor. Extiende una red compartida a otros hubs o estaciones mediante la retransmisión de los marcos y la propagación de las colisiones.

IEEE: Instituto de Electricidad e Ingenieros Electrónicos (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) Un cuerpo estándar que desarrolla y publica especificaciones estándares para la industria Eléctrica y Electrónica.

NIC: Tarjeta de Interfaz de Red (Network Interface Card.)

Jabber: Un mecanismo que hace que un nodo dañado no este continuamente transmitiendo a la red. Control de Acceso a los Medios

(Media Access Control - MAC): Capa de la red Ethernet responsable de la detección y retransmisión de colisiones así como también de otras funciones.

Mbps: Megabits por segundo: Una forma de medir el uso de la red o el ancho de banda.

MBps: Megabytes por segundo: Una forma de medir el uso de la red o el ancho de banda.

MII: Media Independent Interface: similar a AUI de Ethernet. Brinda una interfaz estándar especifica (no medio) para Fast Ethernet.

Convertidor de medios: Dispositivo que conecta tipos de cables dependientes del medio.

Multimodo: Cable de fibra óptica de 62.5/125 micrones que permite la transmisión de múltiples sendas de luz. paquete: Un bloque de datos de entre 64 y 1526 bytes que se envía a través de los cables de red.

Packet Buffering: Un método de control de flujo que brinda un packet buffer para almacenar los paquetes de de datos hasta que puedan ser transmitidos. repetidor: Un dispositivo de la red que acepta señales en un puerto y lo repite a todos los otros puertos. Los repetidores se utilizan para dar acceso a múltiples dispositivos a un solo dominio de colisión.

Router: Un dispositivo de la red que funciona como un switch inteligente. Es capaz de aprender no solo la dirección de origen y de destino sino también las sendas que deben utilizar los paquetes para llegar a su destino. Múltiples routers pueden ser seteados de modo de ser utilizados como respaldo en caso de una falla.

RTD - Retardo de Vuelta Completa (Round Trip Delay): El tiempo de bit total entre dos dispositivos cualquiera en un mismo dominio de colisión.

SC: Un conector locking "push/pull" para cable de fibra óptica.

ST: Un conector locking estilo bayoneta para cable de fibra óptica.

Modo simple: cable de 9/125 micrones de diámetro que permite la transmisión de una senda de luz.

Switch: Dispositivo de la red utilizado para separar dominios de colisión o segmentos de la red. Las unidades aprenderán la dirección original y de destino de otros nodos de la red y cuando se reciben los paquetes de datos, verifica esas direcciones y decide si los paquetes deben ser redirigidos a otro puerto.

Transceptor: Los transceptores son utilizados para conectar un puerto MII de una red Ethernet o Fast Ethernet al ambiente de cableado de la red. La interfaz para el cableado es una interfaz de medios dependiente especificada por los estándares de la red.

UTP: Cable de Par Retorcido no blindado de cobre.

Lista de Acrónimos

AMPS Advanced Mobile Phone Service
BTS Base Transceiver Station
CDMA Code Division Multiple Access
CMI Cable Microcell Integrator
CT2 Cordless Telephone 2
DAMPS Digital AMPS
DCS Digital Cellular System
DECT Digital European Cordless Telecommunications
EAM ElectroAbsorption Modulator
GSM Global Spécial Mobile, Global System for Mobile Communications
HECU HeadEnd Control Unit
HFC Hybrid Fiber-Coaxial
HIC Headend Interface Converter
IS-95 Interim Standard 95
JTACS Japan TACS
NMT Nordic Mobile Telephone
NTACS Nippon TACS
NTT Nippon Telephone and Telegraph
PACS Personal Access Communication Service
PCN Personal Communication Network
PCS Personal Communication Service
PDC Personal Digital Cellular
PHS Personal Handyphone System
RAD Remote Antenna Driver
RASP Remote Antenna Signal Processor
TACS Total Access Communication System
WACS Wireless Access Communication System
WLL Wireless Local Loop

Bibliografía y referencias

HYBRID FIBER-OPTIC COAXIAL NETWORKS

Ernest Tunmann
Flatiron Publishing, Inc.

FIBER OPTIC TEST AND MEASUREMENT

Dennis Derickson
Prentice Hall

MULTIWALENGTH OPTICAL NETWORKS: A LAYERED APPROACH

Dennis Derickson
Prentice Hall

FIBER OPTIC COMMUNICATION SYSTEM

Govind P. Agrawal
John Wiley & Sons

OPTICAL NETWORKING

Debra Cameron
John Wiley & Sons