

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica



TRABAJO DE DIPLOMA

Descripción del estándar DOCSIS y sus aplicaciones en las redes HFC

Autora: Isabel Yera Méndez

Tutor: MSc. David Beltrán Casanova

Santa Clara

2016

"Año 58 de la Revolución"

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica



TRABAJO DE DIPLOMA

Descripción del Estándar DOCSIS y sus aplicaciones en las redes HFC

Autora: Isabel Yera Méndez

E-mail: iyera@uclv.cu

Tutor: MSc. David Beltrán Casanova

E-mail: dbeltranc@uclv.cu

Santa Clara

2016

"Año 58 de la Revolución"

PENSAMIENTO

En los momentos de crisis solo la imaginación es más importante que el conocimiento.

Albert Einstein

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas las personas que creyeron en mí y me ayudaron a crecer como estudiante, especialmente a mi madre que se ha sacrificado y ha dado todo por mí y de manera muy especial a mi novio Gianni que ha sido mi pilar y mi fortaleza durante todo este tiempo.

A mi hermana Elsa María que ha sido mi motivación y ejemplo a seguir y a mi hermano Leonardo.

A mi mejor amigo Pedro Emilio que ha sabido entenderme durante todos estos años y ha sido mi apoyo como compañero de estudio.

A todos y cada uno de mis profesores quienes me han formado y compartido sus conocimientos y a todos mis compañeros de aula.

A todos ellos con mucho afecto y cariño.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi tutor MSc. David Beltrán Casanova por su generosidad al brindarme la oportunidad de recurrir a sus capacidades y experiencia científica en un marco de confianza, afecto, paciencia, motivación y amistad; fundamentales para la culminación de este trabajo.

A mi novio Gianni por creer en mí y por brindarme su apoyo incondicional en todo este tiempo.

A mi madre Nancy, fuente de apoyo incondicional, que con su aliento constante impulsaban los deseos de superación necesarios para salir adelante en los diferentes escenarios de mi vida.

A mi mejor amigo Pedro que ha sido mi sostén durante estos años de mi vida como estudiante.

Un agradecimiento especial al personal docente de la Facultad de Ingeniería Eléctrica que permitieron llevar nuestros conocimientos a un grado superior.

A todos ustedes mis sinceros agradecimientos.

TAREA TÉCNICA

1. Revisión de la bibliografía técnico-especializada relacionada con el estándar DOCSIS y las redes HFC.
2. Descripción del estándar DOCSIS y sus respectivas generaciones.
3. Recopilación y exposición de las distintas aplicaciones en redes HFC.
4. Elaboración del informe final.

RESUMEN

Las redes de cable Híbridas Fibra Óptica-Coaxial (HFC) son un tipo de red de acceso de banda ancha que se está convirtiendo en una de las opciones preferidas por los operadores de telecomunicaciones para ofrecer a sus abonados un abanico de servicios y aplicaciones cada vez más amplio, que abarca desde la TV digital interactiva hasta el acceso a Internet a alta velocidad, y telefonía. El estándar de funcionamiento óptimo dentro de las redes HFC es DOCSIS (Especificación de Interfaces de Servicios de Datos por Cable), el cual ha brindado un conjunto de beneficios tanto el operador de cable como al suscriptor a través de sus parámetros y especificaciones. Este trabajo pretende dar una revisión completa del estándar DOCSIS y ver sus aplicaciones dentro de las redes HFC.

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|---|-----|
| PENSAMIENTO | i |
| DEDICATORIA | ii |
| AGRADECIMIENTOS | iii |
| TAREA TÉCNICA | iv |
| RESUMEN | v |
| INTRODUCCIÓN | 10 |
| CAPÍTULO 1. Estándar DOCSIS y sus generaciones | 12 |
| 1.1 La Red DOCSIS | 13 |
| 1.1.1 Características y Funcionamiento General | 15 |
| 1.1.2 Frecuencias empleadas por DOCSIS | 18 |
| 1.1.3 Técnicas de Modulación permitidas en DOCSIS | 18 |
| 1.1.4 Funcionalidad del cable módem en concordancia con DOCSIS | 19 |
| 1.1.5 Inicialización del sistema | 20 |
| 1.1.6 Proceso de entrega de datos del cable módem | 20 |
| 1.1.7 Correspondencia de DOCSIS con el modelo de referencia OSI | 22 |
| 1.1.7.1 Generalidades de la Capa Física | 23 |
| 1.1.7.2 Generalidades de la capa de enlace de Datos | 23 |
| 1.1.8 Comprobación y Corrección de Errores | 25 |
| 1.1.9 Protocolo MAC | 25 |
| 1.1.9.1 Sincronización | 26 |
| 1.1.9.2 Modo de acceso al canal | 28 |
| 1.1.9.3 Colisiones | 29 |

| | | |
|-------------|---|----|
| 1.2 | DOCSIS 1.0..... | 33 |
| 1.2.1 | Características de DOCSIS 1.0..... | 33 |
| 1.2.2 | Servicios de DOCSIS 1.0..... | 34 |
| 1.3 | DOCSIS 1.1..... | 34 |
| 1.3.1 | Características de DOCSIS 1.1 | 35 |
| 1.3.2 | Servicios de DOCSIS 1.1..... | 36 |
| 1.4 | DOCSIS 2.0..... | 37 |
| 1.4.1 | Características de DOCSIS 2.0..... | 37 |
| 1.4.2 | Servicios de DOCSIS 2.0..... | 38 |
| 1.5 | DOCSIS 3.0..... | 38 |
| 1.6 | Correlación entre las versiones DOCSIS | 40 |
| 1.6.1 | Comparación de DOCSIS 1.0 con DOCSIS 1.1 | 40 |
| 1.6.2 | Comparación de DOCSIS 1.1 con DOCSIS 2.0..... | 41 |
| 1.6.3 | Comparación de DOCSIS 2.0 con DOCSIS 3.0..... | 42 |
| 1.7 | Conclusiones del Capítulo..... | 42 |
| CAPÍTULO 2. | Estándar de última generación: DOCSIS 3.1 | 44 |
| 2.1 | Introducción | 44 |
| 2.2 | Características Generales | 44 |
| 2.3 | Plan de Frecuencias..... | 51 |
| 2.4 | Compatibilidad con otros servicios..... | 51 |
| 2.5 | Canales de RF | 52 |
| 2.5.1 | Transmisión Descendente | 52 |
| 2.5.2 | Transmisión Ascendente..... | 53 |
| 2.6 | Conclusiones del capítulo | 54 |

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO 3. Aplicaciones del estándar DOCSIS en redes HFC | 56 |
| 3.1 Red Híbrida Fibra Óptica –Coaxial (HFC) | 56 |
| 3.1.1 Definición | 56 |
| 3.1.2 Infraestructura de las redes HFC | 57 |
| 3.1.2.1 Medios de Transmisión | 57 |
| 3.1.2.2 Elementos activos de las redes HFC | 58 |
| 3.1.2.3 Elementos pasivos de las redes HFC | 59 |
| 3.2 Componentes de la red HFC | 59 |
| 3.3 Arquitectura de las redes HFC | 62 |
| 3.3.1 Topología Árbol..... | 62 |
| 3.3.2 Topología Anillo..... | 63 |
| 3.4 Canales de Transmisión | 64 |
| 3.4.1 Canal de Retorno | 64 |
| 3.4.2 Canal Descendente..... | 65 |
| 3.5 Servicios y aplicaciones de las Redes HFC | 66 |
| 3.6 Aplicaciones de DOCSIS en redes HFC | 68 |
| 3.6.1 Telefonía e Internet con <i>PacketCable</i> y DOCSIS | 68 |
| 3.6.1.1 Servicio de acceso a Internet y datos | 68 |
| 3.6.1.2 Servicio de Telefonía | 70 |
| 3.6.2 Televisión IP con DOCSIS y <i>Opencable</i> | 71 |
| 3.6.2.1 Sistemas de Televisión por Cable en redes HFC | 73 |
| 3.7 Conclusiones del capítulo | 73 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 75 |
| Conclusiones | 75 |

| | |
|--|----|
| Recomendaciones | 75 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 76 |
| ANEXOS | 78 |
| Anexo I Arquitectura de referencia | 78 |
| Anexo II Capas del modelo de referencia OSI..... | 78 |
| Anexo III Características de la capa MAC y formato de la trama MAC..... | 80 |
| GLOSARIO | 84 |

INTRODUCCIÓN

La necesidad insaciable por obtener la mayor cantidad de información en el menor tiempo posible, ha provocado que las personas requieran una mejor calidad en la transmisión de datos y obtener la mayor cantidad de servicios a través de un mismo medio o un solo proveedor; en este caso se puede considerar el estándar DOCSIS como un impulsor.

La especificación DOCSIS (*Data Over Cable Service Interface Specification*) es un conjunto de estándares aprobado por CableLabs (*Cable Television Laboratories*) que garantiza la interoperabilidad de la tecnología empleada en la transmisión de datos a alta velocidad en una red de cable. CableLabs es quien se encarga de certificar el equipo que cumple las especificaciones DOCSIS y garantiza su adecuado funcionamiento en las redes de cable que adoptan el estándar [1]. El proceso de desarrollo comenzó a mediados de la década de los 90; en marzo de 1997 se publicó la primera versión de DOCSIS, dos años después se certificó el primer equipo que cumplía con la especificación modificada (versión 1.1) y en diciembre de 2001 se publicó la versión 2.0, la versión de DOCSIS 3.0 se presentó al mercado en el primer semestre del 2006, DOCSIS se convirtió en el estándar sobre el cual se desarrolla la mayoría de las innovaciones tecnológicas de la industria de cable [2].

La industria del cable empezó a pensar en la nueva generación del estándar con el que funcionan las redes coaxiales, DOCSIS. La versión 3.1 tratará de aplazar la inevitable transición a la fibra óptica pura gracias a un aumento del ancho de banda que pueden suministrar a los usuarios. En particular, esta especificación es parte de una serie de especificaciones que define la quinta generación de alta velocidad de datos por sistemas de cable, conocidos comúnmente como las especificaciones DOCSIS 3.1 [3].

Este estándar es novedoso y se necesita un material de apoyo a la docencia pues se va a incluir en la asignatura de Sistemas de Radio ya que los estudiantes de la carrera de Ingeniería

en Telecomunicaciones y Electrónica desconocen los estándares DOCSIS y sus fundamentos teóricos, por lo que da lugar a la siguiente interrogante:

¿Cómo contribuir con este material al dominio del tema por parte de los estudiantes?

Para poder dar solución a la anterior interrogante científica se plantea como **objetivo general**:
Elaborar un material con fines docentes que describa el estándar DOCSIS.

Para cumplir con el objetivo general se definen los siguientes **objetivos específicos**:

- Describir el estándar DOCSIS y sus generaciones.
- Explicar el estándar DOCSIS 3.1.
- Mostrar diferentes aplicaciones del estándar DOCSIS en redes HFC.

Con esta investigación se proyecta obtener un material de apoyo docente que permitirá el conocimiento de los estudiantes del tema que se aborda.

Este informe estará estructurado en Introducción, Capitulario, Conclusiones, Bibliografía y Anexos.

La Introducción expone la actualidad que presenta el estándar en cuestión, así como su evolución y la necesidad de abordar el tema.

En el Primer Capítulo se expondrá las características generales y todos los fundamentos teóricos sobre los que trabaja este estándar de cableado, así como sus características generales, la arquitectura de la red DOCSIS, la frecuencia con la que trabaja, los tipos de modulación que usa, etc.; luego se mostraran las características generales de cada versión del estándar DOCSIS empezando por la versión DOCSIS 1.0 y terminando con la versión DOCSIS 3.0.

En el Segundo Capítulo se presentará la versión de DOCSIS más avanzada que es la versión 3.1 donde se expondrá las características generales de esta versión.

En el Tercer Capítulo se mostrarán las diferentes aplicaciones que tiene el estándar DOCSIS en las redes HFC.

CAPÍTULO 1. Estándar DOCSIS y sus generaciones

DOCSIS es una marca registrada de CableLabs® (Cable Television Laboratories, Inc.), consorcio de investigación y desarrollo sin ánimos de lucro integrado por Arris, BigBand, Broadcom, Cisco Systems, Harmonic, Intel, Motorola y Texas Instruments; y marcó la entrada de los MSOs (*Multiple Services Operators*) en el mercado de la banda ancha o *broadband* [4].

DOCSIS es además un estándar no comercial que dicta los requerimientos de una interfaz de comunicaciones para soportar el tráfico de datos IP (*Internet Protocol*) en sistemas de cable, permitiendo transferencias de datos de alta velocidad en redes HFC (Híbrida Fibra Óptica – Coaxial), y con el objetivo adicional de crear interoperabilidad entre equipos desarrollados por diferentes fabricantes [4]. La versión europea de DOCSIS se llama EuroDOCSIS, y la principal diferencia es que en Europa los canales de cable tienen un ancho de banda de 8 MHz, mientras que en Norte América es de 6 MHz [5].

Los estándares DOCSIS fueron aprobados en 1997 y se comenzaron a usar antes de 1998, cuando fueron oficialmente aprobados por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) en su versión DOCSIS 1.0. La versión DOCSIS 1.1 ya permitió la VoIP (Voz sobre IP), QoS (Calidad de Servicio) y autenticación. La velocidad de datos que se obtiene depende de los anchos de banda asignados y de la modulación. Los canales de bajada son de 6 MHz en el estándar americano y desde 0,2 MHz a 3,2 MHz en la subida. Típicamente las velocidades de bajada son de 38 Mbps en la bajada por canal de 6 MHz y de 9 Mbps en la subida para el canal de 3,2 MHz. Posteriormente el estándar DOCSIS 2.0 permitió 30 Mbps por canal de 6,4 MHz en la subida. El protocolo DOCSIS 3.0 (2006) permite multiplexar canales (*Channel Bonding*) pudiendo alcanzar hasta 40 Mbps en cada canal de bajada y hasta 120 Mbps totales en la subida, este estándar soporta IPv6 (IP versión 6) e IPTV (*Internet Protocol Television*) pudiendo de esta forma competir con los operadores de telecomunicaciones en la prestación de servicio de televisión bajo demanda. En el estándar

Europeo (EuroDOCSIS) las capacidades son mayores por cuanto se usan canales de 8 MHz y el espectro reservado para la subida es desde 5 MHz hasta 65 MHz. Se puede llegar a 52 Mbps por canal de 8 MHz con modulación 256-QAM [6].

1.1 La Red DOCSIS

Implementar DOCSIS implica la puesta en funcionamiento de un equipo denominado Sistema de Terminación de Cable Módems (CMTS) en la cabecera, que controla los puertos de envío y recepción de datos hacia la red de cable. Asimismo, en el extremo del cliente debe colocarse un dispositivo que se conoce como Cable Módem (CM) [7].

El CMTS forma parte del equipo que se encuentra en la cabecera (*head end*), y que, junto con otros dispositivos, constituye la infraestructura de la red que utiliza el protocolo de Internet. Funciona como un sistema de comunicación de datos específicamente diseñado para dirigir la información desde cada uno de los CM del usuario a través de una interfaz de red; además recibe el tráfico de datos que proviene de Internet y lo dirige a cada uno de los terminales de cable módem, modulando la información de un canal de 6 MHz de ancho de banda junto con otros canales convencionales de televisión. El número de canales ascendente (*upstream*) y descendente (*downstream*) que un determinado CMTS soporta, estará en función del área de servicio, del número de usuarios, la disponibilidad del espectro y de la tasa de transferencia asignada a cada suscriptor [8].

El CM constituye el sistema que permite el acceso de alta velocidad digital para servicios de Internet por el mismo cable coaxial de la red de televisión por cable (CATV), trabaja con el criterio FDM/TDMA (*Frequency Division Multiplexing/Time Division Multiple Access*) donde la señal digital se integra a un espectro compartido con la señal de televisión [8].

Los elementos que participan en la provisión de los servicios DOCSIS se muestran en la figura 1.1:

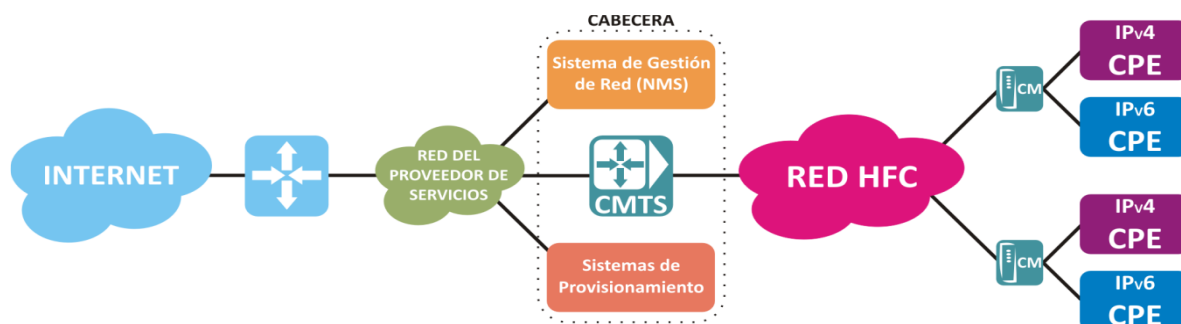


Figura 1.1: Arquitectura de una red HFC con DOCSIS.

Tal como se muestra en la figura, el CMTS básicamente conecta Internet y la red interna del proveedor (*Back Office Network*) con la red HFC, reenviando paquetes entre esos dos grandes dominios y entre los canales de subida y bajada dentro de la propia red de cable [4]. Varios CPE (Equipos de Premisas del Cliente) se pueden conectar a las interfaces CM y se pueden integrar con el CM en un solo dispositivo, o pueden ser separados en dispositivos independientes, como se muestra en la figura anterior. Los CPE puede utilizar IPv4 (IP versión 4), IPv6 (IP versión 6) o ambas formas de direccionamiento IP. Ejemplos de CPE típico son puertas de enlace, routers, dispositivos set-top, ordenadores personales, etc. [7].

Para dar soporte a la red DOCSIS, deben emplearse según especificaciones, dos sistemas fundamentales: el Sistema de Provisionamiento (*Provisioning System*) y el Sistema de Gestión de Red (NMS). Estos sistemas utilizan IPv4 y / o IPv6 según sea apropiado para el despliegue del operador en particular.

El Sistema de Provisionamiento se conforma de un conjunto de aplicaciones que intervienen en la puesta en operación de los CM. Este grupo de aplicaciones incluye:

- Servidores DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*).
- Servidor de Archivos de Configuración (TFTP (*Trivial file transfer Protocol*)).
- Servidor de Descarga de Software.
- Servidor de Protocolo de Tiempo.
- Servidor de Revocación de Certificados.

De manera similar, el Sistema de Gestión de la Red se compone de programas de aplicación que intervienen en la administración y monitoreo de los recursos, como son:

- **Gestor SNMP** (*Simple Network Management Protocol*): permite al operador configurar y monitorear el equipamiento; típicamente los CM y el CMTS.

- **Servidor Syslog:** recolecta mensajes acerca de la operación de los dispositivos.
- **Servidor de IPDR:** permite al operador obtener estadísticas de manera general y eficiente respecto al uso de la transmisión de datos [4].

En el Anexo I se puede apreciar la arquitectura de referencia para los servicios e interfaces de datos por cable.

1.1.1 Características y Funcionamiento General

DOCSIS funciona principalmente entre las capas 1 y 2 del modelo OSI (*Open System Interconnection*), conocidas también como Capa Física (PHY) y Capa de Control de Acceso al Medio (MAC). En términos simples, las redes DOCSIS son redes IP sobre HFC, donde los paquetes IP son codificados y transportados como señales de televisión digital que coexisten con otros servicios también transportados por la red.

El espectro total es dividido en una parte para el *upstream* desde 5 MHz hasta 42 MHz (en algunos sistemas hasta 85 MHz, conocida como banda extendida de *upstream*), y la parte para el *downstream* a partir de los 108 MHz hasta la capacidad de la red. Así DOCSIS especifica un camino asimétrico de datos con flujos de bajada y subida en dos frecuencias separadas. Las portadoras de bajada y subida proveen dos canales compartidos para todos los CM [9].

