

**OPTIMIZACIÓN EN EL TRANSPORTE DE INTERNET SOBRE EL
PROTOCOLO DOCSIS EN LA RED HÍBRIDA DE FIBRA ÓPTICA Y CABLE
COAXIAL**

TATIANA MICHELLE URUETA OLIVELLA

ARTURO CARLOS GARCIA GOMEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

CARTAGENA DE INDIAS

2007

**OPTIMIZACIÓN EN EL TRANSPORTE DE INTERNET SOBRE EL
PROTOCOLO DOCSIS EN LA RED HÍBRIDA DE FIBRA ÓPTICA Y CABLE
COAXIAL**

TATIANA MICHELLE URUETA OLIVELLA

ARTURO CARLOS GARCIA GOMEZ

**Trabajo Presentado Como Requisito Para Optar por El
Título De Ingeniero Electrónico**

Director

Salim Yamal Matos

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

CARTAGENA DE INDIAS

2007

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Cartagena de Indias, _____

Cartagena de Indias, 02 de Junio de 2007

Señores:

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Ciudad.

Estimados señores:

De la manera mas cordial, los estudiantes **Tatiana Michelle Urueta Olivella con C.C. 1.047.365.728 de la ciudad de Cartagena y Arturo Carlos García Gómez con C.C. 73.209.337 de la ciudad de Cartagena** autorizamos a la **Universidad Tecnológica de Bolívar** para publicar y hacer uso de nuestra monografía titulada "**Optimización en el Transporte de Internet sobre el Protocolo DOCSIS en la Red Híbrida De Fibra Óptica y Cable Coaxial**" en el Centro Cultural y Biblioteca **Luis Enrique Borja Barón**.

Cordialmente

TATIANA M. URUETA OLIVELLA
C.C. 1.047.365.728 de Cartagena

ARTURO C. GARCIA GOMEZ
C.C. 73.209.337 de Cartagena

Cartagena de Indias, 02 de Junio de 2007

Señores:

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Comité de Evaluación de Proyectos

Escuela de Ingenierías

Ciudad.

Estimados señores:

Me dirijo a ustedes de la manera mas cordial, para poner a consideración el trabajo final titulado "**Optimización en el Transporte de Internet sobre el Protocolo DOCSIS en la Red Híbrida De Fibra Óptica y Cable Coaxial**" el cual fue llevado a cabo por los estudiantes TATIANA M. URUETA OLIVELLA y ARTURO C. GARCIA GOMEZ, bajo mi orientación como Director.

Cordialmente,

SALIM YAMAL MATOS

Ingeniero Electrónico

Cartagena de Indias, 02 de Junio de 2007

Señores:

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Comité de Evaluación de Proyectos

Escuela de Ingenierías

Ciudad.

Estimados señores:

Nos permitimos presentar a ustedes para su estudio, consideración y aprobación, el trabajo final titulado **"Optimización en el Transporte de Internet sobre el Protocolo DOCSIS en la Red Híbrida De Fibra Óptica y Cable Coaxial"**, presentado para optar por el título de Ingeniero Electrónico.

Cordialmente,

TATIANA M. URUETA OLIVELLA

C.C. 1.047.365.728 de Cartagena

ARTURO C. GARCIA GOMEZ

C.C. 73.209.337 de Cartagena

DEDICATORIA

Esta monografía se la dedico a mi madre por todo el apoyo que me ha dado durante el transcurso de mi carrera profesional y a Dios por permitirme alcanzar todos mis propósitos.

Arturo Carlos García Gómez

DEDICATORIA

Esta monografía se la dedico a Dios en primera instancia, es el quien guía mis pasos y me llena de fortaleza para luchar y ser mejor cada día.

Es dedicada también a mis padres quienes me han llenado de enseñanzas y formación en valores que han hecho de mí una persona perseverante siempre con el propósito de alcanzar la excelencia.