Downstream: Desde el CMTS hacia los CM

La banda de *downstream* se comparte con los demás servicios que brinda la red. El ancho de banda para cada canal descendente puede ser de 6 MHz o de 8 MHz para cumplir con las normas de los canales de difusión de televisión en Norteamérica y Europa. Los formatos de modulación que pueden ser empleados son: 64-QAM y 256-QAM [4].

Los paquetes enviados por el canal de bajada se separan en tramas MPEG (*Moving Picture Experts Group*) de 188 bytes, con 4 bytes de encabezado y 184 bytes de carga útil. Aun cuando a todos los CM llegan todas las tramas, normalmente se configuran para recibir solamente las que están direccionadas a su dirección MAC o a la dirección de difusión [10].

En el sentido descendente, DOCSIS emplea un sistema *primero-que-llega primero-que-se-atende* para el reenvío de paquetes, así los paquetes que arriban de Internet se reenvían

inmediatamente como paquetes DOCSIS y se modulan en un canal *downstream* de RF para la transmisión [11].

Upstream: Desde los CM hacia el CMTS

Las características de esta banda (ruido y distorsión) hacen que se necesiten mecanismos robustos, como modulaciones eficientes, para la transmisión de datos. A diferencia de la banda de *downstream*, en la que sólo hay un transmisor, en esta banda hay muchos transmisores y un solo receptor, por lo que la utilización del medio de transmisión deber ser cuidadosamente organizada y repartida entre todos los CM. Por todo esto se conforman los CMTS con más puertos de subida que de bajada, permitiendo segmentar más la red en el sentido ascendente y lograr mejores niveles de señal.

En la banda de *upstream*, DOCSIS emplea dos esquemas básicos de acceso al medio: modo FDMA/TDMA (*Frequency Division Multiple Access/Time Division Multiple Access*), descrito como TDMA, y modo FDMA/TDMA/S-CDMA (*Frequency Division Multiple Access/Time Division Multiple Access/Carrier Sense Multiple Access-Synchronou*) descrito como modo S-CDMA, permitiendo seis tasas de modulación y múltiples formatos para esta. Con FDMA se divide la banda en múltiples canales de frecuencias. TDMA responde a la naturaleza de ráfaga de las transmisiones de subida y permite compartir un canal de RF de subida entre varios cables módems a través de la asignación dinámica de ranuras de tiempo. S-CDMA da la posibilidad de que varios CM transmitan simultáneamente en el mismo canal de RF y sobre la misma ranura de tiempo TDMA, separados por diferentes códigos ortogonales [12].

Los tipos de modulación establecidos para los moduladores/demoduladores de *upstream* son: QPSK (*Quadrature Phase-Shift Keying*), 8-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*), 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM y 128-QAM. El CMTS reserva el ancho de banda de *upstream* basado en peticiones de los CM y las políticas de calidad de servicio. El canal de subida se divide en ranuras de tiempo multiplexadas, llamadas *mini-slots*, de una duración de 6.25 μ s, y la oportunidad para transmitir en ellas es administrada por el CMTS, que las identifica mediante referencias de tiempo y que son utilizadas por los CM según mecanismos de contención. La influencia de la distancia en el retardo implica una compensación de tiempo

(*offset*) en las referencias de los CM para que identifiquen con suficiente precisión la posición de los *mini-slots* [12].

Operación básica del protocolo

La configuración elemental de una red DOCSIS se muestra en la figura 1.2.

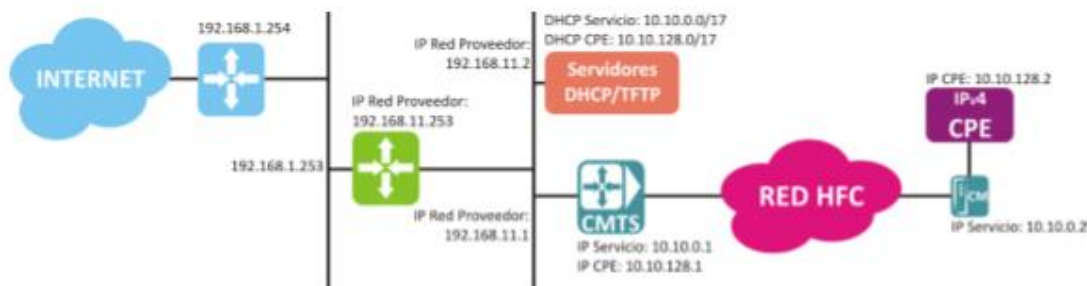


Figura 1.2: Componentes básicos de una red DOCSIS.

Básicamente, para que funcione la red DOCSIS se debe tener en funcionamiento el CMTS, un servidor DHCP y uno TFTP, para que los CM puedan registrarse. Normalmente se emplea un DHCP de dos niveles o rangos: uno para la operación de los CM a nivel de servicio, y otro para los equipos de premisas del cliente (CPE) [4].

Cuando un CM se conecta a la red coaxial, y se enciende, comienza a rastrear un canal descendente buscando en toda la banda una transmisión 64-QAM o 256-QAM, que contenga información válida acerca de un canal de subida, para poder establecer una comunicación bidireccional. Si efectivamente lo encuentra y lo retiene, comienza lo que se conoce como *Ranging*. El *Ranging* es un proceso que consta de dos etapas, la primera es el *Ranging* Inicial, en la que se configura el menor nivel de potencia que garantiza la comunicación. Después pasa a un nuevo estado conocido como *Ranging* de Mantenimiento (*Station Maintenance Ranging*), en el que el CM recibirá instrucciones desde el CMTS para hacer ajustes en cuanto a frecuencias de transmisión, amplitud, *timing offset* y pre-ecualización. El *Ranging* de Mantenimiento de Estaciones ocurrirá al menos una vez cada 30 segundos para cada CM, realizando ajustes de forma continua y para que el CMTS conozca que los módems se encuentran en línea [9].

De esta manera, el CMTS periódicamente envía tramas de gestión y otra clase de mensajes denominados mensajes MAP, para que los CM puedan identificar futuras ranuras TDMA

para el canal *upstream*. Inmediatamente al contar con ancho de banda para transmitir, el CM obtiene su IP y otras direcciones importantes mediante DHCP y descarga el archivo de configuración del servidor TFTP, con los parámetros que necesita para el acceso a la red, velocidades, QoS y otras configuraciones. Si las pruebas de validez son satisfactorias, se concluye el proceso con el Registro del CM en la red y se le asigna un identificador de Servicio (SID). Una vez registrado el CM, se permite a los suscriptores transmitir tráfico IP [4].

1.1.2 Frecuencias empleadas por DOCSIS

DOCSIS garantiza su adecuado funcionamiento en las redes de cable que adoptan el estándar. Además de ser un estándar de interoperabilidad de cable módem, DOCSIS incluye parámetros que se recomiendan para lograr un mejor desempeño de la red de cable.

Los rangos de frecuencia que utiliza DOCSIS en las redes bidireccionales son los que se muestran en la tabla 1.1.

Tabla 1.1: Frecuencias asignadas para redes bidireccionales [8], [12], [9], [13].

| Versión Sentido | DOCSIS 1.0 | DOCSIS 1.1 | DOCSIS 2.0 | DOCSIS 3.0 |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Ascendente | 5-42 MHz | 5-42 MHz | 5-42 MHz | 5-85 MHz |
| Descendente | 54-860 MHz | 54-864 MHz | 88-860 MHz | 108-1002 MHz |

1.1.3 Técnicas de Modulación permitidas en DOCSIS

La transmisión *downstream* (desde la cabecera al usuario) permite modulaciones de 64-QAM y 256-QAM sobre canales de 6 MHz de ancho de banda, mientras que en la transferencia *upstream* (desde el usuario a la cabecera), DOCSIS acepta las siguientes modulaciones: QPSK, 16-QAM, 64-QAM y 256-QAM; tal como se indica en la tabla 1.2.

Tabla 1.2: Técnicas de modulación para transmisión de datos en redes de cable [9].

| Modulación | DOCSIS 1.0 | DOCSIS 1.1 | DOCSIS 2.0 | DOCSIS 3.0 |
|------------|-------------|-------------|---------------------------|-------------|
| QPSK | Ascendente | - | - | - |
| 16-QAM | - | Ascendente | - | - |
| 64-QAM | Descendente | - | - | Ascendente |
| 256-QAM | - | Descendente | Ascendente Descendente | Descendente |

1.1.4 Funcionalidad del cable módem en concordancia con DOCSIS

La arquitectura del sistema DOCSIS le asegura al usuario privacidad de datos y previene el acceso no autorizado al servicio por el cable de red de trabajo compartido mediante la encriptación de tráfico, los CM pueden transmitir datos en un espectro de extensión diferente, y, por lo tanto, solo puede leer datos entrantes de la instalación de cable que está indicada con la dirección específica de ese módem.

La funcionalidad a través del CM, sea cuando este empieza a buscar en el espectro *downstream*, la portadora modulada en forma digital que contenga información específica del CM. Una vez que se ha sincronizado con la portadora adecuada, el CM busca, entre los datos que se envían desde la central, un mensaje conocido como Descriptor del Canal *Upstream* (UCD) que le indica la frecuencia a la que deberá transmitir.

El CM comienza a transmitir en la frecuencia *upstream* asignada, incrementando gradualmente su potencia hasta que sea “*escuchado*” por el CMTS. En este punto es donde se inicia la transmisión bidireccional entre el CM y la central de datos. Después de iniciada esta transmisión, terminan de ajustarse los niveles de operación de la frecuencia *upstream* del CM y se establece la sincronía necesaria para evitar colisiones de datos con otros CM.

En el proceso de iniciación del sistema se establece conectividad con el protocolo de Internet, para ello el CM envía al CMTS una solicitud de protocolo de configuración de huésped dinámico (DHCP) para obtener la dirección IP y otros parámetros adicionales necesarios para

establecer la conexión por medio de este protocolo, inmediatamente después, el CM solicita al servidor la fecha y hora exacta que se utilizara para almacenar los eventos de acceso del suscriptor. Una vez realizado el proceso de inicialización, el CM está listo para utilizar la red como cualquier otro dispositivo Ethernet sobre los estándares de transmisión admitidos por DOCSIS y sus respectivas versiones.

La configuración propia del CM, se lleva a cabo después de las solicitudes DHCP y las requeridas por el servidor. El CMTS descarga al CM ciertos parámetros de operación vía el Protocolo simple de Transferencia de Archivos (TFTP), terminada esta descarga, el CM realiza un proceso de registro, con la utilización de DOCSIS y BP (Privacidad de Línea de Base) en la red, el CM deberá adquirir información necesaria de la central y seguir los procedimientos para inicializar el servicio. BP es una especificación de DOCSIS 1.0 que permite el encriptado de datos transmitidos a través de la red de acceso. El encriptado que utiliza BP solo se lleva a cabo para la transmisión sobre la red, ya que la información es encriptada al momento de llegar al CM o al CMTS [9].

1.1.5 Inicialización del sistema

Dentro de los aspectos a considerar en la inicialización que realiza el CM se encuentran las siguientes tareas que debe realizar previo al paso de información a través de la red:

- Examina el canal descendente y establece la sincronización con CMTS.
- Obtiene los parámetros para la transmisión.
- Analiza el rendimiento del proceso *Ranging*.
- Establece la conectividad IP a través de DHCP.
- Establece parámetros de tiempo.
- Transfiere los parámetros operacionales de transmisión vía el protocolo TFTP.
- Registra al CMTS [7].

1.1.6 Proceso de entrega de datos del cable módem

La figura 1.3 permite visualizar básicamente a todos los elementos que intervienen en la prestación de servicios de datos por parte de la red HFC.

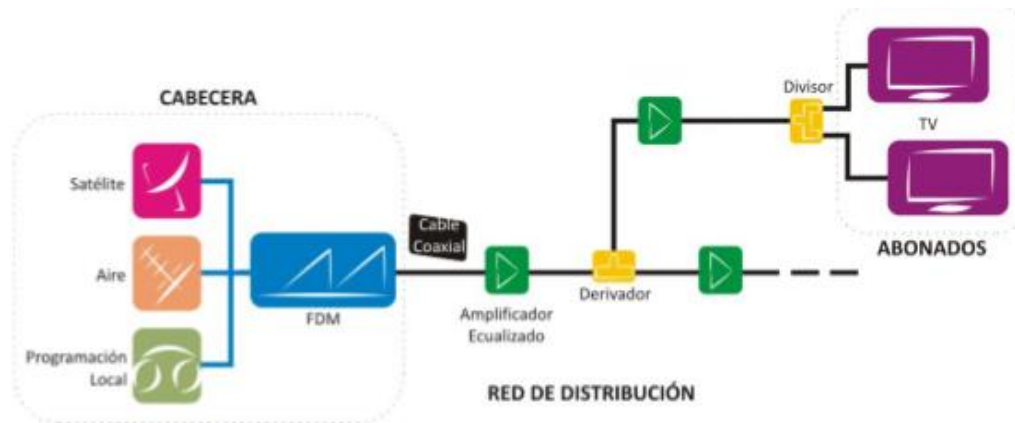


Figura 1.3: Elementos de comunicación en la red CATV HFC.

Dentro de las funciones que realiza el CM para la entrega y recepción de información se tienen los siguientes:

- Encapsula el flujo de bits en paquetes Ethernet provenientes del canal *downstream*.
- La señal recibida por el canal descendente es demodulada para extraer los datos del usuario y la información de señalización y control que envía el equipo cabecero.
- Convierte los paquetes Ethernet en tramas según lo definan las capas MAC (Control de Acceso al Medio) y PHY (Nivel Físico), en el canal *upstream*.
- Suele disponer de un sistema FAMM (Multimodo Ágil de Frecuencia), que le permite conmutar de un canal ruidoso a otro en mejores condiciones de manera automática, de acuerdo con las órdenes del equipo cabecero.
- Los datos originados por el usuario son encapsulados en paquetes con formato Ethernet y enviados al ordenador por la conexión 10/100 BaseT.
- Los datos originados por el usuario son extraídos de los paquetes Ethernet que llegan al ordenador y se encapsulan formando otro tipo de paquetes cuyo formato dependerá del protocolo de red empleado; en el sistema de CM, los paquetes son transmitidos en el instante y el canal indicado por la 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 abonados [7].

1.1.7 Correspondencia de DOCSIS con el modelo de referencia OSI

El modelo de referencia OSI es el modelo principal para las comunicaciones por red, este es un marco que se puede utilizar para comprender como viaja la información a través de la red.

Cada una de las siete capas del modelo de referencia OSI sirve para una función específica, define funciones que pueden ser utilizadas por cualquier proveedor de productos de red. En el Anexo II se muestran las capas respecto al modelo de referencia OSI.

Considerando que el estándar DOCSIS rige sus parámetros al nivel de las capas Física y de Enlace, se describirá las características más relevantes de las dos capas inferiores respecto al modelo de referencia OSI. La tabla 1.3 visualiza la correspondencia del estándar DOCSIS con las capas del modelo OSI [9].

Tabla 1.3: Correspondencia de DOCSIS con el modelo OSI.

| OSI | DOCSIS | | Aplicaciones Basadas en MPEG ej. Video, TV digital |
|------------|---------------------------------|----------------------------------|--|
| Aplicación | PTP, SMTP, HTTP, etc. | Mensajes de Control DOCSIS | |
| Transporte | TCP y UDP | | |
| Red | IP | | |
| Enlace | IEEE 802.2 | | |
| Física | MAC DOCSIS | | |
| | Ascendente TDMA (mini-slots) | Descendente TDM (MPEG) | |
| | Rango de frecuencia | Rango de frecuencia | |
| | HFC | | |

1.1.7.1 Generalidades de la Capa Física

Dentro de la capa física se encuentra varias alternativas a la hora de elegir la técnica de modulación, siendo esta la característica principal que rige sobre la capa inferior en cuanto se refiere a la adecuada transferencia de datos.

Los canales descendentes de 6 u 8 MHz de ancho de banda transportan datos (Información, Señalización y Control) de la cabecera a los abonados mediante esquemas de modulación con eficiencias espectrales (bits/Hz) altas, gracias a que en el canal descendente dispone de relaciones señal a ruido (S/N) elevadas.

El esquema de modulación escogido debe aprovechar al máximo el espectro disponible en el canal de retorno, al mismo tiempo, debe ser realizable mediante tecnología de bajo costo, debe también proporcionar un funcionamiento eficiente y robusto en el uso del espectro evitando las partes extremadamente ruidosas del mismo usando canales más estrechos o con esquemas de modulación de menor eficiencia espectral en las partes ruidosas del espectro y usando canales más anchos o con esquemas más eficientes en las partes relativamente limpias. El esquema de modulación utilizado en las redes HFC debe de ser lo suficiente eficiente y flexible como para satisfacer las diferentes necesidades de capacidad de transmisión por parte de los usuarios.

Dentro de la capa física se menciona la subcapa PDM (Depende del Medio Físico), que hace referencia a las características y métodos de transmisión, especifica la técnica de codificación y modulación a emplearse sobre el medio. La subcapa PDM usa los formatos FDMA/TDMA para el acceso al canal [9].

1.1.7.2 Generalidades de la capa de enlace de Datos

El nivel de enlace de datos está dividido en dos subniveles que son:

a) Subnivel de Control de Enlace Lógico (LLC)

Proporciona una forma de pasar la información entre los diferentes tipos de redes y empaqueta los datos con nuevas cabeceras. Proporciona un interfaz común, única entre las capas superiores y la subcapa MAC, además realiza control de errores y control de flujo. Su especificación es responsabilidad de IEEE 802.2.

Formato de la trama LLC (Control de Enlace Lógico)

La unidad de protocolo de datos, emplea un formato PDU (Unidad de Datos de Protocolo) el cual consiste en cuatro campos, tal como se muestra en la tabla 1.4.

Tabla 1.4: Trama LLC.

| Bytes | 1 | 1 | 1 o 2 | Variable |
|-------|------|------|---------|-------------|
| | DSAP | SSAP | Control | Información |

DSAP: Destino de los Puntos de Acceso al Servicio.

SSAP: Origen de los Puntos de Acceso al Servicio.

Control: Identifica el tipo de PDU (Unidad de Protocolo de Datos), y especifica varias funciones de control.

Información: Transporta los datos del usuario.

Tanto DSAP como SSAP contienen la dirección que especifica el usuario LLC destino y origen [9].

b) Subnivel de Control de Acceso al Medio (MAC)

Coloca los paquetes de los niveles superiores de protocolos dentro del formato de la trama de la red de destino; gobierna la detección de errores, sin embargo, su función principal es realizar el control de acceso para la red destinataria.

El Protocolo de Control de Acceso al Medio (MAC), permite que las estaciones puedan compartir el ancho de banda disponible. La especificación en el caso de las redes HFC para esta subcapa se da a través de IEEE 802.3.

Para el canal descendente (*downstream*), el problema de acceso múltiple no existe porque únicamente la cabecera puede transmitir datos sobre el canal de transmisión, lo que no ocurre con el canal ascendente [9].

Las características de la capa MAC, así como las características de la trama MAC se podrán apreciar en el Anexo III.

1.1.8 Comprobación y Corrección de Errores

La modulación ascendente permitirá la comprobación y corrección de errores (FEC) mediante el algoritmo Reed-Solomon. En sentido descendente se aplicará el algoritmo Reed-Solomon (122,128), que implica que, por cada 122 bytes de entrada, el código detector y corrector de errores genera 128 bytes de salida [9].

1.1.9 Protocolo MAC

Para soportar un gran número de usuarios en una simple red de acceso compartido, la tecnología CM temporiza y coordina los procesos vía el protocolo MAC (Control de Acceso al Medio). Este protocolo asigna banda para los usuarios, arbitra, y encamina sus actividades de forma que pueda recibir el rendimiento deseado.

En las redes de cable la comunicación es asimétrica, el CMTS dispone para su uso exclusivo del canal descendente, mientras que los CM han de compartir todos ellos el canal ascendente, por lo que es preciso arbitrar un protocolo MAC que permita la compartición.

El principio básico de este protocolo es minimizar la complejidad de los CM a costa de aumentar la del CMTS, puesto que el CMTS es para toda la zona y los CM estarán presentes en todas las viviendas de los usuarios que contraten el servicio.