Tatiana Michelle Urueta Olivella

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	24
1. RED HFC	26
1.1 HISTORIA	27
1.2 COMPONENTES DE UNA RED HFC	29
1.2.1 Canal de retorno.	38
1.3 PRESTACIONES DE LA RED HFC	40
1.3.1 Ventajas.	42
1.3.2 Desventajas.	43
1.4 APLICACIONES	44
2. DOCSIS	50
2.1 DEFINICIÓN	50
2.2 ESPECIFICACIONES	52
2.3 ARQUITECTURA	57
2.3.1 Cable Módem.	58
2.3.1.1 Características.	59
2.3.1.2 Etapas de un Cable módem.	62
2.3.2 Sistema Terminal de Cable Modem.	66

2.4 EVOLUCION DE VERSIONES DE DOCSIS	68
2.4.1 DOCSIS 1.0.	68
2.4.2 DOCSIS 1.1.	69
2.4.3 DOCSIS 2.0.	71
2.4.4 DOCSIS 3.0.	72
3. DESCRIPCION DE PROCEDIMIENTOS DE OPTIMIZACION	75
3.1 MANEJO DE ESPECTRO	77
3.1.1 Configuración de un grupo de espectro.	78
3.1.1.1 Creación de un grupo de espectro.	79
3.1.1.2 Disponibilidad de banda.	80
3.1.1.3 Programación de Horario.	81
3.1.2 Recolección de datos.	81
3.1.3 Reglas de salto.	83
3.1.3.1 Período de Salto.	83
3.1.3.2 Selección de frecuencia.	84
3.1.3.3 Perfil de modulación.	84
3.1.3.4 Ancho del canal.	85
3.1.3.5 Banda de frecuencia y Nivel de Potencia.	85
3.1.4 Configuración de Umbral de Error.	86
3.1.5 Flap Threshold.	88
3.1.6 Funciones Roll-back y Guard-band.	89
3.1.7 Aplicación de un grupo de espectro.	89
3.1.8 Revisión de grupo de espectro.	90

3.1.9 Administrador de Espectro.	92
3.2 ACTUALIZACION DE FIRMWARE DE CABLE MODEM	93
3.2.1 Pasos para actualización.	93
3.3 AUTORIZACION DE HOST	100
3.3.1 Configuración Básica.	101
3.3.2 Entradas Estáticas.	102
3.3.3 Autorización para un rango de direcciones IP.	104
3.4 CAMBIO DE MODULACION EN CANAL ASCENDENTE	104
3.4.1 Perfiles de Modulación.	105
3.5 MONITOREO MEDIANTE FLAP LIST	109
3.5.1 Configuración Flap List.	111
3.5.2 Descripción de campos de comando.	113
3.5.3 Análisis de resultados.	115
CONCLUSIONES	117
BIBLIOGRAFIA	119
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Recepción de señal	30
Figura 2. Bloques componentes de una cabecera	33
Figura 3. Red troncal en topología anillo	36
Figura 4. Red de distribución	37
Figura 5. Set-Top Box	38
Figura 6. Esquema de red HFC visto desde canal de retorno	40
Figura 7. Videoconferencia	46
Figura 8. Esquema de división del espectro	54
Figura 9. Arquitectura DOCSIS	58
Figura 10. Cable Módem Motorola SB5100	58
Figura 11. Tipos de Cable para conexión de Cable Modem	59
Figura 12. Estado de tareas del cable módem en su proceso de inicialización	65
Figura 13. Sistema Terminal de Cable Módem Motorola BSR64000	67
Figura 14. Diagrama de la unión de cuatro canales en DOCSIS 3.0	74
Figura 15. Vista inicial del CPM	95
Figura 16. Cómo cargar un CMTS en el CPM	97
Figura 17. Selección de cable módems para actualización de	97

firmware

Figura 18. Actualización de firmware y verificación de status

98

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Tasas de transferencia según tipo de modulación	55
Tabla 2. Tasas de transferencia de Canal Ascendente (Upstream)	56
Tabla 3. Esquemas de modulación y tasas de transmisión de DOCSIS 1.x	70
Tabla 4. Esquemas de modulación y tasas de transmisión de DOCSIS 2.0	71
Tabla 5. Compatibilidad entre DOCSIS 1.x y 2.0	72
Tabla 6. Parámetros de rango de niveles de potencia de entrada	86
Canal Ascendente	
Tabla 7. Perfil de Modulación 1	107
Tabla 8. Perfil de Modulación 2	107

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Campos DHCP usados por el Cable Modem

ANEXO B. Perfiles de Modulaci3n

ANEXO C. Configuraci3n T3pica BSR64000

ANEXO D. Motorola Broadband Services Router BSR64000 Data Sheet

ANEXO E. Motorola Surf Board Cable Modem SB5100 Data Sheet

GLOSARIO

Active Service Flow

Flujo de Servicio admitido del CM al CMTS el cual está disponible para paquetes de transmisión.

American National Standards Institute (ANSI)

Un cuerpo de estándar de US.

ANSI

Vea American National Standards Institute.

Broadcast Addresses

Una dirección de destino predefinida que denota el set de todos los puntos de acceso de servicio de red de datos.

CABLE ACT

Ley de Cable Americana

CableLabs®

Consortio de Operadores de sistemas de televisión por cable a nivel mundial para investigación y desarrollo.

Cable Modem (CM)

Modulador - demodulador ubicado en el suscriptor usado para transmisión de datos en un sistema de televisión por cable.

Cable Modem Termination System (CMTS)

Sistema Terminal de Cable Modem, localizado en la cabecera del sistema de televisión por cable, el cual provee funcionalidad complementaria a los cable modem permitiendo conectividad de datos a una Red de Área Extensa.

CATV

Ver Community Antenna Television

CM

Ver Cable Modem.

CMTS

Ver Cable Modem Termination System.

Community Antenna Television (CATV)

Redes de Televisión por Cable que permite llevar señales de televisión y radio, de índole diversa, hasta el domicilio de los abonados sin necesidad que éstos deban disponer de diferentes equipos receptores, reproductores y antenas.

CPE

Ver Customer Premise Equipment.

Customer Premise Equipment (CPE)

Equipo en las premisas de usuario final. Puede ser asignado por el proveedor de servicios o el usuario final.

Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS)

Estándar no comercial que define los requisitos de la interfaz de comunicaciones y operaciones para los datos sobre sistemas de cable.

DHCP

Ver Dynamic Host Configuration Protocol.

Diplexer

Dispositivo que combina la salida de radiofrecuencia de dos o más radio transmisores en una única salida.

DOCSIS

Ver Data Over Cable Service Interface Specification.

Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)

Un protocolo de Internet usado para asignar direcciones de la capa de red (IP).

FEC

Ver Forward Error Correction.

Forward Error Correction (FEC)

Mecanismo de corrección de errores que permite su corrección en el receptor sin retransmisión de la información original.

HDTV

Ver High Definition TV.

HFC

Ver Hybrid Fiber Coax (HFC) System.

High Definition TV (HDTV)

Formato caracterizado por emitir señales televisivas en una calidad digital superior a los demás sistemas.

Hybrid Fiber Coax (HFC) System

Sistema de transmisión de medio compartido bidireccional de banda ancha que utiliza fibra óptica entre la cabecera y nodos de fibra y distribución coaxial de los nodos de fibra a terminal de usuario final.

Internet Protocol (IP)

Un protocolo de Internet de la capa de red.

IP

Ver Internet Protocol.

Jitter — variación de cantidad de latencia entre paquetes de datos recibidos.

MAC

Ver Media Access Control.

Media Access Control (MAC) Address

Dirección de hardware de un dispositivo conectado a un medio compartido.

Moving Picture Experts Group 2

Grupo de estándares de decodificación de audio y video acordado por MPEG (grupo de expertos en imágenes en movimiento) y publicados como estándar ISO 13818.

MPEG-2

Ver Moving Picture Experts Group 2.

PCR

Ver Program Clock Reference.

Program Clock Reference (PCR)

Referencia de reloj de programa utilizado por programas periódicamente para presentar programas a tiempo, a la velocidad adecuada y con sincronización.

QAM

Ver Quadrature Amplitude Modulation.

QPSK

Ver Quadrature Phase Shift Keying.

Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

Modulación digital avanzada utilizada para transmisión de datos a alta velocidad por canales con ancho de banda restringido.

Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

Forma de modulación angular consistente en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos, cuyo número de fases a tomar es 4.

Red Telefónica Conmutada (RTC)

Red de comunicación diseñada primordialmente para la transmisión de voz, aunque pueda también transportar datos.

RTC

Ver Red Telefónica Conmutada.

SCTE — Society of Cable Telecommunication Engineers.

Set-top box (STB)

Dispositivo que conectado a un televisor y una fuente externa de señal, convierte la señal en un contenido que se muestra en pantalla.