Las redes de comunicación por cable no pueden utilizar un protocolo MAC tradicional como es el caso de CSMA/CD (Acceso Múltiple con Detección de Portadora/Detección de Colisiones) o *Token Ring* por una razón principal que es la imposibilidad de los CM de “oírse” directamente unos a otros impidiendo la detección de colisiones por parte de los CM, provocando el deterioro de calidad de la red. Además, las grandes distancias que pueden llegar a abarcar una red CATV harían sumamente ineficiente un protocolo tipo CSMA/CD.

El CMTS recibe la dirección MAC globalmente única de 48 bits que identifica al CM; en el canal descendente el CMTS es lo único que emite, por lo tanto, se produce conflictos. El CMTS informa a los CM el mapa de asignación de los *mini-slots*, que pueden ser de tres tipos:

- **Asignados a CM:** estos corresponden a los CM que previamente habían presentado su solicitud al CMTS y que ven así satisfecho su requerimiento. Durante estos *mini-slots* solo el CM designado puede transmitir por el canal ascendente.

- **De contención:** estos *mini-slots* quedan sin asignar y son los que permiten a los CM enviar sus solicitudes de tiempo al CMTS.
- **De mantenimiento:** estos *mini-slots* se reservan para funciones de mantenimiento de la red, entre las que se incluye por ejemplo la fase de inicialización y sincronización de los nuevos CM que se incorporen a la red [9].

En el canal ascendente los CM comparten el canal, cuando un CM quiere transmitir pide permiso al CMTS para emitir una cantidad de bits de acuerdo con la disponibilidad y el perfil que tiene asignado el CM. Cada CM recibe todo el tráfico descendente vaya o no dirigido a este, es decir se considera un medio *broadcast*, sin embargo, es necesario mencionar que es posible realizar emisiones *multicast/broadcast*.

La asignación de *mini-slots* a estaciones concretas permite aprovechar eficientemente el canal ascendente en condiciones de saturación, ya que las colisiones solo pueden ocurrir en los *mini-slots* de contención y mantenimiento, que son menores a medida que la red se satura.

Para garantizar el adecuado funcionamiento del protocolo MAC en las redes de cable se considera tres aspectos fundamentales:

- Sincronización.
- Modo de acceso al canal ascendente.
- Resolución de colisiones [9].

1.1.9.1 Sincronización

Las redes HFC necesitan dos niveles de sincronización, el nivel físico de sincronización que alinea las señales al nivel de bit y el nivel de sincronización MAC que alinea una gran cantidad de bit a los niveles de paquetes de datos. Como el retardo de propagación en estas redes es significativo, el nivel de sincronización MAC no puede ser ignorado.

Cuando la transmisión de tramas, una detrás de la otra, es deseada, cada estación trae una propagación de retardo diferente a la cabecera, esto implica que cuando la cabecera reserva una ranura de tiempo a una estación, dicha estación tiene que adaptar ese tiempo concedido de transmisión para este retardo de propagación, tal que la trama de transmisión se coloque justo en la ranura de tiempo reservada cuando esta llegue a la cabecera. Como las estaciones

no pueden prestar atención al canal ascendente, ellas son incapaces de detectar colisiones por ellas mismas [2].

Dentro del proceso de sincronización en las redes HFC se analiza los siguientes parámetros que permiten que se lleve a cabo en forma adecuada la coordinación de envío y recepción de información, dentro de estas medidas se tiene la siguiente:

Compensación de Retraso de Red

Los problemas más comunes dentro del ambiente HFC tienen que ver con el retardo de propagación, el cual puede ser más largo que el tiempo de transmisión; para que se pueda evitar esta ineficiencia cada estación necesita tener la siguiente información:

1. Corrección de ida y vuelta.
2. Tiempo global de referencia.

Una vez conocidos estos parámetros, cada estación puede transmitir datos en un *mini-slot* dado, asignado por la cabecera, permitiendo que con esta información se pueda evitar colisiones o los tiempos pasivos (tiempos ociosos) dependiendo de cada situación específica de las estaciones.

1. Corrección de Ida y Vuelta

Se da durante el proceso de inicialización, en donde cada estación debe realizar una operación para obtener su RTC (Control del Tiempo Real).

Un valor de RTC es equivalente a la diferencia entre la propagación máxima de ida y vuelta de la red y la propagación de ida y vuelta de la estación, a este proceso específico se le conoce como *Ranging* o posicionamiento de la estación.

Ranging

Es el proceso de dialogo entre la capa MAC de la cabecera y el CM para poder determinar de manera más exacta posible el retardo de propagación existente entre los dos, constituyéndose la primera etapa de sincronización de los CM 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 que puede ser diferente según sea para el canal descendente o de retorno, y según el tipo de

tráfico. Dentro de este proceso inicial se mide el RTC. La competición por un *mini-slot* en Modo de Acceso Reservado requiere del proceso de resolución de conflictos.

2. Tiempo Global de Referencia

La cabecera debe transmitir periódicamente un mensaje de sincronización en el canal descendente. El intervalo exacto no es crítico, pero se asume que está en el orden de varios milisegundos, el mensaje de sincronización es el comienzo de un ciclo [9].

1.1.9.2 Modo de acceso al canal

Existen tres modos de acceso al canal ascendente que son las siguientes:

- **Modo de Acceso Asíncrono:** Este modo de acceso está destinado para soportar aplicaciones de tasa de bit constante (CBR). Las estaciones tienen que apuntar a la cabecera para establecer una conexión prioritaria para transmitir datos. Después que la cabecera recibe la solicitud, esta es reconocida inmediatamente; si la cabecera la admite, entonces asigna constantemente un *mini-slot* para satisfacer el pedido de celdas e informa periódicamente a la estación cual *mini-slot* comienza a transmitir y cuantos pueden hacerlo.
- **Modo de Acceso Reservado:** Este modo de acceso posee la habilidad de asignar, de forma dinámica, ancho de banda por solicitud. Una estación envía una solicitud, la cual le indica a la cabecera cuanto ancho de banda necesita, la cabecera reserva el ancho de banda para esta estación según su algoritmo de planificación.
- **Modo de Acceso Inmediato:** cuando la red está completamente ociosa, todo el ancho de banda del canal ascendente está disponible para este modo de acceso; usualmente el ancho de banda está dividido en pequeñas unidades para la transmisión de paquetes y aplicaciones efímeras, por ejemplo, para la aplicación de TV interactiva.

La transmisión de grandes paquetes y aplicaciones duraderas deben usar Acceso Reservado o Acceso Isócrono, tomando en cuenta que ningún dato puede enviarse sin una solicitud previa.

Dentro de los estándares soportados por las redes HFC, no contemplan la utilización del Modo de Acceso Inmediato puesto que a más de ser utilizado para aplicaciones imperceptibles también utiliza gran ancho de banda cuando ocurren colisiones.

La tendencia actual indica que el protocolo MAC debe poner a disposición del CM ranuras cuyo acceso por estos pueda realizarse bien por reserva donde se asegura el acceso del CM a una ranura determinada de la trama de datos ascendente durante el tiempo que lo necesite, o bien por contención de manera que optimice el uso de recursos disponibles en el canal de retorno [9].

1.1.9.3 Colisiones

En forma general las redes HFC están constituidas de dos líneas de transmisión, una descendente y otra de retorno, entre las que se sitúan los CM 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.

El protocolo MAC, que está por encima de la capa física dentro de la pila de protocolos, permite que fluya información entre la estación y la cabecera, la responsabilidad principal es asegurar que la estación A está 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 ascendente. (Figura 1.4)

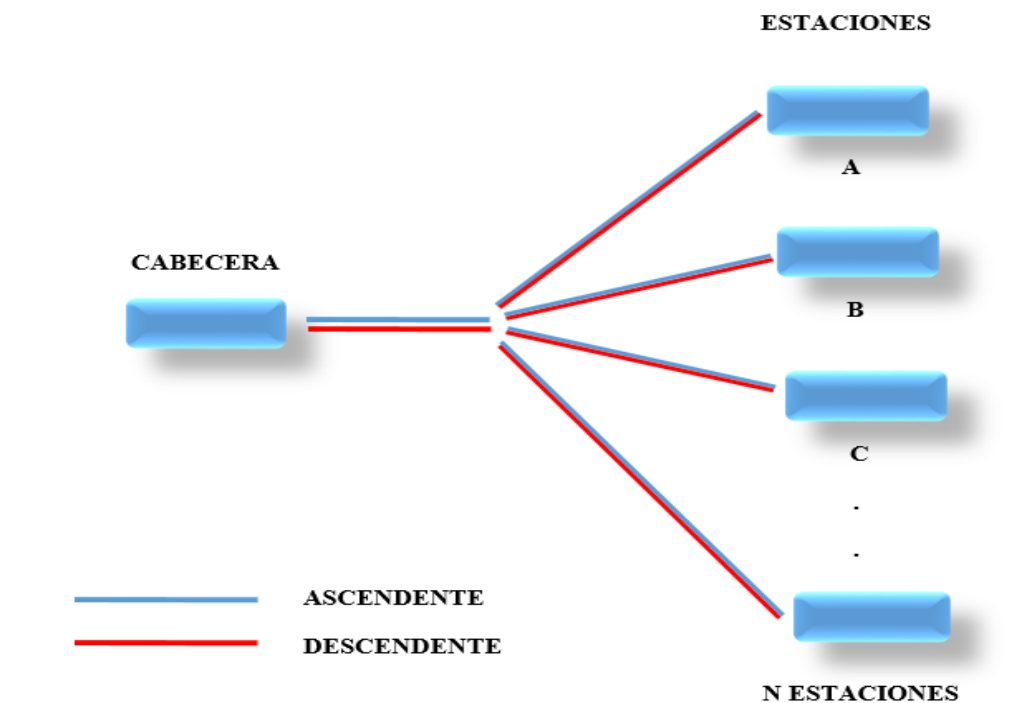


Figura 1.4: Tráfico ascendente y descendente entre la cabecera y las estaciones.

Existen dos tipos de resolución de Colisión en redes HFC:

1. Resolución de Colisión en el proceso de *Ranging*.

Las redes HFC presentan los retardos de propagación propios de redes WAN, pero deben poder servir de soporte para servicios en los que conocer y acortar el tiempo de acceso es fundamental. La resolución de colisiones utilizando en este procedimiento se basa en la determinación en forma exacta de los retardos que se producen entre la cabecera y el CM para lo cual se ayuda del proceso de *Ranging*.

2. Resolución de Colisión con el proceso de mantenimiento de la solicitud de *mini-slot*.

La cabecera ejecuta un algoritmo de asignación de *mini-slot* para decidir el número de *mini-slot* en un grupo con el propósito de enviar solicitudes. El algoritmo puede ser bastante inteligente para asignar más *mini-slot* cuando la pila virtual está alta, y asignan menos *mini-slot* cuando la pila está baja. De vez en cuando la cabecera envía un mapa de asignación que describe la situación y el uso del grupo de *mini-slot*.

Mini-slot

Cada canal ascendente está dividido en tiempo, en un caudal de mini-ranuras numeradas. La duración de cada *mini-slot* es igual al tiempo requerido para transmitir ocho octetos de información. Una Unidad de Protocolo de Datos (PDU) de la capa MAC ocupa solo un *mini-slot*, la cual es llamada mini-PDU y es usada durante oportunos conflictos con el propósito de solicitar ancho de banda. Un número de *mini-slot* puede asignársele a la cabecera y ser usado por la estación para transmitir fragmentos de la longitud variable PDU.

Solicitud *PIGGYBACK* para transmisiones subsecuentes

Si una estación tiene asignado n *mini-slot* para transmitir datos PDU y una nueva solicitud llega a la estación, esta puede llevar a cuenta la solicitud sobre su próxima transmisión PDU, en lugar de enviar la solicitud en una mini-PDU, la solicitud *PIGGYBACK* es reconocida inmediatamente, los requisitos para la solicitud / admisión son los siguientes:

- La estación recibe información de la cabecera sobre el canal descendente en el cual los *mini-slots* son habilitados para enviar solicitud.
- Una estación escoge un *mini-slot* de acuerdo con los algoritmos, identifica su posición y la cantidad de datos que desea enviar en el *mini-slot* escogido.

- La estación espera una cantidad de tiempo fija hasta que la cabecera envía una respuesta para su transmisión *mini-slot*.
- Si el reconocimiento de recepción es positivo, significa que ninguna colisión ocurrió. La cabecera proporcionará un mensaje de admisión para informar a la estación de cuándo transmitir, o un mensaje denegado, si no se permite el acceso [9].

Intervalos de resolución de conflictos (CRI)

Un intervalo de resolución de conflictos está definido como el máximo tiempo requerido que tienen todas las estaciones en la red para detectar si una solicitud enviada tuvo éxito o colisionó con otras, el nodo es el que recibe el resultado del conflicto en el canal descendente antes de empezar con el próximo intervalo de resolución de conflictos.

La figura 1.5 representa intervalo de resolución de conflictos donde muestra que si una estación envía una solicitud para el canal *upstream* y no transmite nada mientras espera el reconocimiento, entonces el canal ascendente se encuentra en un estado pasivo; lo que significa que, si se pierde el tiempo del CRI, es decir, dentro de un CRI la otra parte del grupo de *mini-slot* se puede usar para transmitir datos PDU.

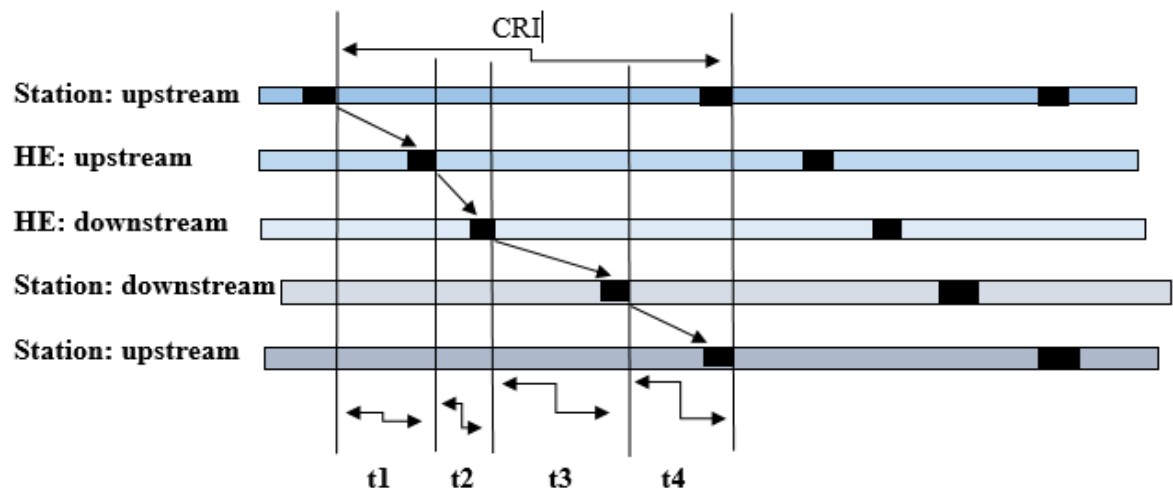


Figura 1.5: Gráfico de un CRI.

Protocolo de Resolución de Colisión (CRP)

La responsabilidad principal es asegurar que la estación A este 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 ascendente (Figura 1.4). El protocolo de Resolución de Colisión (CRP) está destinado a resolver colisiones desde dos o más estaciones que estén transmitiendo simultáneamente.

Este protocolo se utiliza para la comunicación *upstream* entre las estaciones y la cabecera, con el fin de usar eficientemente el canal ascendente, el mismo que está dividido en ranuras de tiempo discretos llamadas mini-ranuras, las mismas que están agrupadas para formar una trama de la capa MAC.

El procedimiento que sigue este protocolo es el siguiente:

Primero, una estación envía un pedido de ancho de banda por el canal ascendente 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 a 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 ascendente para las estaciones; la cabecera informa a la estación, usando un mensaje de concesión, cuando utiliza el canal y el usuario envía datos sin el conflicto de tiempo especificado.

La cabecera determina el formato de la trama por la colocación del número de ranuras de datos (DS) y ranuras de conflictos o *slot* de disputa (CS) en cada trama y envía esta información hacia las estaciones sobre el canal ascendente usando un mensaje asignado.

Distintas mini-ranuras pueden estar agrupadas juntas para formar una ranura de información o *slot* de datos (DS) que porta un PDU MAC. Las ranuras de información (DS) están asignadas explícitamente hacia una estación especificada por la cabecera.

Los slots de disputa CS abordan 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 ranuras CS están propensas a colisiones.

Para ganar acceso hacia el canal ascendente una estación debe realizar un proceso sobre la llegada de paquetes de datos que implica generar una solicitud y enviar en una ranura CS, en caso del choque de estas ranuras, la estación entra en el proceso de resolución de contención en orden para retransmitir las solicitudes [9].

1.2 DOCSIS 1.0

DOCSIS 1.0 fue diseñado para uniformar el alto rendimiento de suministro de acceso a Internet permitiendo que los operadores de cable puedan capitalizar oportunidades de prestación de servicios diferentes a más de estandarizar la comunicación entre el CMTS y el CM, reducir la complejidad y abaratar costos.

Inicialmente los beneficios que presentó DOCSIS 1.0 fueron reducidos, pero en forma general atractivos para los operadores que buscaban el mejoramiento de la calidad de servicio en la red de cable, seguridad, escalabilidad e interoperabilidad de la misma [8].

1.2.1 Características de DOCSIS 1.0

- Velocidad de transferencia de datos de 5.12 Mbps en el canal ascendente.
- Eficiencia espectral de 1.6 bps/Hz.
- Emplea modulación 64-QAM en el canal descendente.
- Utiliza modulación QPSK en el canal ascendente.
- Máximo ancho de banda del canal 3.2 MHz.
- Utiliza como archivo de configuración del cable módem a TFTP (Protocolo de Transferencia de Archivos de Texto).
- Maneja el protocolo de configuración de huésped dinámico (DHCP), para la asignación de direcciones IP dinámicamente.
- En el flujo *upstream*, el PHY de DOCSIS1.0 usa la técnica de acceso múltiple por división de frecuencia y tiempo (FDMA/TDMA). FDMA acomoda simultáneamente la operación de múltiples canales de RF en diferentes frecuencias. TDMA permite a diferentes CM compartir el mismo canal de RF permitiendo localizar cada CM en su propio slot de tiempo en el cual ha sido transmitido.
- Para la corrección de errores se vale de FEC (Corrección Progresiva de Errores).
- Puede ser programado para trabajar con el algoritmo Reed-Solomon.

- Utiliza rasgos de seguridad a través de BP: con el apoyo del Estándar de Encriptación de Datos (DES) [8].

1.2.2 Servicios de DOCSIS 1.0

Los servicios que puede ofrecer una red DOCSIS 1.0 son los siguientes:

- Conectividad a Internet básico.
- Servicio gradual de datos con calidad de servicio por módem.
- Red virtual privada (VNP) a los proveedores de servicio *upstream* (ISPs) [8].

1.3 DOCSIS 1.1

DOCSIS 1.1 fue introducido para proveer a la industria una especificación de suministro mejorado de datos a través de la red de cable. Esta estandarización facilita muchos beneficios a los operadores, vendedores y consumidores. La interoperabilidad es un beneficio clave ya que permite al operador construir y avanzar más fácilmente sobre infraestructuras que permitan ofrecer servicios perfeccionados que tienden a fortalecer la competitividad. DOCSIS 1.1 fue introducido al mercado para satisfacer los requerimientos más exigentes de los usuarios, mejorar la calidad de servicio, y poder introducir nuevas aplicaciones sobre la red existente.

En DOCSIS 1.1 se han realizado numerosas adecuaciones en la plataforma DOCSIS existente para permitir mayor flexibilidad en el CM y en el CMTS que permita transmitir combinaciones de tráfico de datos, tráfico en tiempo real como voz y video. Todos los cambios que se han introducido en DOCSIS 1.1 son a nivel de la capa física y de la capa de enlace de datos.

Dentro de las adecuaciones e implementaciones que ha introducido DOCSIS 1.1 se tiene lo siguiente:

- Avances en el canal ascendente, que implica el mejoramiento de los mecanismos de acceso al medio compartido.
- Mecanismos para solución de interferencia “jitter”.