Signal to Noise Ratio (SNR)

Margen que hay entre el nivel de referencia y el ruido de fondo de un determinado sistema, medido en decibelios.

SNR

Ver Signal to Noise Ratio.

Society of Cable Telecommunication Engineers (SCTE)

Sociedad de ingenieros dedicados a desarrollo profesional, información y estándares.

Splitter — dispositivo que divide una señal en varias señales para dirigirlas a puntos diferentes.

STB

Ver Set-top box.

TDMA

Ver Time Division Multiple Access.

TFTP

Ver Trivial File Transfer Protocol.

Time Division Multiple Access (TDMA)

Tecnología que distribuye las unidades de información en ranuras alternas de tiempo, proveyendo acceso múltiple a un reducido número de frecuencias.

Trivial File Transfer Protocol (TFTP)

Protocolo de transferencia de datos.

UDP

Ver User Datagram Protocol.

User Datagram Protocol (UDP)

Protocolo de nivel de transporte basado en el intercambio de datagramas.

Voice over IP (VOIP)

Voz sobre Protocolo de Internet es el enrutamiento de conversaciones de voz sobre Internet o a través de alguna otra red basada en IP.

VOIP

Ver Voice over IP.

RESUMEN

Costavision S.A. es una ISP (Internet Service Provider) que brinda soluciones de entretenimiento e información mediante su red de telecomunicaciones Híbrida de Fibra Óptica y Cable Coaxial incluyendo Televisión y acceso a Internet, gracias a la infraestructura metropolitana de transporte que utiliza el estándar DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) permitiendo una convergencia de servicios de voz, televisión y datos de forma eficiente. Esta empresa se ha decidido a mejorar la plataforma existente implementando una serie de procedimientos que presentarán la garantía de ofrecimiento de una mejor calidad de servicio dando motivo al planteamiento del presente trabajo de investigación que busca una optimización y trabajo proactivo dentro de la red HFC que deben ser tomados en cuenta para un alto rendimiento desde la capa de acceso, dentro de los cuales se incluyen la configuración de Grupos de Espectro que permitan llevar a cabo cambios en la red cuando es detectado un problema, actualizaciones de firmware para obtener mejores características de los Cable Módems y aplicar las correcciones que se van liberando constantemente, Autorización de Host como concepto de seguridad dentro de la red de cable, cambio de modulación en el canal Ascendente con el fin de explotar los recursos de ancho de banda para cada canal, y configuración de Flap List para monitorear el comportamiento de los cable módem, determinando y resolviendo problemas de red.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la sociedad está rodeada de nuevas tecnologías, servicios de entretenimiento avanzados y servicios de comunicaciones personales y transmisión de datos. A medida que pasa el tiempo estos servicios son más asequibles a los usuarios los cuales necesitan estar comunicados cada vez más con sus oficinas, hogares, clientes, y desarrollarse sin límites utilizando sistemas digitales y redes que les permitan cubrir sus necesidades.

Es por esto que las redes de banda ancha, con sus características que permiten el desarrollo de múltiples servicios digitales, es la forma ideal de prestar servicios avanzados de telefonía, datos y televisión de manera integrada, que juegan un importante papel en el desarrollo social y económico de las diferentes regiones impulsando aspectos como nuevas formas de trabajo, de comunicación y de transacciones comerciales, entre otras. Mediante la infraestructura implementada para las redes de televisión por cable CATV o redes HFC es posible transmisión de datos y servicio de telefonía ya que estas redes están impulsadas por la necesidad de transmitir volúmenes más grandes de información mediante el uso del cable módem en cortos períodos de tiempo.

La revolución de las redes de comunicaciones globales se perfeccionará en la medida en que exista un mayor conocimiento y cultura de utilización de los servicios por parte de los usuarios, y una madurez de la tecnología a implementar por los operadores de cable. Se cree que las velocidades aumentarán considerablemente y los costos descenderán para poder llegar a todos los hogares.