- Mejoramiento de los rasgos de seguridad a través de BPI+: autenticación avanzada, seguridad a través del certificado digital X.509 y el apoyo del Estándar de Encriptación Triple de Datos (3DES).
- El CMTS puede asignar a CM un número de *mini-slot* menor que el solicitado, obligando al CM a fragmentar la información que desee enviar.
- Los operadores de cable han desarrollado normas que permitan la interconexión de la red existente con la plataforma IP que haga posible el paso del tráfico telefónico (VoIP) de los clientes.
- Mejoras en el ámbito de seguridad, a través de una encriptación privada que combine con rasgos avanzados de seguridad IP para garantizar la confiabilidad del servicio y el apoyo en cuanto se refiere al acceso remoto por parte de usuarios.
- Mejoró el ámbito de utilización del ancho de banda para responder acertadamente los requerimientos cambiantes del usuario.
- Mejoró el control sobre el medio donde se realiza el paso de información [12].

1.3.1 Características de DOCSIS 1.1

DOCSIS 1.1 es un conjunto de especificaciones que incorpora características de Calidad de Servicio (QoS) y autenticación, necesaria para manejar servicios que requieren una entrega de datos en tiempo real y mayor seguridad como es el caso de la telefonía. Dentro de las características más relevantes de DOCSIS 1.1 se tienen las siguientes:

- La velocidad de transferencia de información es de 10.24 Mbps en el canal ascendente.
- Máximo ancho de banda del canal 3.2 MHz.
- Realiza fragmentación de datos evitando de esta forma que un CM grande monopolice el canal ascendente durante un intervalo de tiempo.
- Eficiencia espectral 3.2 bps/Hz.
- Emplea modulación 16-QAM en el canal ascendente.
- Utiliza modulación 256-QAM en la canal descendente.
- Hace posible que los operadores de cable proporcionen el doble de nivel de funcionalidad.

- Especifica el manejo de telefonía IP, hasta cuatro canales de voz IP independientes sobre el sistema de cable.
- Parámetros de calidad de servicio QoS introducidos con la clasificación del tráfico para dar mayor flexibilidad.
- Priorización de tráfico en la capa de datos.
- Los clientes pueden tener un ancho de banda comprometido, de tal manera que no se produzca una contienda con otros módems.
- Utiliza como archivo de configuración del cable módem a TFTP (Protocolo de Transferencia de Archivos de Texto).
- Compromete un ancho de banda, requiriendo supervisar la capacidad de sus redes y asegurar que el ancho de banda esté disponible para los servicios especializados.
- Hace uso del protocolo de configuración de huésped dinámico (DHCP), para la asignación de direcciones IP dinámicamente.
- DOCSIS 1.1 provee para la corrección de hasta 10 bytes errados a través del algoritmo de Reed-Solomon (RS) (T=10).
- Considera el método de operación (PHY) Acceso Múltiple por División de Código y Tiempo (CDMA/TDMA) [12].

1.3.2 Servicios de DOCSIS 1.1

DOCSIS 1.1 apoya principalmente el buen funcionamiento de los servicios de valor agregado. Los servicios que se puede ofrecer una red DOCSIS 1.1 son los siguientes:

- Servicios en tiempo real (VoIP).
- Multimedia, video, juegos online, donde se compromete los parámetros de calidad.
- Servicio a proveedores de Internet (ISPs), detrás del mismo cable módem.
- Televisión Interactiva.
- Video bajo demanda.
- Videoconferencia.
- Datos.

La factibilidad del servicio de voz sobre IP (VoIP) a través de DOCSIS 1.1, es uno de los servicios más atractivos para todos los operadores, que miran como una alternativa

eficiente y factible para ofrecer este servicio la utilización de la infraestructura de las redes HFC. CableLabs define en forma completa las especificaciones correspondientes al servicio de VoIP a través de PacketCable [12].

1.4 DOCSIS 2.0

DOCSIS 2.0 fue desplegado para mejorar la eficiencia de banda ancha y el rendimiento en las redes de cable, su desarrollo se da específicamente en atención a la industria de cable afectada por la limitación de capacidad del canal *upstream* y la vulnerabilidad a deterioros de ruido [9].

1.4.1 Características de DOCSIS 2.0

- Velocidad de transferencia de información es de 30.72 Mbps en el canal ascendente.
- Maneja QoS.
- Mayor inmunidad al ruido.
- Máximo ancho de banda del canal 6.4 MHz.
- Utiliza modulación 256-QAM en el canal ascendente.
- Emplea modulación 256-QAM en el canal descendente.
- Eficiencia espectral 4.8 bps/Hz.
- Se puede ofrecer servicios simétricos.
- Considera dos métodos de operación (PHY) Acceso Múltiple de Código de División Sincronizado (S-CDMA) y Acceso Múltiple de Tiempo de División Avanzado (A-TDMA).
- Mayor protección contra daños electrónicos.
- Compatibilidad total con cable módems (CM) DOCSIS 1.0 y 1.1 y Sistema de Terminación de Cable módem (CMTS).
- DOCSIS 2.0 facilita la fragmentación de paquetes de datos.
- DOCSIS 2.0 permite la corrección de 16 bytes por Reed-Solomon (RS) (T=16). En el flujo ascendente el byte de entrelazamiento programable permite a la corrección FEC trabajar con mayor efectividad cuando los errores son creados por impulsos o ráfagas de ruido.

- Utiliza como archivo de configuración de huésped dinámico (DHCP), para la asignación de direcciones IP dinámicamente [9].

1.4.2 Servicios de DOCSIS 2.0

Debido a las mejoras presentadas en DOCSIS 2.0 los operadores de cable tendrán la posibilidad de ofrecer nuevos servicios simétricos e intensivos en banda ancha tales como:

- Voz sobre IP.
- Trabajo en red par-a-par.
- Videoconferencia.
- Video bajo Demanda.
- Televisión Interactiva.
- Multimedia.
- Datos [9].

1.5 DOCSIS 3.0

DOCSIS 3.0 consiste en una serie de especificaciones que define la tercera generación de la transmisión de datos de alta velocidad sobre sistemas de cable. Fue expedida en la primera semana de agosto de 2006 y representa la gran evolución del estándar. La flexibilidad en la implementación de sus nuevas características y la escalabilidad de los equipos de terminación lo hacen muy atractivo [13]. La principal característica que aporta la versión 3.0 de DOCSIS es el *Channel Bonding*, que permite agrupar varios canales físicos para formar un gran canal lógico y aumentar el ancho de banda, tanto en subida como en bajada para cada suscriptor [14].

DOCSIS 3.0 es más flexible y escalable que la versión anterior 2.0, y permite simplificar y acelerar la introducción de nuevos servicios multimedia en alta definición (HD), en formato “*Triple Play*”, como voz sobre cable (VoCable) e IPTV (*Internet Protocol Television*), entre otros. A través de la implementación de la simultaneidad de cuatro canales de 6MHz, el estándar permite alcanzar velocidades *downstream* al usuario final de 160Mbps, y velocidades *upstream* de 120 Mbps, por un costo bajo. Este protocolo tiene como prioridad entre otras cosas aumentar el ancho de banda que asciende a 160 Mbps o más de descarga y 120 Mbps o más de subida.

A nivel de seguridad, DOCSIS 3.0 es capaz de manejar un sistema estándar de cifrado avanzado, conocido como AES (*Advanced Encryption Standard*), cuya robustez representa una mejor prevención contra hackers y virus. Adicionalmente, el estándar soporta capacidades de *multicasting* (el mismo contenido para diferentes usuarios), que optimizan el desempeño de la red, principalmente para aplicaciones de IPTV [15].

Es importante mencionar que el estándar DOCSIS 3.0 a nivel de CMTS soporta versiones previas de DOCSIS (1.0 y 2.0), gracias a lo cual el operador no tendrá que cambiar las versiones de los terminales. Además, a nivel de arquitectura representa una ventaja para el operador de cable, debido a que es posible dividir las capacidades de ruteo y de modulación de amplitud cuádruple (*Edge QAM*), dando flexibilidad al MSO de seleccionar un *Edge QAM* universal y aumentar así capacidades de *upstream* y *downstream*. De este modo, el operador de cable no solo podrá gestionar y otorgar de manera más flexible los anchos de banda requeridos o servicios “*Triple Play*”, sino que permitirá al MSO optimizar el uso de video IP y aumentar así la oferta de canales disponibles en varios cientos, al igual que podrá personalizar paquetes de video con base en los gustos y preferencias de los usuarios finales [16].

Además, cuenta con:

- Mayores rangos de direccionamiento IP con IPv6.
- Soporte mejorado para *Multicast* (multidifusión).
- Técnicas de encriptación más robustas con AES.
- Sistemas de gestión de más capacidad con mediciones más profundas.
- Razón de canales *upstream* a canales *downstream* más flexible (U: D) [14].

Las especificaciones DOCSIS 3.0 no limitan la cantidad de canales que se pueden unir para el *channel bonding*. En la práctica los factores que lo limitan pueden describirse como la cantidad de canales de 6 MHz u 8 MHz libres y equipamiento que soporte mayores grupos de canales puenteados. Pocos fabricantes pueden ofrecer soluciones económicas de equipamiento que puedan puentear más de 4 canales debido al alto costo marginal y a la baja demanda.

Ahora tiene un soporte nativo de la tecnología IPv6 y se han mejorado los protocolos de transmisión de datos multimedia, el HD-VoD (*High Definition Video on Demand*), el *Plug-and-Play* para interoperabilidad de aparatos interactivos, etc. [10].

1.6 Correlación entre las versiones DOCSIS

1.6.1 Comparación de DOCSIS 1.0 con DOCSIS 1.1

Los avances introducidos por DOCSIS 1.1 van más allá de mejorar la calidad de los servicios ofrecidos por DOCSIS 1.0. Los operadores de cable miran a DOCSIS 1.1 como una alternativa idónea para implementar una verdadera gama de multi-servicios que involucren avances e introducción de nuevos parámetros dentro de la red HFC.

Dentro del parámetro principal que se considera en la comparación de los beneficios implementados es la calidad de servicio (QoS), en DOCSIS 1.0 se limita a proporcionar el servicio del mejor esfuerzo “*best effort*”, es decir todos los paquetes de datos en la red de acceso tienen la misma prioridad y están contemplados a los mismos límites de rendimiento (*throughput*).

El problema no es el canal de transmisión o el CM (Cable Módem), pero si la gerencia de tráfico para servicios continuos por parte de DOCSIS 1.0 que no fue diseñado y orientado para tráfico multimedia y de voz sobre IP (VoIP). En DOCSIS 1.0 cuando una estación quiere transmitir una trama que puede contener hasta 1500 bytes de datos la transmite en su totalidad una vez que recibe asignación de *mini-slot* por parte del CMTS.

En redes con una elevada ocupación y un canal ascendente de baja capacidad esto puede llegar a suponer un retardo tal que no haga posible el uso de ciertas aplicaciones a tiempo real, tales como la telefonía; DOCSIS 1.1 resuelve este problema, gracias a la posibilidad de fragmentación y las mejoras en calidad de servicio introducidas es así que la red está mejor adaptada a aplicaciones isócronas altamente sensibles al retardo.

Otro ámbito reforzado de DOCSIS 1.1 son los mecanismos de seguridad mejorados (BPI+) que son extensión de BP en DOCSIS 1.0. Cuando se habilitan estos parámetros, el tráfico fluye entre el CM y CMTS se encripta, con lo que el CMTS maneja una clave cliente/servidor autenticada con el protocolo de dirección. BPI+ se apoya en el uso de X509, que es un

certificado digital que se guarda permanentemente en el CM de todos los fabricantes, esto ayuda a prevenir el robo e interrupción del servicio.

DOCSIS 1.1 tiene un mecanismo para que los CM y el CMTS puedan dirigir diferentes tipos de tráfico IP provenientes de servicios diferentes. Los CM se autentican con el CMTS para ganar acceso al servicio y que este reciba los datos correspondientes, así como disminuir el ataque o robo de servicio de personal no autorizado.

Los clasificadores pueden definir en base a la fuente o dirección de destino MAC, dirección IP de origen y destino, número de puerto de origen y destino, tipo de servicio IP, y una combinación de estos. El criterio de clasificación específico resulta crítico a la hora de asegurar la priorización adecuada del tráfico.

En DOCSIS 1.0 los CM no pueden tener largas tramas Ethernet dentro de múltiples fragmentos en diferentes tiempos, esto significa que el ancho del canal ascendente y la tasa de símbolos de otro CM tendrían que esperar que sean transmitidas en primera instancia las tramas grandes antes de hacer potencial sus propias transmisiones. Este tipo de retraso debido a la señalización de tramas grandes no es aceptable en aplicaciones de tiempo real, porque aumentaría la interferencia y la latencia. DOCSIS 1.1 encadena los paquetes de datos pequeños y los envía detrás de la cabecera DOCSIS, permitiendo el uso eficiente del sistema [9].

1.6.2 Comparación de DOCSIS 1.1 con DOCSIS 2.0

Comparado con la generación anterior DOCSIS 1.1, DOCSIS 2.0 provee 1.5 veces mayor eficiencia espectral.

Debido a la combinación de órdenes de modulación más altas y un aumento de la proporción de símbolo (banda de canal más ancha) también triplicaron el máximo rendimiento de datos por canal, lo que permite que DOCSIS 2.0 pueda ofrecer servicios simétricos tanto para residentes como para clientes comerciales. Dentro de los beneficios de DOCSIS 2.0 se menciona el avance en la tecnología PHY que no causa un impacto significativo en el ámbito económico, adicionalmente a esto no requiere que se realicen cambios importantes en cuanto a la infraestructura de transporte se refiere. Las diferencias estructurales entre las dos versiones de DOCSIS, no son enteramente relevantes, estos dos estándares tienen mucha

similitud, permitiendo que la migración de DOCSIS 1.1 a DOCSIS 2.0 pueda realizarse sin afectar mayormente los componentes actuales.

Tanto DOCSIS 1.1 como DOCSIS 2.0 utilizan el certificado digital X509 que es una recomendación publicada en junio de 1997 para la autenticación de los sistemas en la interconexión por parte del fabricante. El mensaje de Información de Autenticación de X509 es estrictamente informativo, es decir, el CMTS puede ignorarlo; sin embargo, permite mantener un mecanismo donde el CMTS conoce los certificados de los CM de sus clientes [9].

1.6.3 Comparación de DOCSIS 2.0 con DOCSIS 3.0

La principal diferencia entre los estándares DOCSIS 2.0 y DOCSIS 3.0 es que los CM de DOCSIS 3.0 permite mucho más alto rendimiento. Un módem de DOCSIS 3.0 con 4 canales ligados, por ejemplo, proporcionaría 4 veces el ancho de banda de un módem de DOCSIS 2.0.

Algunas otras diferencias técnicas:

- DOCSIS 3.0 soporta modulación 128-QAM para tráfico *upstream*, mientras que DOCSIS 2.0 sólo admite modulación 64-QAM.
- DOCSIS 3.0 utiliza de 108 MHz a 1.002 GHz en el canal *downstream* y de 5 MHz a 85 MHz en el canal *upstream*, mientras que DOCSIS 2.0 utiliza de 88 MHz a 860 MHz en el canal *downstream* y de 5 MHz a 42 MHz en el canal *upstream*[10].

1.7 Conclusiones del Capítulo

En la tabla 1.8 se muestra la comparación de los distintos estándares DOCSIS.

Tabla 1.8: Comparación entre las versiones de DOCSIS.

| Parámetro | DOCSIS 1.0 (1997) | DOCSIS 1.1 (1999) | DOCSIS 2.0 (2001) | DOCSIS 3.0 (2006) |
|----------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Velocidad de transferencia | 5.12 Mbps (up) | 10.24 Mbps (up) | 30.72 Mbps (up) | 120 Mbps (up) |
| Eficiencia espectral | 1.6 bps/Hz | 3.2 bps/Hz | 4.8 bps/Hz | 15.6 bps/Hz |
| Modulación empleada | QPSK (up) 64-QAM(down) | 16-QAM (up) 256-QAM(down) | 256-QAM (up) 256-QAM (down) | 64-QAM (up) 256-QAM (down) |
| Ancho de banda del canal | 3.2 MHz | 3.2 MHz | 6.4 MHz | 6.4 MHz |

CAPÍTULO 2. Estándar de última generación: DOCSIS 3.1

2.1 Introducción

El estándar DOCSIS 3.1, publicado en junio 2015, actúa como un “turbo” para las redes de cable. Sus mejoras técnicas permiten a los operadores aumentar significativamente el rendimiento de sus redes de cable en el enlace descendente y ascendente sin tener que realizar costosas modificaciones en la infraestructura de red HFC.

DOCSIS 3.1 se centra en el uso eventual de todo el espectro disponible en el entorno del cable por el CMTS y CM; y da un costo eficaz y técnicas escalables encaminadas a conseguir la plena utilización del espectro [3].

2.2 Características Generales

Puesto que la especificación DOCSIS 3.1 incluye también las versiones anteriores, los componentes de red deben ser compatibles de forma retroactiva. Las redes de cable actuales utilizan diferentes versiones del estándar. En la tabla 2.0 se muestran las diferencias entre DOCSIS 3.0 y DOCSIS 3.1 en el enlace ascendente y descendente [3].

Tabla 2.0: Comparación de las características principales de DOCSIS 3.1 con DOCSIS 3.0.
(Los valores indicados entre paréntesis se refieren a futuras ampliaciones).

| Enlace descendente | | | Enlace ascendente | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Parámetro | DOCSIS 3.1 | DOCSIS 3.0 | Parámetro | DOCSIS 3.1 | DOCSIS 3.0 |
| Modulación | OFDM 4k y 8k FFT similar a DVB-C2 | Portadora única con J.83/B o DVB-C | Modulación | OFDM 2k y 4k FFT similar a DVB-C2 | Portadora única con TDMA o CDMA |
| Rango de frecuencias | 108 MHz a 1218 MHz (1794 MHz) | 45 MHz a 1002 MHz | Rango de frecuencias | 5 MHz a 204 MHz | 5 MHz a 50 MHz |
| Ancho de banda de canal | hasta 192 MHz | 6 MHz o 8 MHz | Ancho de banda de canal | hasta 96 MHz | hasta 6,4 MHz |
| Orden QAM | hasta 4096 (opcional 8k, 16k) | hasta 256 | Orden QAM | hasta 4096 | hasta 64 |
| Corrección de errores | LDPC, BCH | Reed-Solomon | Corrección de errores | LDPC, BCH | Reed-Solomon, Trellis |
| Velocidad de enlace ascendente | 10 Gbit/s (20 Gbit/s) | 300 Mbit/s (1 Gbit/s) | Velocidad de enlace ascendente | 1 Gbit/s (2,5 Gbit/s) | 100 Mbit/s (300 Mbit/s) |

Numerosos desarrollos y requerimientos marcan el rumbo del mercado, como las exigencias de accesos rápidos a Internet, nuevos servicios empresariales, contenidos OTT (*over the top*), transmisiones de televisión en 3D, así como 4K y 8K, por solo citar algunas. Algunos operadores están implantando WiFi por cable para permitir el uso de las WLAN no solo en los hogares, sino también desde puntos de acceso en el exterior. Así, los clientes pueden acceder cómodamente a su WLAN también cuando se encuentran en las inmediaciones de su vivienda. DOCSIS 3.1 cumple todos los requisitos de estos nuevos servicios, con su elevada velocidad de transferencia de datos y se convierte en un factor decisivo para el éxito de los operadores de cable a la hora de mantener su posición en el mercado [17].

También los aspectos económicos hablan a favor de DOCSIS 3.1. El estándar mejorado usa el espectro de forma más eficiente gracias a las constelaciones más elevadas pues se transfiere más bits con el mismo ancho de banda, lo que disminuye el costo por bit. Pero, ante todo, los operadores pueden mantener su infraestructura de cables de cobre en la última milla prácticamente sin cambios, y a pesar de todo alcanzar velocidades de transmisión que eran impracticables con las versiones anteriores de DOCSIS [18].

El estándar DOCSIS 3.1 cubre los distintos anchos de banda de Europa, América o Asia; y puesto que es compatible de forma retroactiva, facilita la transición al estado más actual y reduce así al mínimo los gastos y el riesgo de los operadores.

Una diferencia fundamental con respecto a las versiones anteriores reside en la tecnología de múltiples portadoras (OFDM) de DOCSIS 3.1, que ofrece numerosas ventajas:

- Resistencia mejorada frente al ruido impulsivo con tiempos de símbolo más largos.
- Supresión de subportadoras que impide errores de bit por radiación.
- Perfiles adaptados para diferentes condiciones de recepción.
- *Interleaving* de tiempo y de frecuencias para mejorar la inmunidad frente al ruido impulsivo e interferencias de banda estrecha.
- Intervalo de protección (prefijo cíclico) que impide interferencias intersimbólicas (ISI).
- Conformación de símbolo con flancos más inclinados en el espectro que previene interferencias entre canales [3].

DOCSIS 3.1 utiliza Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM) para señales *downstream* y Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales (OFDMA) para señales del canal *upstream* logrando un funcionamiento robusto y proporcionando el uso más eficiente del espectro que en las versiones anteriores de DOCSIS. El sistema DOCSIS 3.1 tendrá opciones de muchas configuraciones de división que puede ser ejercida en base a la demanda de tráfico, los servicios ofrecidos y la capacidad de la planta de cable. En la dirección *downstream*, se espera que el espectro de la red HFC se extienda más allá de 1002 MHz.

El sistema de multiportadora OFDM en el canal *downstream* se compone de un gran número de subportadoras que tienen un espaciamiento entre 25 kHz y 50 kHz. Estas subportadoras se agrupan en canales OFDM configurables de forma independiente cada una ocupando un espectro de hasta 192 MHz en el enlace *downstream*, por un total de 7680 subportadoras para 25 kHz, y para 50 kHz, 3840 subportadoras; hasta 7600 (25 kHz) o 3800 (50 kHz) subportadoras activas en un espectro de 190 MHz. El sistema de multiportadora OFDMA en el canal *upstream* también se compone de 25 kHz hasta 50 kHz de subportadoras. En el sentido *upstream*, las subportadoras se agrupan en canales OFDMA configurables de forma independiente cada una ocupando un espectro de hasta 96 MHz, por un total de 3840 subportadoras espaciadas 25 kHz o 1920 subportadoras espaciadas 50 kHz. Muchos parámetros de estos canales pueden ser independientemente configurados para así optimizar la configuración basada en las condiciones del canal [7].

DOCSIS 3.1 utiliza adicionalmente una eficaz corrección de errores (verificación de paridad de baja densidad, LDPC), alcanzando constelaciones mucho más elevadas (actualmente

4096-QAM, en el futuro hasta 16k-QAM) y con ello velocidades de transmisión muy superiores (Figura 2.0).

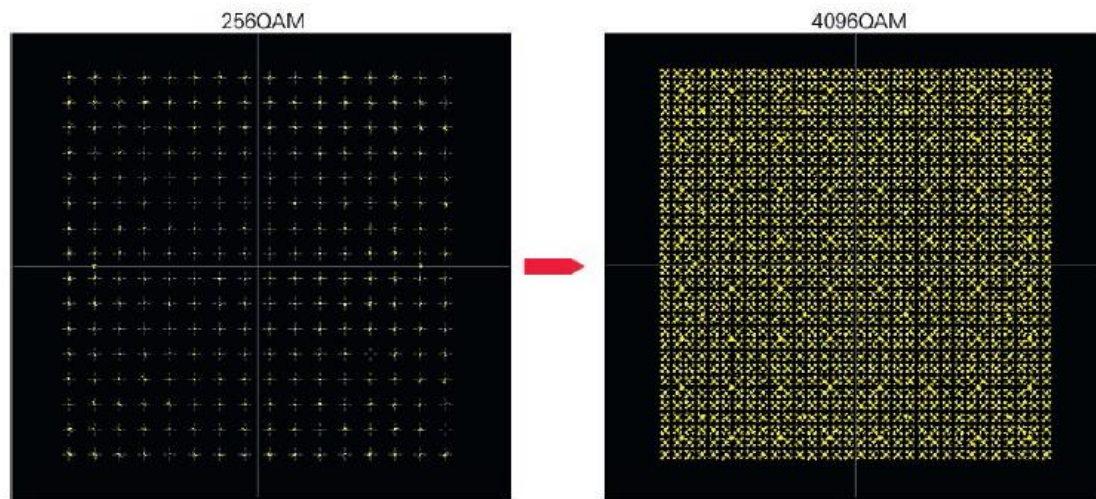


Figura 2.0: Una mejora fundamental de DOCSIS 3.1 son las constelaciones de orden superior, que permiten velocidades de transmisión mayores.

El estándar DOCSIS 3.1 reduce o elimina la necesidad de bandas de protección de RF, ya que define canales con un ancho de banda de hasta 192 MHz (Figura 2.1). Esta tecnología ha sido empleada por el operador de televisión japonés *Japan Cable Television Engineering Association Group* (JCTEA) para aumentar la velocidad de transmisión del enlace descendente en transmisiones 8K con altas frecuencias de repetición de imagen y codificación HEVC.

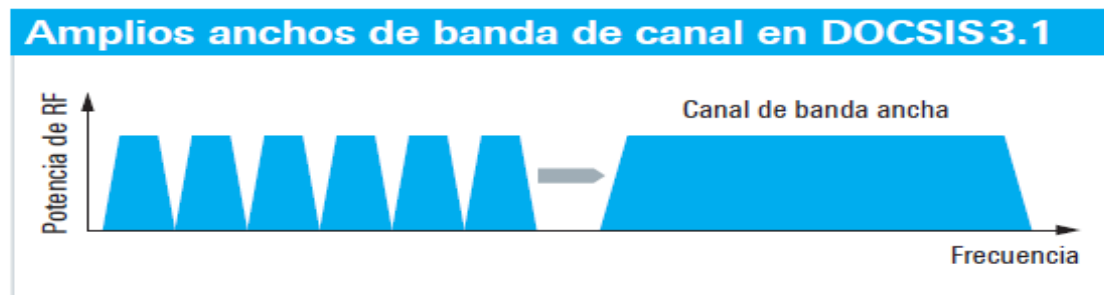


Figura 2.1: Los amplios anchos de banda de canal suprimen las bandas de protección de RF y elevan la eficiencia de la transmisión.

Las constelaciones más elevadas exigen una mejor calidad de señal (MER). Por este motivo, la cabecera debe generar señales de enlace descendente con la menor cantidad posible de

errores de modulación. También, el trayecto ascendente debe tener una alta calidad de modulación, ya que es susceptible al ruido. Así pues, las pruebas y el mantenimiento son factores de suma importancia en las redes de cable conformes con el estándar DOCSIS 3.1.

Una característica destacada de DOCSIS 3.1 son los perfiles que permiten asignar a áreas específicas de la topología de red configuraciones de señales apropiadas, pues no todos los CM reciben la misma cobertura. La calidad de la señal en el módem depende de la distancia al CMTS, del tipo y la cantidad de componentes intermedios (Figura 2.2) y de las perturbaciones dadas. Los perfiles se sirven de la posibilidad de asignar a cada subportadora de un canal de cable OFDM una constelación individual (QAM). La asignación de perfiles adecuados para grupos de módems con una calidad de señal similar garantiza que la máxima cantidad de módems de la red alcancen la mejor capacidad de canal posible con la relación portadora/ruido (CNR) presente (Figura 2.3).

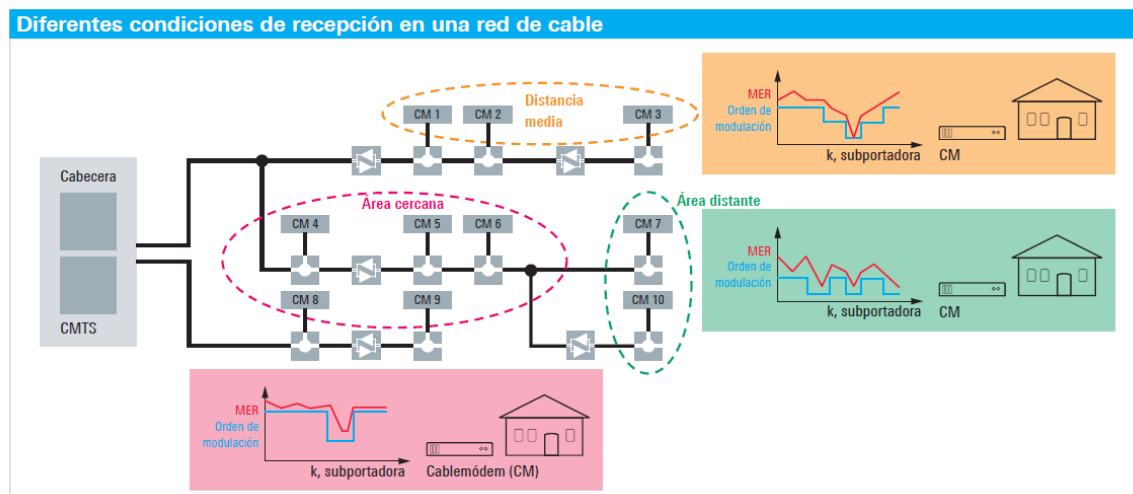


Figura 2.2: La calidad de la señal (MER) depende de la estructura de la red de cable y de la distancia entre el CM y el CMTS.

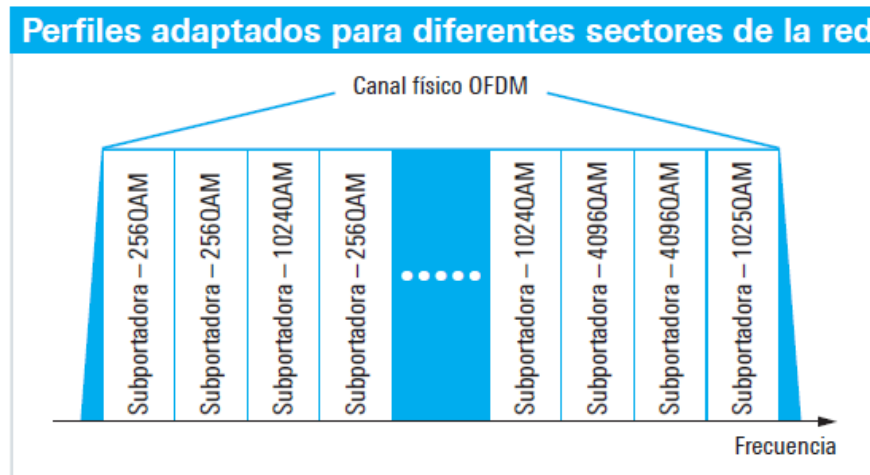


Figura 2.3: A cada subportadora de un canal de cable OFDM se le puede asignar diferentes constelaciones.

Sin la posibilidad de asignar perfiles diferentes, el CMTS tendría que generar las señales con una constelación tan reducida que hasta el módem con la peor CNR fuera capaz de decodificarla, reduciendo innecesariamente la velocidad de transmisión en el resto de los CM. Este procedimiento es similar al de las conexiones de capa física (PLP) en el estándar DVB-T2, donde el servicio de transmisión se puede adaptar a las distintas situaciones, como por ejemplo recepción a través de antena, dentro de edificios o recepción móvil.

Desde su publicación, DOCSIS 3.1 ha desatado un gran dinamismo en EE.UU. CableLabs ha organizado hasta el momento dos conferencias en Louisville (Colorado), en las que tanto fabricantes de CMTS y de CM como proveedores de instrumentación y operadores de redes tuvieron la oportunidad de reunirse para probar la interoperabilidad de sus sistemas.

En Japón, en el marco de los preparativos para los Juegos Olímpicos de 2020 de Tokio, la JCTEA (*Japan Cable Television Engineering Association*) ha adaptado recientemente el estándar DVB-C2 para poner en marcha a partir de 2016 transmisiones 8K (con 120 frames/s) según UHD-2. Estos servicios utilizarán la codificación HEVC y requerirán prioritariamente una velocidad de transmisión de 100 Mbps. JCTEA propuso al grupo de trabajo DVB-C2 con el apoyo de Sony una serie de ampliaciones que permiten aplicar el estándar según la normativa oficial de Japón para la radiodifusión:

- Notificaciones de sistemas de alerta anticipada (terremotos, etc.). Esta señal debe estar incluida en la señalización L1 para garantizar una transmisión lo suficientemente estable.
- Definición precisa de la agrupación de PLP. Actualmente definida solo rudimentariamente. Es previsible que Japón sea el primer país que utilice esta agrupación con fines comerciales.
- Nuevos esquemas de modulación y codificación para una mayor flexibilidad. Los esquemas actualmente definidos en el estándar DVB-C2 permiten alcanzar una velocidad de transmisión de 49 Mbps (1024QAM con tasa de código 5/6) con una relación señal/ruido aceptable. Para una MER más elevada en un ancho de banda de 6 MHz se dispone de 56 Mbps (4096QAM con tasa de código 5/6).

Las topologías de cable han ido evolucionando hacia arquitecturas de nodos más pequeños con menos amplificadores en cascada. Esta natural evolución de la red de cable y la reducción gradual de los tamaños de nodo trae una mejora correspondiente en las condiciones del canal. En DOCSIS 3.1 el objetivo es aprovechar las mejoras de la red y se espera lograr mayores niveles de eficiencia que corresponden a la mejora en las condiciones del canal. En las direcciones *downstream* y *upstream*, se pueden definir perfiles para que coincida con la configuración de transmisión a las condiciones de canal con mayor granularidad. DOCSIS 3.1 es una tecnología capaz de operar en clásicas topologías de red por cable, pero esas redes pueden que no sean capaces de lograr capacidades de eficiencia de ancho de banda de DOCSIS 3.1.

Una supuesta configuración en la topología de DOCSIS 3.1 es que el CM se coloca la mayoría de las veces en una compuerta de enlace. Esta configuración limita el potencial de atenuación dentro del ambiente del hogar. Esta atenuación reducida se aprovecha para permitir mayores eficiencias destinadas en DOCSIS 3.1.

Otro propósito de DOCSIS 3.1 es aprovechar la granularidad de múltiples subportadoras de banda estrecha para excluir regiones del espectro no deseados de transmisión de manera que señales interferentes pueden ser evitadas. Aprovechando el mismo mecanismo, la convivencia con los sistemas existentes se puede implementar para forjar una porción del espectro para permitir otra transmisión coexistente [3].

Se espera que los CM y CMTS sean capaces de operar en múltiples modos. Un modo podría ser de pura Modulación de Amplitud en Cuadratura de Portadora Simple (SC-QAM), la transmisión OFDM pura o una combinación de los dos. Esta flexibilidad permite una transición suave entre los sistemas SC-QAM y OFDM.

DOCSIS 3.1 utiliza codificación de Baja Densidad de Control de Paridad (LDPC) y Corrección de Errores en Recepción (FEC) en lugar de la codificación de Reed Salomón usado en DOCSIS 3.0 y versiones anteriores. Largos tipos de palabras de código FEC se definen en el sentido *upstream* y *downstream* para optimizar la eficiencia. LDPC y FEC junto con la frecuencia y entrelazado de tiempo se utiliza para proporcionar robustez frente a interferentes señales de banda estrecha y eventos de ráfaga.

Cabe destacar también que la disponibilidad de la red de cable con DOCSIS 3.1 es típicamente mayor que 99,9 % [7].

2.3 Plan de Frecuencias

En la dirección *downstream*, el sistema de cable se supone que tiene una banda de paso con un borde inferior ya sea de 54 MHz, 87,5 MHz, 108 MHz o 258 MHz, y un borde superior que es dependiente de la implementación, pero está típicamente en el rango de 550 hasta 1002 MHz. Se espera que los bordes superiores de frecuencia se extienden hasta 1218 MHz, 1794 MHz y otras con las futuras migraciones de las plantas.

En el sentido *upstream*, el sistema de cable puede tener 5-42 MHz, 5-65 MHz, 5-85 MHz, 5-117 MHz, 5-204 MHz o bandas de paso con una banda de borde superior más allá de 204 MHz. Las señales NTSC de televisión analógica en canales de 6 MHz pueden estar presente, así como otras señales [7].

2.4 Compatibilidad con otros servicios

En particular:

- El CMTS debe ser interoperable en el espectro de cable asignado para el CMTS y la interoperación del CM, mientras que el equilibrio del espectro del cable está ocupada por cualquier combinación de televisión y otras señales.

- El CM debe ser interoperable en el espectro de cable asignado para el CMTS y la interoperación del CM, mientras que el equilibrio del espectro del cable está ocupada por cualquier combinación de televisión y otras señales.
- El CMTS no deben causar interferencia perjudicial a ningún otro servicio que se asignan a la red de cable en el espectro fuera de las asignadas al CMTS.
- El CM no deben causar interferencia perjudicial a ningún otro servicio que se asignan a la red de cable en el espectro fuera de las asignadas al CM.

La interferencia perjudicial se entiende como:

- Sin degradación medible (el más alto nivel de compatibilidad),
- No hay degradación perceptible por debajo del nivel de los impedimentos para todos los servicios (nivel estándar o medio de compatibilidad), o
- Sin degradación por debajo de los estándares mínimos aceptados por la industria (por ejemplo, la FCC para servicios de video analógico) u otro proveedor de servicios (nivel mínimo de compatibilidad) [7].

2.5 Canales de RF

2.5.1 Transmisión Descendente

Las características de transmisión del canal de RF de la red de cable en la dirección *downstream* se describen en la tabla 2.1. Estas cifras se suponen con una potencia media total de una señal digital en un canal de ancho de banda de 192 MHz para niveles de subportadoras. Para los niveles de deterioro, los números en la tabla 2.1 asumen potencia media en un ancho de banda en la que los niveles de deterioro se calculan de una manera estándar para los sistemas de televisión por cable. Para los niveles de señal analógica, los números en la tabla 2.1 asumen potencia de cresta en un ancho de banda de canal de 6 MHz. Todas las condiciones están presentes al mismo tiempo. Se espera que la red HFC tendrá mejores condiciones para DOCSIS 3.1 para proporcionar el mayor rendimiento y capacidades anticipados.

Tabla 2.1. Típicas características del canal de transmisión de RF en sentido *downstream*.

| Parámetro | Valor |
|---|---|
| Rango de frecuencia | Para un sistema de cable normal en sentido <i>Downstream</i> el rango de operación es de 54 MHz a 1002 MHz. Los rangos de operación extendidos para sentido <i>Downstream</i> incluyen bordes inferiores de 108 MHz y 258 MHz y bordes superiores de 1218 MHz y 1794 MHz. |
| Separación de canales de RF | 24 a 192 MHz |
| Retardo de tránsito de ida y vuelta de la cabecera para el cliente más distante | ≤ 0.400 ms (típicamente mucho menos) |
| Relación compuesta de señal a ruido | ≥ 35 dB |
| Variación de retardo de grupo | ≤ 113 ns más de 24 MHz |
| Número máximo de portadoras analógicas | 121 |

2.5.2 Transmisión Ascendente

Las características de transmisión de canal de RF de la red de cable en la dirección *upstream* se describen en la tabla 2.2. La transmisión es desde la salida CM en la ubicación del cliente a la cabecera.

Tabla 2.2: Típicas características de transmisión del canal de RF en sentido *upstream*[7].

| Parámetro | Valor |
|---|--|
| Rango de frecuencia | El rango de frecuencia del estándar de cableado en sentido <i>Upstream</i> está limitado por banda inferior de 5 MHz a una banda superior de 42 MHz y 65 MHz. Los rangos de frecuencia extendidos para el sentido <i>Upstream</i> incluyen intervalos de bandas superiores de 85 MHz, 117 MHz y 204 MHz. |
| Retardo de tránsito de ida y vuelta de la cabecera para el cliente más distante | ≤ 0.400 ms (típicamente mucho menos) |
| Variación de retardo de grupo | ≤ 163 ns más de 24 MHz |
| Ganancia inversa (pérdida) estacional y diurna de variación | No mayor de 14 dB mínimo al máximo |

2.6 Conclusiones del capítulo

Las características más significativas que presenta el estándar DOCSIS 3.1 son:

- Elevada velocidad de transferencia de datos:
 - 10 Gbps en el enlace ascendente.
 - 1 Gbps en el enlace descendente.
- Aumenta significativamente el rendimiento de las redes de cable en el enlace descendente y ascendente sin tener que realizar costosas modificaciones en la infraestructura de red HFC.
- Utiliza una eficaz corrección de errores (verificación de paridad de baja densidad, LDPC), alcanzando constelaciones mucho más elevadas (actualmente 4096-QAM, en el futuro hasta 16k-QAM); de esta manera se usa el espectro de forma más eficiente pues se transfiere más bits con el mismo ancho de banda, lo que disminuye el costo por bit y con ello velocidades de transmisión muy superiores.