1. RED HFC (HYBRID FIBER-COAX NETWORK)

El Internet ha sido una de las grandes revoluciones de las telecomunicaciones, y con su aparición ha surgido otra revolución conocida como redes de cable HFC, la cual es una red que combina el cable coaxial y la fibra óptica para la transmisión de información o datos a velocidades muy altas. Esta tecnología surgió por la necesidad de abarcar grandes distancias, mayores a las que podía abarcar el cable en sus inicios en tiempos donde se realizaban grandes tendidos de cable o se colocaba una antena colectiva para distribuir los canales de TV a los miembros de una determinada comunidad. Actualmente los sistemas HFC permiten utilizar la fibra óptica para enviar la señal desde la central a cada barrio de una ciudad o determinada ubicación y de allí llevarla por medio de cable coaxial al usuario.

Los sistemas HFC representan un gran segmento del mercado de las telecomunicaciones donde la transmisión de datos se realiza a través de un medio de acceso compartido en el cual un grupo de usuarios comparte un ancho de banda con una capacidad determinada y el tráfico de datos por ráfagas atraviesa el medio compartido. Un router de cable se encarga de combinar el tráfico de datos locales y se comunica con otro equipo más grande dentro de la ISP mediante el enlace de fibra óptica.

El ancho de banda efectivo dependerá del número de canales de televisión destinados al acceso a Internet y la cantidad de abonados que reciban la misma señal a través del cable coaxial. Estos parámetros son ajustados de tal forma que se puedan satisfacer las necesidades del usuario sin necesidad de hacer cambios en la tecnología. Estos sistemas se consideran como las redes del futuro por permitir un amplio abanico de servicios de telecomunicación incluyendo el acceso a Internet a alta velocidad, por lo cual muchos proveedores de servicio telefónico y televisión por cable tienen sus intereses apuntados en esa dirección. Paralelamente al despliegue de servicios de TV y datos, los operadores de redes HFC están muy interesados en ofrecer servicios de telefonía a sus abonados, tanto residenciales como empresariales.

1.1 HISTORIA

La tecnología de Cable ofrece altas prestaciones tales como medio de transporte digital, idoneidad en el diseño de la red y su capacidad de integración de telefonía, datos y televisión. Es por ello que es muy utilizada para el transporte masivo de datos.

Como la Televisión por Cable no es una innovación que fue patentada, resulta difícil determinar su origen. Durante muchos años la literatura popular y los historiadores de la comunicación remontan los orígenes de las redes de cable a finales de los años 40, diseñadas con el propósito de distribuir la señal de

televisión en pequeñas ciudades asentadas en los valles de las montañas de Pennsylvania en Estados Unidos.

Sin embargo, debido a la geografía de la zona no había recepción de la señal proveniente de Philadelphia (estación más cercana), por lo cual un propietario de un almacén donde se vendían aparatos de televisión, llamado John Walson, colocó una antena al final de un poste que posteriormente instaló en lo alto de una montaña. De esta forma, en su almacén, Walson pudo mostrar los televisores con imagen, disparando las ventas y llevando la señal hasta los hogares, naciendo así CATV (Community Antenna Television). Tiempo después Milton Shapp retomó esta idea aplicándola a nivel de edificios individuales de modo que no se acumularan antenas particulares en estos, gracias a la utilización de cable coaxial.

Luego se importaron señales de TV de otros países ofreciéndolas a la comunidad de cable, generando muchas restricciones legislativas deteniéndose así el desarrollo del cable. En 1972 desaparecieron estas restricciones y se creó un gran mercado, se ofreció el primer servicio de televisión paga a través de cable, por la compañía Service Electric, el cual fue llamado HBO (Home Box Office) y llegó a superar los 11.5 millones de espectadores con el paso del tiempo. Este crecimiento se dio gracias a que fueron los primeros en distribuir la señal vía satélite. Este número ha venido incrementando y actualmente se estima que existen más de 60 millones de suscriptores de TV por cable.

En 1984 se publica la Ley del Cable americana (Cable Act) y en 1992 se acumulan muchos millones de dólares en inversiones y desarrollos de programas que permiten llevar el cable hasta 53 millones de hogares. En 1996 se llegan a tener 162 grandes redes de cable con un nivel de penetración de 97% de los hogares americanos.

En Europa son pocos los países con altas penetraciones de televisión por cable, tales como Reino Unido y Holanda.