- DOCSIS 3.1 utiliza Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM) para señales *downstream* y Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales (OFDMA) para señales del canal *upstream* logrando un funcionamiento robusto y proporcionando el uso más eficiente del espectro que en las versiones anteriores de DOCSIS.
- El estándar DOCSIS 3.1 reduce o elimina la necesidad de bandas de protección de RF ya que define canales con un ancho de banda de hasta 192 MHz.
- La disponibilidad típica de la red de cable con DOCSIS 3.1 es mayor que 99,9 %.
- Una característica destacada de DOCSIS 3.1 son los perfiles que permiten asignar a áreas específicas de la topología de red configuraciones de señales apropiadas, pues no todos los CM reciben la misma cobertura.

CAPÍTULO 3. Aplicaciones del estándar DOCSIS en redes HFC

3.1 Red Híbrida Fibra Óptica –Coaxial (HFC)

3.1.1 Definición

Es una red de telecomunicaciones bidireccional por cable que combina la fibra óptica y el cable coaxial como soportes de la transmisión de las señales, constituyéndose en una plataforma tecnológica de banda ancha que permite el despliegue de todo tipo de servicios de telecomunicaciones además de la distribución de señales de TV analógica y digital [19].

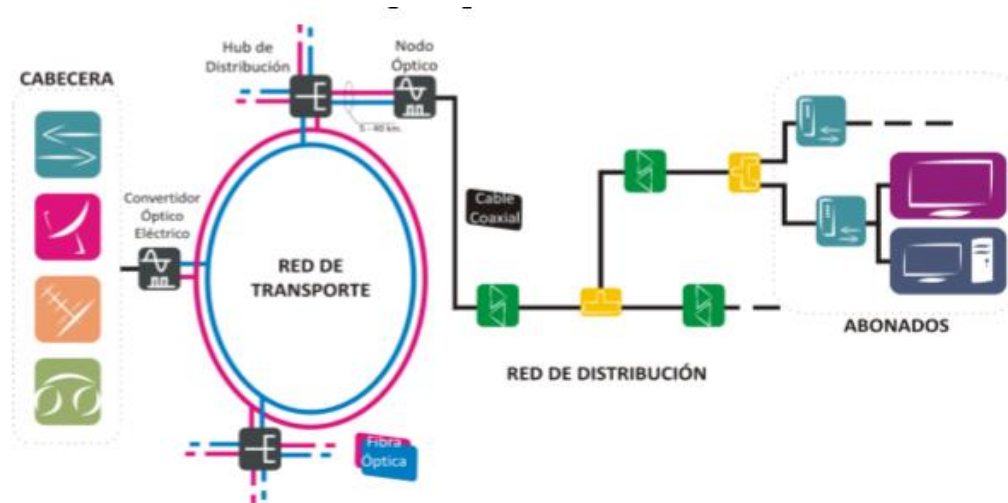


Figura 3.0: Topología de una red HFC.

La transmisión de datos en redes HFC se realiza a través de un medio de acceso compartido, en el que los usuarios comparten un determinado ancho de banda. Las principales características que tienen las redes HFC son las siguientes:

- Gran ancho de banda.

- Posibilidad de ofrecer una amplia gama de servicios tanto analógicos como digitales.
- Soporte de servicios conmutados y de difusión.
- Flexibilidad de adaptación a cambios de la demanda y del mercado.
- Tarifa Plana [20].

Las redes Híbridas Fibra-Coaxial (HFC) están constituidas, genéricamente, por tres partes principales (figura 3.1):

- **Infraestructura HFC:** incluye la fibra y el cable coaxial, los transmisores ópticos, los nodos ópticos, los amplificadores de radiofrecuencia, y elementos pasivos.
- **Elementos de red:** constituyen los dispositivos específicos para cada servicio que el operador conecta tanto en los puntos de origen del servicio como en los puntos de acceso a este.
- **Terminal de usuario:** cable módems, decodificadores, unidades para integrar el servicio telefónico [21].

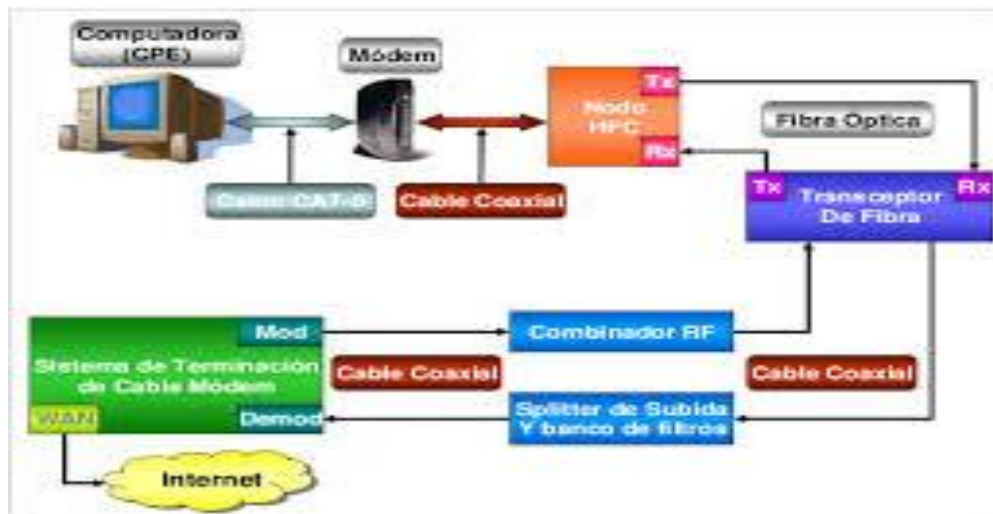


Figura 3.1: Partes principales de una red HFC.

3.1.2 Infraestructura de las redes HFC

3.1.2.1 Medios de Transmisión

La red HFC tiene como medios de transmisión la fibra óptica y el cable coaxial, las mismas que son utilizadas en la estructura de la red teniendo en cuenta la siguiente consideración:

Para las partes troncales de la red, donde hay largas distancias con pocas ramificaciones se utiliza fibra óptica, mientras que el circuito de distribución con toda su ramificación hacia vecindarios sería un sistema coaxial, esto permitirá la optimización de la red.

Cable Coaxial: constituye la línea o medio de transmisión utilizado en la línea de distribución y acometida del usuario en las Redes Híbridas Fibra-Coaxial, su estructura hace que presente características importantes como:

No interfiere con señales externas y puede transportar de forma eficiente señales en un gran ancho de banda con menor atenuación que el cable normal.

Sin embargo, tiene una limitación que es la atenuación de las altas frecuencias.

Fibra Óptica: utiliza luz para la transmisión de señales, está formada de vidrio o plástico, presenta varias características que la hacen muy atractiva, entre las que se mencionen las siguientes:

- Gran ancho de banda.
- Inmunidad al ruido.
- Confiabilidad.
- Las señales pueden ser transmitidas a grandes distancias sin necesidad de amplificadores.
- Es resistente a temperaturas variables [22].

3.1.2.2 Elementos activos de las redes HFC

Dentro de los elementos activos más importantes que forman parte de las redes HFC se mencionan los siguientes:

Nodo Óptico

Este se encuentra al final de la red de fibra, cuya función es recibir la señal óptica y convertirla en señal eléctrica, la amplifica y la distribuye sobre la red de cable coaxial.

En los sistemas bidireccionales, los nodos ópticos también se encargan de recibir las señales del canal de retorno o ascendentes (del abonado a la cabecera) para convertirlas en señales ópticas y transmitir las a la cabecera.

Transmisores Ópticos

El transmisor óptico consiste en una unidad cuyas entradas son la señal procedente del decodificador y la señal de reloj, y su salida son impulsos luminosos. La señal luminosa se acopla a la fibra óptica mediante un conector óptico. La fuente que genera los impulsos luminosos a partir de la señal eléctrica es un diodo semiconductor en el que la radiación luminosa está basada en la emisión de fotones debido a la recombinación de pares de electrones.

Amplificadores de Radiofrecuencia

Su función es recuperar el nivel de la señal a medida que esta recorre largas distancias [22].

3.1.2.3 Elementos pasivos de las redes HFC

Los elementos pasivos permiten el paso de la corriente alterna (AC) a través de los cuales se pueden alimentar los elementos activos, estos elementos no proveen ganancia y no están alimentados por ninguna tensión.

Dentro de los elementos pasivos más comunes que forman parte de las redes HFC se encuentran los splitter y taps.

Splitter: dispositivo que actúa como un derivador de señal que permite la máxima transferencia de potencia.

Taps: elemento que permite el nexo entre la red de distribución y el abonado [23].

3.2 Componentes de la red HFC

La figura 3.2 muestra los componentes de una Red Híbrida Fibra – Coaxial en forma detallada.

Las Redes Híbridas Fibra – Coaxial (HFC) están constituidas fundamentalmente de cuatro partes que son numeradas seguidamente:

- Cabecera.
- Red Troncal.
- Red de Distribución.
- Red de Acometida de abonados.

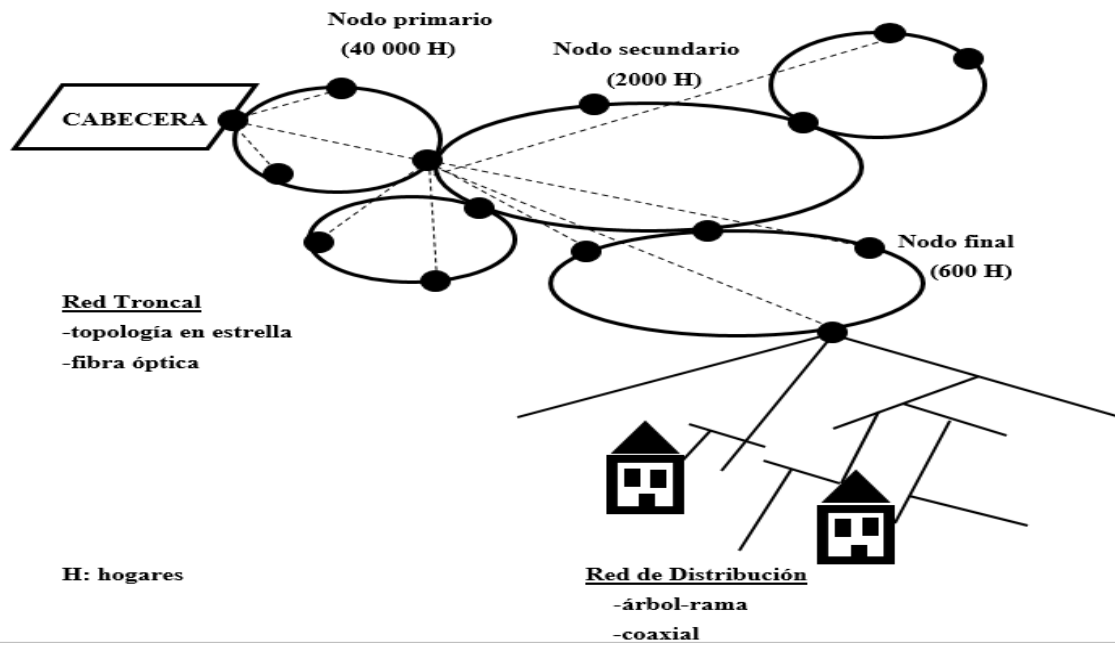


Figura 3.2: Elementos estructurales de las Redes HFC.

Cabecera

Es el centro donde se origina la información y desde donde se controla todo el sistema, se encarga de monitorizar y supervisar el correcto funcionamiento de la red, además realiza todo tipo de funciones de tarificación y de control de los servicios prestados a los abonados.

Su estructura depende de los servicios que ha de prestar la red; como por ejemplo para el servicio básico de distribución de señales unidireccionales de televisión (analógica y digital), la cabecera dispone de una serie de equipos de recepción de televisión terrenal, vía satélite y de microondas, así como de enlaces con otras cabeceras.

Red Troncal

Es la que se encarga de repartir la señal generada por la cabecera a todas las zonas de distribución que abarca la red, suele presentar una estructura en forma de anillos redundantes de fibra óptica que une a un conjunto de nodos primarios (nodos ópticos).

En los nodos ópticos es donde las señales descendentes (de la cabecera a usuario) pasan de óptico a eléctrico para continuar su camino hacia el hogar del abonado a través de la red de distribución coaxial.

Red de Distribución

Estas señales eléctricas se distribuyen a los hogares de los abonados a través de una estructura tipo bus coaxial.

Un problema típico que se presenta en esta red es que como todas las señales útiles ascendentes convergen en un único punto (nodo óptico), también las señales indeseadas, ruido e interferencias, recogidas en los puntos del bus de coaxial convergen en el nodo sumándose sus potencias y contribuyendo a la degradación de la relación señal a ruido en el enlace, este fenómeno se conoce como acumulación de ruido por efecto embudo (*noise funneling*).

En el caso de las redes HFC normalmente la red de distribución contiene un máximo de 2 o 3 amplificadores de banda ancha y abarca grupos de unas 500 viviendas.

Red de Acometida de Abonados

Es el último tramo del recorrido de las señales descendentes, desde la última derivación hasta la base de conexión de abonado.

Dentro de los componentes de las redes HFC se mencionan los siguientes elementos complementarios que permiten el buen funcionamiento de la red.

Nodos Primarios

Dentro de las características que presentan estos nodos, tenemos las siguientes.

- Cada nodo primario de servicio a unos 40 000 hogares.
- Conversión señal óptica-RF-óptica.
- La cabecera se enlaza con los nodos primarios a través de enlaces directos de fibra redundante hacia cada uno de los nodos finales que dependen de él.

Equipamiento de los nodos primarios

- Equipos de recepción y transmisión HFC.
- Cabeceras de cable módems.
- Routers de datos.
- Armarios repartidores de fibra y coaxial.
- Equipo de alimentación y aire acondicionado.

Nodo Secundario

Cada nodo secundario de servicio a unos 2000 hogares, mientras que cada anillo secundario da servicio a 10 000 hogares. En estos nodos secundarios las señales ópticas se convierten a señales eléctricas.

Son nodos completamente pasivos, se limitan a albergar un repartidor de fibra para permitir la conexión directa entre los nodos primarios y cada uno de los nodos finales y se aprovecha el espacio físico para ubicar un nodo final.

Nodo Final

La agrupación de nodos finales hace referencia a la denominada Red Terciaria, en donde se habla de que cada anillo terciario cubre unos 2000 hogares aproximadamente y cada nodo final da servicio a unos 500 hogares.

En el nodo final se realiza la conversión electrónica y comienza la distribución por la red coaxial. Este nodo está unido por una fibra óptica punto a punto a un nodo primario por un camino redundante.

Equipamiento de nodo final

- Receptores ópticos para recoger la señal transmitida desde el nodo primario.
- Transmisores ópticos para enviar la señal de retorno.
- Fuente de Alimentación [9].

3.3 Arquitectura de las redes HFC

3.3.1 Topología Árbol

Este tipo de arquitectura es el más común en nuestro medio, combina en forma adecuada tramos de fibra óptica con cable coaxial, permitiendo optimización de recursos. Esta estructura consta de tres partes, las que se representan en la figura 3.3.

- 1. Vértebra o troncal de fibra:** desde el *head end* (cabecera) a los nodos.
- 2. Troncal coaxial:** de nodos a estaciones con salidas.
- 3. Distribución coaxial:** del amplificador al abonado.

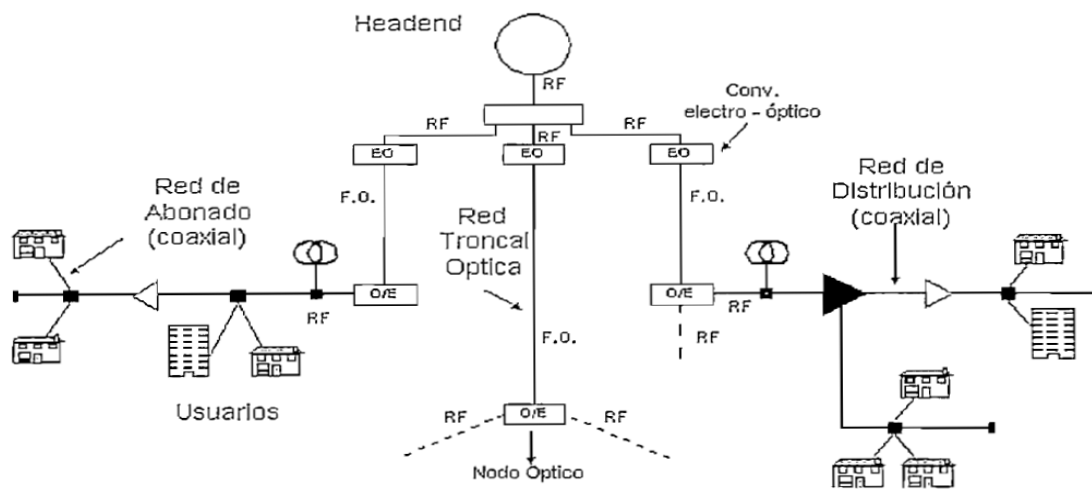


Figura 3.3: Topología de Árbol.

Sin embargo, es importante mencionar que esta topología puede variar al referirnos a una red donde exista más de una cabecera, teniendo como ejemplo la arquitectura anillo.

3.3.2 Topología Anillo

El objetivo de este tipo de diseño es crear numerosas áreas estructurales de 500 a 2000 hogares por nodo, mejorando la confiabilidad del sistema por la administración que se puede tener sobre las diferentes cabeceras que están presentes, sin embargo, estas resultan más costosas de implementarlas.

La figura 3.4 indica los componentes estructurales de la topología anillo de la red HFC.

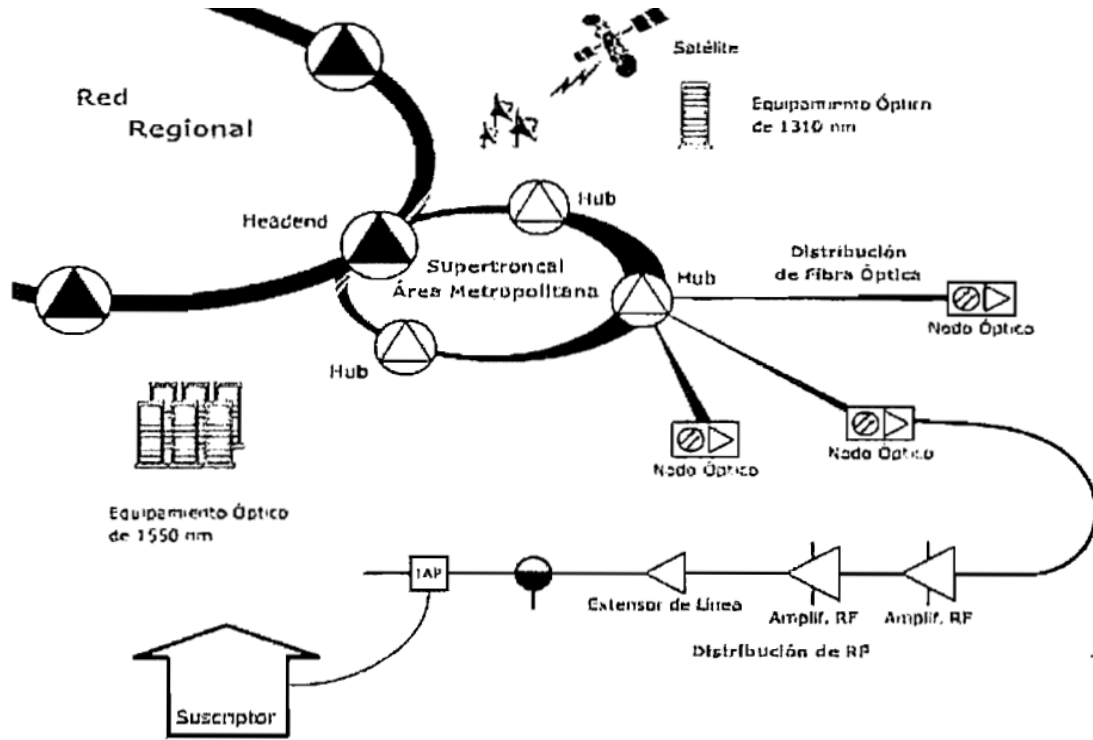


Figura 3.4: Topología Anillo [9].

3.4 Canales de Transmisión

En la figura 3.5 puede verse el esquema de una red HFC indicando los canales ascendentes y descendentes.

3.4.1 Canal de Retorno

El canal de retorno hace referencia a la vía comprendida entre el abonado y la cabecera. El espectro comprendido depende de la versión de DOCSIS que se implemente en la red HFC (ver tabla 1.1); este ancho de banda lo comparten todos los usuarios servidos por un nodo óptico.

Los retornos de distintos nodos llegan a la cabecera por distintas vías o multiplexados a distintas frecuencias. Una señal generada por el equipo terminal de un abonado recorre la red de distribución en sentido ascendente pasando por amplificadores bidireccionales hasta llegar al nodo óptico, allí convergen las señales de retorno de todos los abonados que se convierten en señales ópticas en el láser de retorno las que son transmitidas hacia la cabecera.

El canal de retorno es un canal de comunicaciones muy problemático debido a que la parte coaxial de la red HFC se comporta como una gran antena que recoge las señales indeseadas que penetran sobretodo en su parte más baja, es así que cualquier señal que exista en el espectro de radio frecuencia (RF) puede penetrar en la red pudiéndose referir a emisoras internacionales de onda corta, emisoras de Banda Ciudadana y radioaficionados, señales provenientes de televisores mal apantallados, ruido de RF generado en ordenadores, interferencias eléctricas, motores eléctricos, sistema de encendido de vehículos, secadores de pelo, etc. [20].

3.4.2 Canal Descendente

El canal descendente es el camino desde la cabecera (*head end*) al abonado. Por este canal se transmiten señales analógicas y digitales de acuerdo al tipo de servicio que se va a proveer a los usuarios. El canal descendente se caracteriza por ser un canal poco ruidoso comparado con el canal ascendente.

La figura 3.5 muestra la trayectoria y elementos constitutivos de los canales ascendente y descendente.

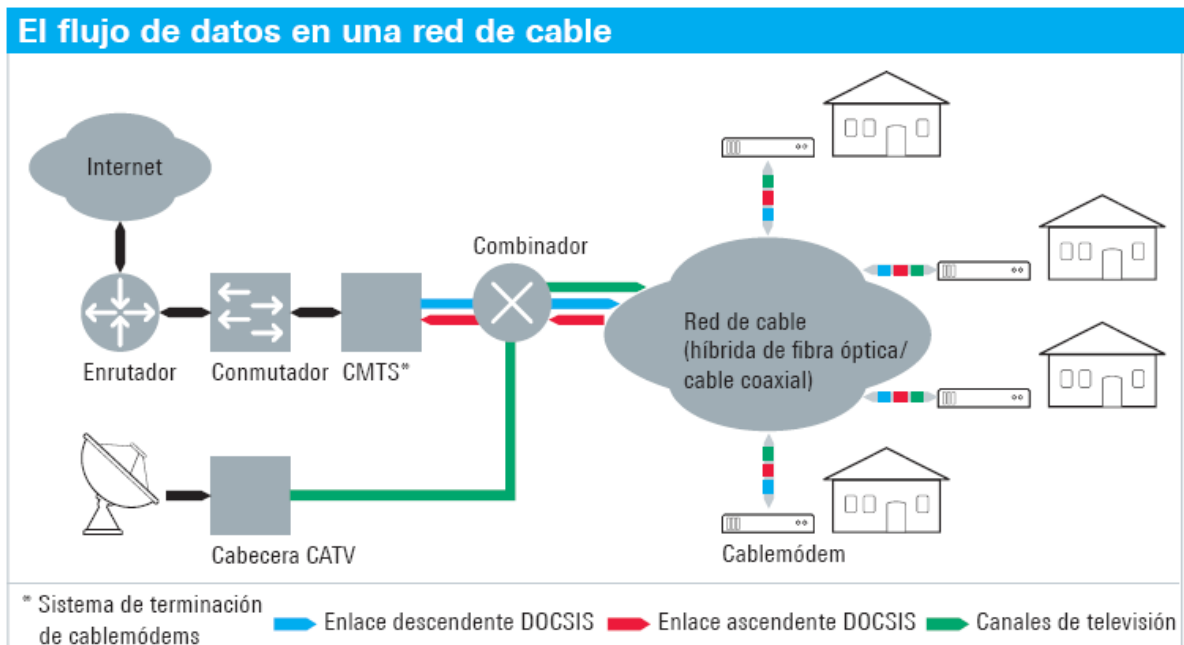


Figura 3.5: Canales Ascendentes y Descendentes [24].

3.5 Servicios y aplicaciones de las Redes HFC

El gran ancho de banda que poseen las redes HFC ha posibilitado ofrecer una amplia gama de servicios tanto analógicos como digitales en cuanto se refiere a voz, datos, video, Internet, a través del CM.

Se ofrecen un amplio abanico de servicios y aplicaciones que actualmente se encuentran operativas y son:

- Distribución analógica de TV analógica terrenal.
- Distribución analógica de TV analógica por satélite.
- Distribución analógica de TV digital por satélite.
- Distribución de canales de radio FM.
- Telefonía integrada.
- Servicios de pago por visión (PPV) .
- Acceso a Internet (conmutado y mediante cable módem).
- Servicios y videojuegos interactivos.
- Acceso a bases de datos, etc.

Se prevé que se introducirán nuevos servicios sobre los actuales y estos son:

- Soporte transporte TV Digital.
- EPGs. (Guías Electrónicas de Programación).
- PPV (*Paid Per View*).
- nVOD, VOD (*Video on Demand*).
- DAB (*Digital Audio Broadcasting*).
- Videotelefonía a través del televisor.
- Banca-e, comercio-e.
- Tele-administración.
- Anuncios interactivos.
- Acceso a Internet a través del TV.
- Portales TV [25].

Al parecer HFC se encuentra en una posición ideal para plantearse como la solución global de acceso. Dentro de la factibilidad de prestación de servicios que se puede ofrecer sobre las redes de comunicación por cable se tiene las indicadas a través de la tabla 3.0 [26].

Tabla 3.0: Servicios implementados sobre la Red de Cable.

| Aplicación | Ancho de banda o tasa de bits requerido |
|-----------------------------|---|
| Difusión de video analógico | Canales de entre 6 y 8 MHz |
| Video bajo demanda | 3 Mbps de capacidad de canal descendente (comprimido) y una pequeña capacidad del canal de retorno que permita la interactividad (1 Kbps) |
| Televisión avanzada | 10 Mbps de ancho de banda descendente (comprimido) |
| Audio digital | 1 Mbps de ancho de banda descendente |
| Telefonía | 600 Kbps bidireccional |
| Videoconferencia | 128 Kbps bidireccional (comprimido) |
| Redes de ordenadores | 100 Kbps a 100 Mbps (o más) de tráfico bidireccional, generalmente a ráfagas |
| Videojuegos | Depende de la aplicación |
| Telemetría | 1 Kbps de tráfico a ráfagas |
| Difusión de video digital | 2-3 Mbps de ancho de banda descendente (video comprimido) |

3.6 Aplicaciones de DOCSIS en redes HFC

Dentro de los servicios tecnológicos que ha desarrollado CableLabs aprobados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT para el mejoramiento e implementación de nuevos servicios y aplicaciones sobre redes HFC, destacan los proyectos *PacketCable*, *OpenCable* y *CableHome*, los cuales están orientados a proponer una serie de especificaciones dirigidas a la interoperabilidad digital.

- *PacketCable* define las bases para la prestación de nuevos servicios de banda ancha basados en IP; tales como Internet, telefonía, videoconferencia y servicio multimedia.
- *OpenCable* actúa sobre los *Set Top Box* o decodificadores para la televisión interactiva.
- *CableHome* se refiere a redes en el hogar[24].

3.6.1 Telefonía e Internet con *PacketCable* y DOCSIS

PacketCable representa una solución implementada sobre DOCSIS 1.1 que utiliza el protocolo de Internet para ofrecer una arquitectura multimedia eficiente. La integración de *PacketCable* y DOCSIS permite que los operadores de las redes de cable ofrezcan a sus suscriptores servicios de datos, voz y aplicaciones multimedia de manera sencilla y confiable a través de una arquitectura de banda ancha con calidad de servicio de extremo a extremo.

La parte fundamental de la plataforma *PacketCable* abarca los requerimientos y especificaciones de la infraestructura de voz sobre IP (VoIP). Por este motivo, el proyecto se encuentra dividido en dos segmentos, donde el primero de ellos denominado *PacketCable* 1.x, corresponde a esta modalidad de transmisión de voz. El segundo segmento denominado *PacketCable* 2.x, incluye los requerimientos adicionales para extender la infraestructura de VoIP hacia una plataforma integral de servicios multimedia.

Cabe señalar que la calidad de llamada que *PacketCable* ofrece es similar a la calidad de una llamada que se realiza a través de la red telefónica convencional [10].

3.6.1.1 Servicio de acceso a Internet y datos

Las redes HFC son adecuadas para ofrecer acceso a Internet y en general proveer servicios de datos. Como se ha visto, la escalabilidad de la red está asegurada, pues el proveedor puede decidir la capacidad ofrecida al usuario y adaptarla al crecimiento esperado de las

aplicaciones punto a punto y multimedia. Las limitaciones en el canal de retorno cada vez son menores si se utilizan las nuevas versiones de DOCSIS que proporcionan anchos de banda mayores, gracias al uso de modulaciones más eficientes y técnicas como la vinculación de canales. Actualmente los proveedores suelen considerar el límite en 100 Mbps, e incluso en 160 Mbps, en ambos sentidos, aunque si observamos las actuales ofertas comerciales a abonados residenciales los paquetes suelen ofrecer un máximo de 3 Mbps en el enlace *upstream*. En definitiva, puede considerarse una solución comparable con otras alternativas, e incluso a veces, si el operador decida usar todos los recursos que el estándar pone a su disposición, más ventajosa. No en vano, en Estados Unidos, las redes de cable constituyen la tecnología de acceso a Internet a alta velocidad con mayor número de usuarios. La posibilidad de combinar el acceso a Internet con la transmisión de video digital en aplicaciones ligadas al contenido de la TV digital le confiere un potencial adicional.

Servicios interactivos: teletexto interactivo, telecompra, y otros que requieren bajos retardos de tránsito y tiempos de respuesta pequeños entre los usuarios de la red. El tiempo de ida y vuelta en las redes HFC es inferior a 1.6 ms por lo que son adecuadas para ofrecer esta interactividad. En cuanto a los tiempos de respuesta, resulta factible mantenerlos dentro de los márgenes requeridos por este tipo de aplicaciones.

Juegos en red: para el caso particular de juegos en red es crítico obtener un retardo de tránsito bajo, de manera que la interacción entre los jugadores no se vea degradada por la mediación de la red. Los retardos de las redes HFC se mantienen dentro de límites adecuados. Dado que la tasa de datos en estos servicios es variable, el uso de flujos de servicio de tipo rtPS (*Real-Time Publish Subscribe*) puede ser adecuado, ya que ofrece tiempo real, pero optimizando el uso de la red para tasas de datos variables.

Servicios p2p (*peer to peer*): los principales requisitos de estos servicios son un alto ancho de banda y escalabilidad. Las redes de cable ofrecen este ancho de banda y favorecen la escalabilidad. Para soportar la diversidad emergente de aplicaciones p2p las redes de cable facilitan a las aplicaciones:

- Capacidad de alcanzar cualquier nodo conectado a la red de forma fiable.
- Capacidad para descubrir un nuevo recurso en la red.

- Comportamiento adaptativo para compensar la naturaleza altamente variable de los nodos p2p.
- Aumentar la disponibilidad y calidad de ficheros a través de la red.
- Reducir el tiempo de adquisición de ficheros.
- Aumentar el número de pares de la red.

Videoconferencia: los principales requisitos de calidad para video interactivo son:

- Bajas pérdidas, menores que 1 %.
- Retardo menor que 150 ms.
- Fluctuación del retardo inferior a 30 ms.

Básicamente la videoconferencia sobre IP (IP/VC) tiene los mismos requisitos de pérdida, retardos y fluctuación del retardo que el servicio de VoIP; sin embargo, los patrones de tráfico son radicalmente distintos, principalmente porque en videoconferencia las tasas de paquetes y el tamaño de los mismos son parámetros muy variables. Por eso este servicio se soporta mejor sobre flujo rtPS que permiten tasas variables asegurando el tiempo real. Para especificar la QoS se tendrán que configurar, entre otros, los siguientes parámetros:

- Intervalo nominal de sondeo.
- Fluctuación del retardo tolerada para el sondeo.
- *Streaming* de video: los principales requisitos de calidad para este servicio son:
 - Las pérdidas no deben superar el 5 %.
 - El retardo no debe ser mayor que 4 o 5 segundos (según la capacidad de almacenamiento temporal de la aplicación de video). Por tanto, no es un requisito muy severo.
 - Los requisitos de ancho de banda garantizado dependen del formato de codificación y la tasa de flujo de video [10].

3.6.1.2 Servicio de Telefonía

La QoS ofrecida para el servicio telefónico es óptima cuando se utiliza conmutación de circuitos, ya sea con redes superpuestas o integradas. Dado que el primer caso se utiliza una red independiente a la red HFC esta solución tiene además la ventaja de no ocupar ancho de banda en el canal de retorno, que queda libre para otros servicios.

La opción de ofrecer telefonía con VoIP requiere la existencia de mecanismos de QoS que garanticen que los valores de pérdidas, retardos y fluctuación del retardo se mantengan dentro de los niveles adecuados. Al efecto, en DOCSIS se definen los requisitos de QoS a satisfacer para ofrecer este servicio, por lo que el uso del estándar asegura poder ofrecer el servicio VoIP con los niveles de calidad requeridos. Los parámetros a configurar para ofrecer este servicio son:

- Intervalo nominal entre asignaciones.
- Tamaño de asignación no solicitada.
- Fluctuación del retardo tolerada en la asignación.
- Asignaciones por intervalo.

El intervalo nominal entre asignaciones se debe elegir igual al intervalo entre paquetes de la aplicación CBR (*Constant Bit Rate*). Por ejemplo, si la aplicación de VoIP transmite paquetes cada 10 ms, este será el intervalo nominal entre asignaciones. El tamaño asignado será el necesario para satisfacer los requisitos de ancho de banda de la aplicación y está relacionado con el tamaño de los paquetes.

En este caso el operador garantiza la QoS dentro de su red HFC, lo que significa que existen distintas posibilidades. Si los dos extremos de la conexión utilizan VoIP y pertenecen a la red HFC, o si uno de ellos pertenece a la RTB, la QoS está garantizada por el operador. Si uno de los interlocutores utiliza VoIP, pero no pertenece a la red HFC, la QoS en el tramo externo a la red HFC puede verse comprometida si no se utilizan los mecanismos adecuados, por los que el operador no podrá garantizar la QoS [9].

3.6.2 Televisión IP con DOCSIS y *Opencable*

La televisión IP (también conocida como IPTV) es la denominación común para la transmisión de las señales de video mediante el protocolo IP a través de una conexión de banda ancha mucho más rápida que las existentes en la actualidad.

La diferencia entre la televisión actual e IPTV radica en que los canales de televisión ya no transmitirán la misma programación para todos los usuarios, sino que la programación únicamente llegará al usuario cuando este lo solicite; es decir, IPTV permite la personalización de contenidos para cada usuario.

Otra de las virtudes de la televisión IP radica en que el suscriptor del servicio podrá manipular la programación no solo para almacenarla y verla cuando desee; sino que, además, podrá hacer pausa, adelantarla o regresarla o saltar a otra parte del programa; es decir, podrá manipular la programación como si fuera la reproducción de un CD.

CableLabs y la plataforma *Opencable* brinda las especificaciones para garantizar la compatibilidad de los *Set Top Box* de diversos fabricantes.

Distribución de TV: las redes HFC no son solo las adecuadas para este tipo de servicio, sino que además es la aplicación estrella. Ello se debe tanto al ancho de banda disponible como a la posibilidad de interactividad usando el canal de retorno.

El número de canales de TV que se pueden ofrecer evidentemente depende del ancho de banda que se destine a este servicio y, en caso de TV digital, de la codificación que se esté utilizando. Por ejemplo, para el video esta capacidad puede variar desde los 1.5 Mbps de VHS a los 16 Mbps del formato 4:2:2. La codificación PAL proporciona canales de entre 4 y 8 Mbps. Para el audio en calidad CD se necesitan 1.536 Mbps que se reducen a 200 Kbps en el sistema Musicam, típicamente utilizado en MPEG. Por tanto, el número de canales ofrecidos es muy variable y configurable por el operador. Actualmente, los operadores llegan a ofrecer más de 100 canales de TV.

Existen diversas técnicas para ofrecer TV interactiva, que van desde el desarrollo de aplicaciones locales *set-top box* hasta la incorporación de funciones en el mismo CM, lo que permite tratar el servicio de TV interactiva como uno de los soportados sobre IP/DOCSIS, ofreciendo la QoS específica para cada prestación de usuario.

También se puede contemplar la posibilidad de usar video sobre IP utilizando DOCSIS, y el canal de retorno para la interacción con este canal. Las facilidades para gestión de QoS de tráfico multicast que incluye la versión DOCSIS 3.0 son fundamentales para ofrecer este servicio.

El servicio de Video Digital Bajo Demanda puro para muchos abonados requiere sistemas en cabecera complejos y de gran capacidad. El uso de video sobre IP puede facilitar el desarrollo de este servicio. Por otro lado, dentro del consorcio CableLabs, aparece VOD Metadata que permite el desarrollo de especificaciones para Video bajo Demanda [9].

3.6.2.1 Sistemas de Televisión por Cable en redes HFC

La televisión por cable (CATV), es un sistema de distribución de señales de televisión en urbanizaciones, pueblos y ciudades; existen dos tipos de redes de Televisión por Cable:

Unidireccionales: únicamente la cabecera puede enviar información a los usuarios.

Bidireccionales: tanto el *head end* o cabecera como los usuarios pueden intercambiar información.

Los primeros sistemas que se construyeron de Redes de Televisión por Cable se basaron en dos componentes fundamentales que son:

- Cable Coaxial.
- Amplificadores de banda ancha.

La señal de TV sobre redes clásicas de cable es enviada dividiendo el espectro del cable en canales de 6 MHz de ancho de banda y multiplexando cada cadena de TV en un canal[9].

3.7 Conclusiones del capítulo

Aunque el origen de las redes HFC son las redes CATV, sobre las que ofrecía solo el servicio de distribución de TV, actualmente las redes HFC soportan todo tipo de servicios multimedia. La implantación de DOCSIS 3.1 mejora considerablemente las prestaciones para ofrecer servicios que requieran mayor QoS. La tabla 3.1 muestra un resumen de la adecuación de las redes HFC a los servicios considerados [10].

Tabla 3.1: Adecuaciones de las redes HFC a diferentes servicios.

| Servicio | Soporte en HFC |
|--|--|
| Telefonía | Adecuado, varias posibilidades de ofrecerlo |
| <i>Streaming</i> | Adecuado |
| Descarga entre pares (<i>peer to peer</i>) | Adecuado, prestaciones muy buenas para pares en la red |
| Juegos en red | Adecuado, prestaciones muy buenas para jugadores en la red |
| Distribución de TV | Adecuado |
| Video bajo demanda | Adecuado |

Aunque el proveedor de servicios puede asegurar los requisitos de QoS dentro de su red, en el caso de que uno de los extremos finales perteneciera a otra red los parámetros de calidad podrían verse afectados por factores no controlables por el operador. Por ello la provisión de servicios que no necesiten una red externa, por ejemplo, llamadas de VoIP, videoconferencias, aplicaciones p2p, juegos en red o VPN entre pares que se encuentren dentro de la misma red son las que más pueden beneficiarse de las altas prestaciones de las redes HFC. Sobre estos servicios el proveedor de servicios multimedia puede ofrecer a sus clientes servicios avanzados tan especializados como desee, incluso aunque tengan requisitos exigentes de QoS. Ejemplos de estos servicios avanzados podrían ser: control de seguridad y alarmas, tele-asistencia en el hogar para personas discapacitadas o ancianos, plataformas de soporte al teletrabajo, etc.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- 1 Se describió de manera concreta los principios básicos del funcionamiento del estándar DOCSIS y sus respectivas generaciones, mostrando la evolución de cada una de ellas y los aspectos en que progresaron.
- 2 Se explicó el estándar de última generación DOCSIS 3.1 manifestando claramente porque DOCSIS 3.1 es la vía más óptima en las redes de cable.
- 3 Se expuso el principio básico del funcionamiento de las redes HFC así como las aplicaciones que soporta y la amplia gama de servicios que brinda a cada suscriptor empezando por la telefonía y concluyendo por la televisión interactiva.