1.2 COMPONENTES DE UNA RED HFC

La red HFC se constituye de los siguientes elementos:

- Cabecera (Head-end)

Punto de control o elemento central desde donde se gobierna el sistema de distribución de señales de TV a través de la red HFC. En un principio se encargaba únicamente de la recolección de señales de TV para luego adaptarlas a su transmisión por cable. Actualmente se han vuelto más complejas según los servicios que presta la red. A partir de la cabecera, la señal se entrega al suscriptor mediante la red troncal del sistema de cable. Una cabecera puede dar servicio a una o a varias localidades conectadas por el sistema de red troncal.

La cabecera está constituida por varios bloques, de la siguiente forma:

- a. Recepción. Cuenta con un conjunto de antenas de recepción de televisión que recibe los canales provenientes de satélites o difusión.

Los satélites de comunicaciones que se utilizan para televisión por cable se encuentran en la órbita geoestacionaria y utilizan las bandas “c” (enlaces descendentes de 3.7 a 4.3 GHz) y “ku” (enlaces descendentes de 11.7 a 12.2 GHz) para conducir las señales de televisión. Estos satélites cuentan con varios canales denominados *transpondedores* que pueden enviar uno o más programas de televisión hacia la cabecera. Para recibir las señales satelitales, la cabecera debe contar con antenas parabólicas orientadas a los satélites de los cuales se desea recibir la programación, como se muestra en la Figura 1.

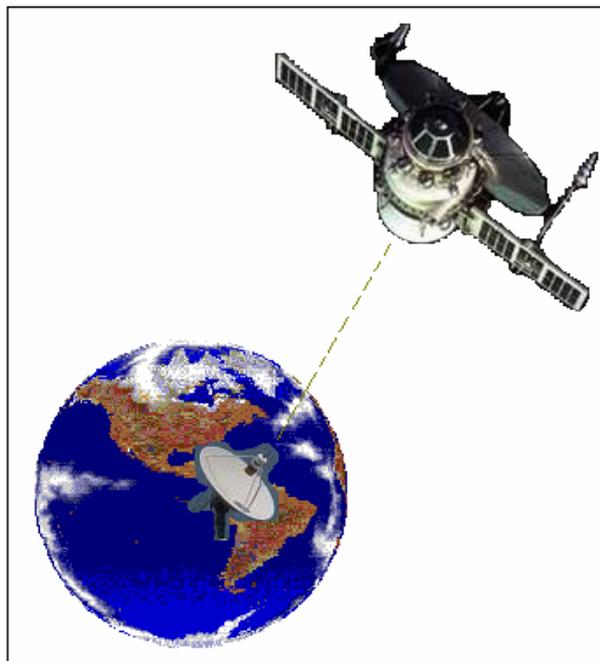


Figura 1. Recepción de señal

- b. Procesamiento de señal. Dentro de los equipos de recepción están los receptores de TV satélite y demoduladores. Los primeros incluyen un sistema de monitorización de la calidad de la señal recibida del satélite, midiendo el nivel recibido y relación señal-a-ruido. La señal de salida de estos equipos, en banda base, pasa a la matriz de conmutación. Por otro lado, los demoduladores de TV de canales terrestres se encargan de la recepción de RF y su paso a banda base, señal que pueda ser procesada por el equipo de la red de cable. Las señales de salida de los demoduladores, en banda base, pasan a la matriz de conmutación.
- c. Equipamiento en banda base. La matriz de conmutación dispone de múltiples entradas y salidas de modo que cualquier entrada puede ser dirigida a cualquier salida.

Las salidas están conectadas a.

- Entrada principal de cada modulador o codificador.
- Entrada auxiliar de los moduladores.
- Grabador de video, permitiendo grabar y retransmitir un programa.
- Monitor de video y sonido. Se puede mostrar cualquier entrada de video y audio, permitiendo ver un canal y escuchar otro.
- Generador de caracteres. Permite incluir textos y gráficos en una fuente de video. La salida vuelve a la matriz.

- Generador de canal mosaico. Genera un canal de TV donde se presentan señales de TV que llegan a la entrada de forma simultánea, formando una cuadrícula o mosaico en la pantalla. La salida vuelve a la matriz.

- d. Codificación. Los codificadores se instalan para los canales de pago, generando la información a los set-top boxes o terminales de abonado, para que puedan decodificar los canales contratados. Las salidas de los codificadores están moduladas y por ello se dirigen directamente a los combinadores.