Recomendaciones

- 1 Ver como se puede introducir este tema en el nuevo plan de estudio.
- 2 Crear en la plataforma Moodle un tópico donde se pueda introducir este material para el estudio de los estudiantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Luis Gabriel Sienra, «DOCSIS: El conjunto de estándares cabledem de Cable Labs.», nov. 2001.
- [2] ING. CRISTHIAN OSWALDO AÑAZCO AGUILAR, «Diseño Básico de Redes de Acceso FTTH utilizando el estándar GPON», Universidad Catolica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, 2013.
- [3] Dr. Nik Dimitrakopoulos; Peter Lampel; y Greg Kregoski, «DOCSIS 3.1: el “turbo” para la televisión por cable e Internet», Año 2015.
- [4] Vladimir Padilla Padilla, «Sistema de gestión de Cable-Modems DOCSIS 3.0 en redes CATV.», Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas, Santa Clara,Cuba, 2012.
- [5] Ing. Hjalmar Ruiz Tückler, «Estándar DOCSIS en las redes de cable», feb. 2015.
- [6] Joan Francesc Fondevila, «Telecomunicaciones y Periodismo», may 2014.
- [7] Cable Television Laboratories, «Data-Over-Cable Service Interface Specifications DOCSIS® 3.1». .
- [8] Cable Television Laboratories, «Data-Over-Cable Service Interface Specifications DOCSIS 1.0». 19-nov-2001.
- [9] Elizabeth Alexandra Arias Vega, «Análisis del estándar DOCSIS, sus servicios y aplicaciones en redes HFC», Quito, 2004.
- [10] Ángel Merino Ramos, «IMPLEMENTACIÓN DE DOCSIS 3.0 SOBRE REDES HFC», Universitat Oberta de Catalunya.
- [11] «La especificación Docsis 3.1 a punto de ser finalizada».
- [12] Cable Television Laboratories, «Data-Over-Cable Service Interface Specifications DOCSIS 1.1». .
- [13] «CableLabs presenta las especificaciones del DOCSIS 3.0».
- [14] Carlos Sanchez,Jack Yu, «Docsis3.0 Workshop».
- [15] This document is Cisco Public Information., «Cisco Model DPC3000 DOCSIS 3.0 Cable Modem». .
- [16] Cable Television Laboratories, «Data-Over-Cable Service Interface Specifications DOCSIS® 3.0». .

-
- [17] Daniel Howard, SCTE CTO, «DOCSIS 3.1: WHAT IS IT, HOW DOES IT WORK, AND HOW CAN YOU PREPARE FOR IT?»
- [18] Claudio Valero, «DOCSIS 3.1: ¿llegará en 2016 para mejorar la velocidad de las conexiones de cable?»
- [19] Alba Cecilia Bustamante Tipán (1), Annabel del Rocío Macas Macas (2), Msc. Cesar Yépez Flores (3)., «Análisis de la transmisión de banda ancha en redes HFC: LIMITACIONES TECNOLÓGICAS, REVISIÓN DE STÁNDARES.», Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC). Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral. Apartado 09-01-5863. Guayaquil – Ecuador.
- [20] JOSÉ SEBASTIÁN DONOSO VALLEJO, «ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y DISEÑO DE UNA RED HFC PARA APLICACIONES TRIPLE PLAY PARA LA EMPRESA PARABÓLICA DEL NORTE EN LA CIUDAD DE ATUNTAQUI.», ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES, Sangolquí-Ecuador, 2012.
- [21] Jorge Andrade Catalán, «Redes HFC: Vulnerabilidad y Posibles Soluciones», Valparaíso, 2010.
- [22] Camilo Moreno, «Ventajas de la Tecnología j gía Digital en el camino de Retorno para arquitecturas HFC en aplicaciones DOCSIS 3.0 y 3.1», sep-2015.
- [23] OSCAR ELIAS QUINTO CARDENAS BARTRA, «PROYECTO DE IMPLEMENTACION DE NUEVOS SERVICIOS SOBRE LA RED DE TV CABLE PARA EL AREA RURAL», Universidad Nacional de Ingeniería, LIMA-PERU, 2006.
- [24] Luis Gonzalez Benitez, «Redes HFC».
- [25] Ing. Juan Ramon García Bish, «Maximizando la Capacidad de nuestras Redes HFC».
- [26] Ing. Paul Chasi Pesantez, «Metodología de desarrollo de indicadores para medición de calidad de servicio (QoS) en la red integrada Triple-Play de TELECENTRO», Maestria, Universidad de Buenos Aires, 2014.

ANEXOS

Anexo I Arquitectura de referencia

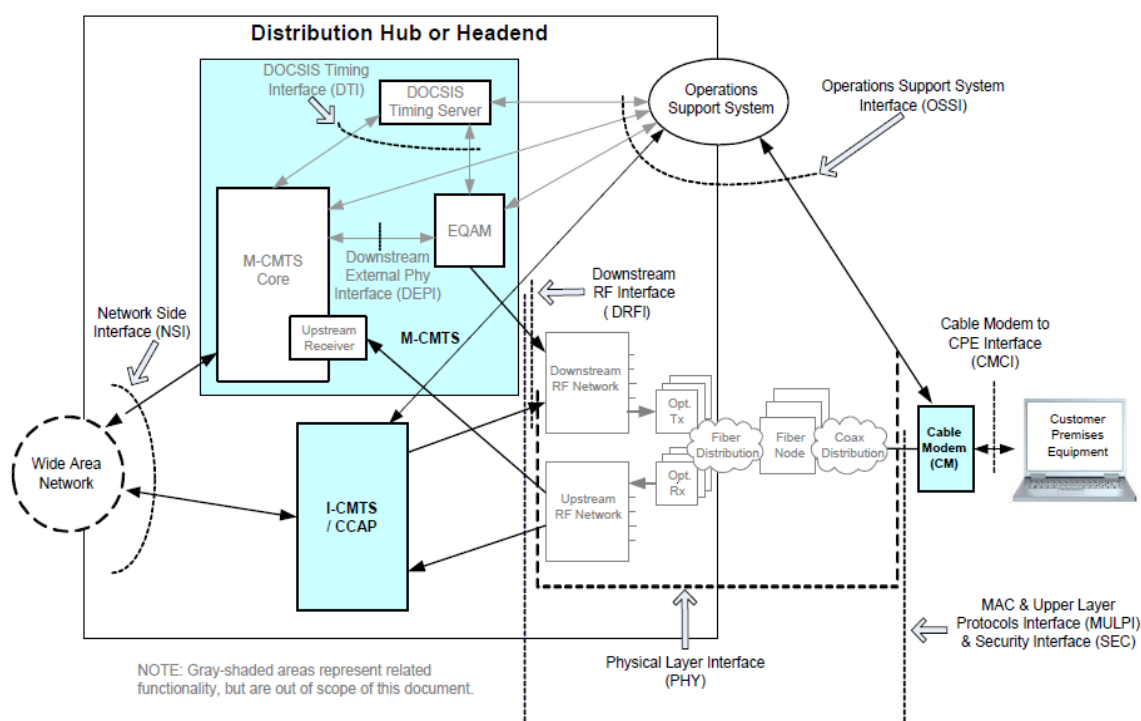


Figura AI: Arquitectura de referencia de datos por cable.

Anexo II Capas del modelo de referencia OSI

Capa de Aplicación: esta capa brinda servicios de red a las aplicaciones del usuario.

Capa Presentación: esta capa proporciona representación de datos, garantiza que los datos sean legibles para el sistema receptor, negocia la sintaxis de transferencia de datos para la capa de aplicación.

Capa de Sesión: establece, mantiene y administra las sesiones entre aplicaciones, en esta capa se realiza la comunicación entre el host.

Capa de Transporte: realiza la conexión de extremo a extremo, divide en segmentos los datos que provienen de las capas superiores; detecta las fallas, realiza el control de flujo de la información. Esta capa también se encarga de garantizar la confiabilidad del transporte de datos, establecer, mantener, terminar los circuitos virtuales.

Capa de Red: determina la mejor manera de desplazar los datos de un lugar a otro, proporciona conectividad y selección de rutas entre dos sistemas finales, se encarga del dominio de enrutamiento.

Capa de Enlace de Datos: esta capa prepara la trama para su transmisión física a través del medio, maneja la notificación de errores, topología de la red, y el control de flujo. Esta capa utiliza direcciones de Control de Acceso al Medio (MAC).

Capa Física: esta capa proporciona los medios electrónicos, mecánicos, de procedimiento y funcionales para activar y mantener el enlace físico entre los sistemas. Esta capa usa medios físicos como cables de par trenzado, coaxial, fibra óptica.

En la figura A II se muestra las capas con respecto al modelo de referencia OSI.

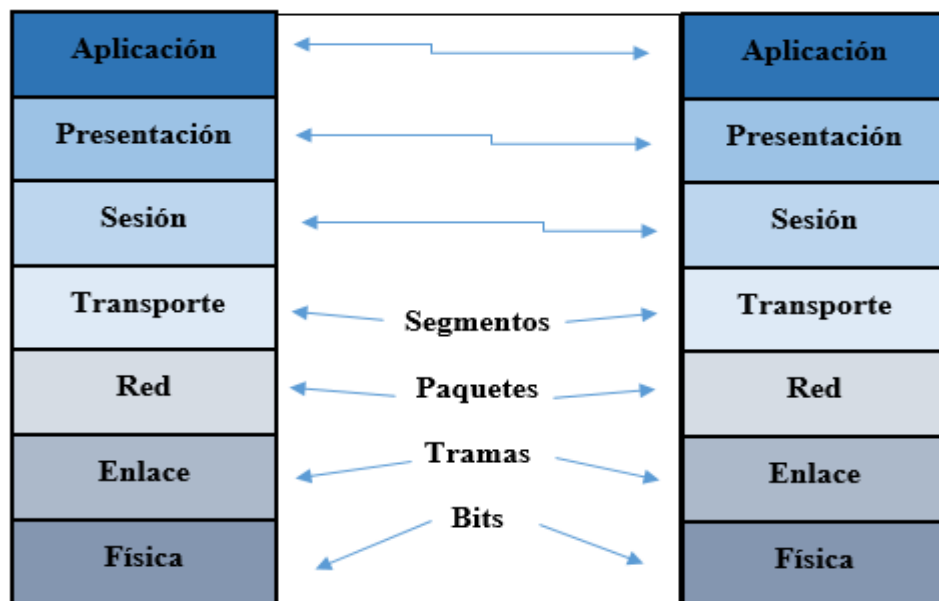


Figura A II: Capas con respecto al modelo de referencia OSI.

Anexo III Características de la capa MAC y formato de la trama MAC

Una de las funciones más importantes de la capa MAC es la de resolver conflictos entre cables módems evitando las colisiones y arbitrando de forma precisa el acceso de cada uno de ellos al medio compartido. El canal de retorno en una red HFC es un medio compartido entre cientos de abonados.

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 de tiempo, frecuencia, y código, respectivamente. Sobre estos métodos se montan los llamados protocolos de capa MAC los que se encargan de supervisar el acceso de los distintos abonados a los slots temporales, portadoras y canales, disponibles, asignando a cada uno la dirección que se identifica, conceden autorizaciones para el acceso al medio, y resuelven conflictos entre peticiones. La unidad de paquetes de información PDU MAC es la unidad básica de transferencia entre la capa MAC de la cabecera, y la estación.

La trama generada en el subnivel MAC será la unidad básica empleada en la transferencia de información entre los subniveles MAC de la Red HFC y el cable módem de usuario. La estructura básica de esta trama es igual para tráfico en sentido ascendente y descendente, las tramas MAC pueden ser de longitud variable.

La trama MAC se utilizará como unidad básica para el intercambio de datos del usuario, además se utilizarán para fines administrativos como son la sincronización, petición de ancho de banda, envío de parámetros de operación a los cables módem y mensajes de control.

El formato que rige sobre las tramas MAC es el que se muestra en la figura A III, y el detalle de los campos correspondientes se indica en las tablas A I, A II y A III.

Antes de presentar las tramas MAC en el medio coaxial éstas deben ser procesadas por el subnivel PDM (Depende del Medio Físico), aquí se les aplicara la modulación y comprobación de errores que corresponda según el sentido de la comunicación.

Además, en el subnivel PDM de la comunicación ascendente se añadirá una cabecera indicando el comienzo y un campo de comprobación de errores FEC al final de la trama MAC.

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.

El cable módem recibe los datos de manera continua y solo tienen en cuenta aquellos que les están destinados. En cambio, la transmisión por el canal de retorno es a ráfagas, los cables módems transmiten ráfagas de símbolos de longitud variable dentro de ranuras temporales que vienen determinadas por el reloj de cabecera.

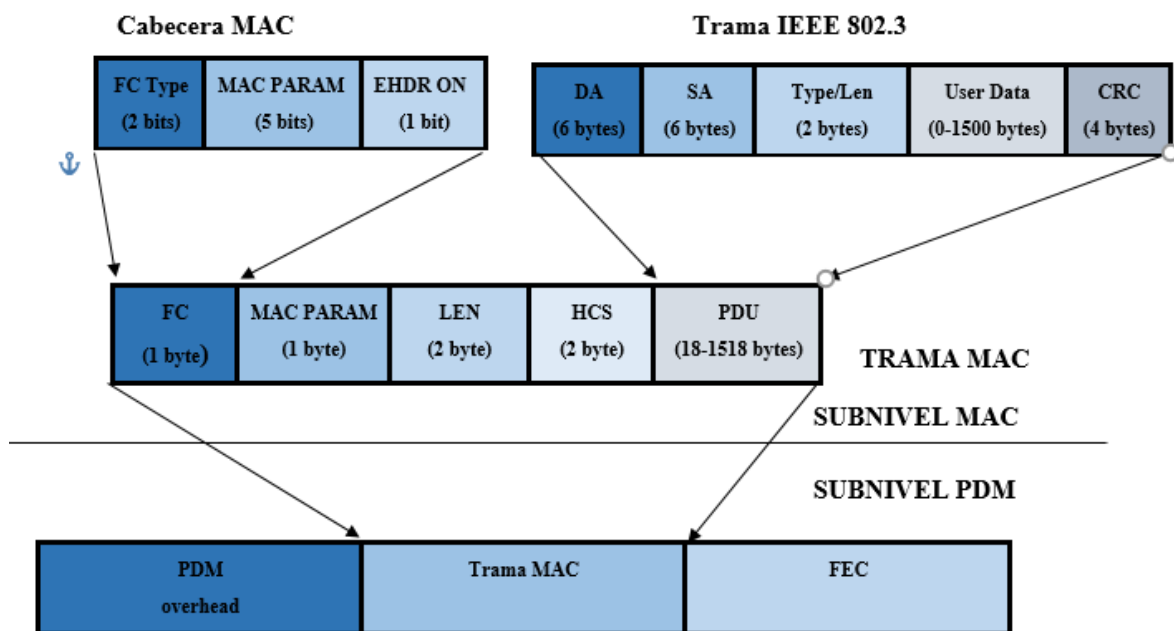


Figura A III: Formato de las tramas MAC.

Tabla A I: Campo Genérico de la cabecera MAC.

| Campo de la cabecera MAC | Uso | Tamaño |
|--------------------------|---|---------|
| FC | Control de trama, identifica el tipo de cabecera MAC | 8 bits |
| MAC_PARM | Campo del parámetro MAC cuyo uso es dependiente de FC, en el caso de existir concatenación de tramas se usa para contar las tramas MAC, cuando existe petición se indica el número de mini-slots requeridos | 8 bits |
| LEN | Longitud de la trama MAC, la longitud está definida por la suma del número de bytes de la cabecera extendida y el número de bytes siguiente del campo HCS | 16 bits |
| HCS | Secuencia de chequeo de la cabecera MAC | 16 bits |

Tabla A II: Subcampos del Control de la Trama.

| Campo FC | Uso | Tamaño |
|-----------|---|--------|
| FC_TYPE | Campo que indica el tipo de control de trama MAC | 2 bits |
| MAC_PARAM | Parámetro de bits, su uso depende de FC_TYPE | 5 bits |
| EHDR_ON | Cuando es igual a 1, indica que EHDR está presente en la trama. Este campo proporciona un mecanismo que permite que la cabecera MAC pueda extenderse y sea enteramente operable, permitiendo brindar nuevos servicios | 1 bit |

Tabla A III: Campo PDU.

| Campo PDU | Uso | Tamaño |
|-----------|---|--------------|
| DA | Dirección de Destino | 48 bits |
| SA | Dirección de Origen | 48 bits |
| Type_lend | Tipo de Ethernet | 16 bits |
| User Data | Datos del usuario, tienen longitud variable | 0-1500 bytes |
| CRC | Comprobación de Redundancia Cíclica | 32 bits |

GLOSARIO

| | |
|------------------|--|
| DOCSIS | <i>Data Over Cable Service Interface Specification</i> |
| CableLabs | <i>Cable Television Laboratories</i> |
| MSOs | <i>Multiple Services Operators</i> |
| IP | <i>Internet Protocol</i> |
| HFC | Híbrida Fibra Óptica –Coaxial |
| UIT | Unión Internacional de Telecomunicaciones |
| VoIP | Voz sobre IP |
| QoS | Calidad de Servicio |
| IPv6 | IP versión 6 |
| IPTV | <i>Internet Protocol Television</i> |
| CMTS | Sistema de Terminación de Cable Módems |
| CM | Cable Módem |
| FDM/TDMA | <i>Frequency Division Multiplexing/Time Division Multiple Access</i> |
| CATV | Televisión por cable |
| CPE | Equipos de Premisas del Cliente |
| IPv4 | IP versión 4 |
| DHCP | <i>Dynamic Host Configuration Protocol</i> |

| | |
|------------------------------|--|
| TFTP | <i>Trivial file transfer Protocol</i> |
| SNMP | <i>Simple Network Management Protocol</i> |
| PHY | Capa Física |
| MAC | Control de Acceso al Medio |
| OSI | <i>Open System Interconnection</i> |
| MPEG | <i>Moving Picture Experts Group</i> |
| FDMA/TDMA/S- CDMA | <i>Frequency Division Multiple Access/Time Division Multiple Access/Carrier Sense Multiple Access-Synchronou</i> |
| QPSK | <i>Quadrature Phase-Shift Keying</i> |
| QAM | <i>Quadrature Amplitude Modulation</i> |
| UCD | Descriptor del Canal <i>Upstream</i> |
| BP | Privacidad de Línea de Base |
| FAMM | Multimodo Ágil de Frecuencia |
| LLC | Control de Enlace Lógico |
| PDM | Depende del Medio Físico |
| CSMA/CD | Acceso Múltiple con Detección de Portadora/Detección de Colisiones |
| RTC | Control del Tiempo Real |
| CBR | Tasa de bit constante |
| PDU | Unidad de Protocolo de Datos |

| | |
|---------------|--|
| CRI | Intervalos de resolución de conflictos |
| CRP | Protocolo de Resolución de Colisión |
| FEC | Corrección Progresiva de Errores |
| DES | Estándar de Encriptación de Datos |
| 3DES | Estándar de Encriptación Triple de Datos |
| A-TDMA | Acceso Múltiple de Tiempo de División Avanzado |
| AES | <i>Advanced Encryption Standard</i> |
| OTT | <i>Over the top</i> |
| OFDM | Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales |
| OFDMA | Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales |
| LDPC | Verificación de paridad de baja densidad |
| MER | Calidad de la señal |
| CNR | Relación portadora/ruido |
| SC-QAM | Modulación de Amplitud en Cuadratura de Portadora Simple |
| RF | Radio frecuencia |
| rtPS | <i>Real-Time Publish Subscribe</i> |