- e. Modulación y Combinación. El modulador de televisión es un transmisor en miniatura de una estación de televisión, que asigna a cada señal de televisión un canal específico en el cual será transmitida. Esta señal es seleccionada a través de un interruptor controlado, el cual tiene la opción de cambiar automáticamente la señal de salida cuando la señal de entrada seleccionada se pierde. Una vez culminado el proceso de modulación, se combinan todas las señales moduladas en una sola señal de salida hacia la red troncal.

- f. Amplificación. La señal de salida del combinador se dirige a un amplificador que proporciona el nivel de señal necesario a la etapa de divisores (splitters) que alimentan a los transmisores ópticos, conectados a la red troncal primaria.

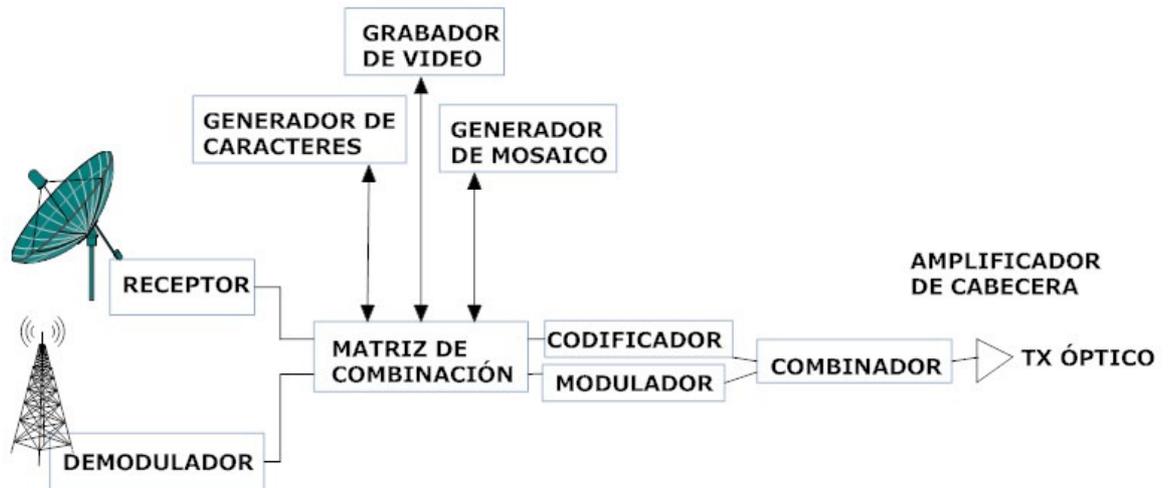


Figura 2. Bloques componentes de una cabecera

En la Figura 2 se observan los bloques componentes de una cabecera. Algunas ventajas de la cabecera analógica son el hecho de que los televisores convencionales pueden recibir estos canales directamente, siempre y cuando se encuentren dentro de la banda de sintonización de los mismos; y el bajo costo de un decodificador analógico (set top box) en comparación con el de su equivalente digital. Sin embargo se hace necesaria la implementación de cabeceras digitales por la creciente tendencia a la integración de los servicios debido a la gran demanda de servicios interactivos tales como Pague por ver, Compra electrónica, entre otros.

Una cabecera digital se puede segmentar en las mismas etapas que una cabecera analógica: recepción, procesado de señal y etapa de RF – que comprende modulación y combinación -. La etapa de recepción es similar ya que se reciben las señales de diversas fuentes tales como satélites, o vía

terrestre. Sin embargo se hace necesaria la digitalización de señales analógicas para convertirlas en MPEG-2. Esta es la designación para un grupo de estándares de codificación y compresión para Audio y Video, aceptado sobre el MPEG (Moving Picture Experts Group) y publicado por el estándar ISO/IEC 13818. MPEG-2 es usado típicamente para codificar audio y video para señales de broadcast, incluyendo satélite de broadcast directo y TV por cable.

La etapa de procesado de señal puede comprender aspectos como transmodulación, transcodificación o transmultiplexación, según las necesidades del operador de cable. La primera se efectúa si las tasas de bit útil del cable y del satélite coinciden, y consiste en demodular la información recibida y modularla nuevamente con un esquema diferente para su transmisión por cable. Se usa muy poco ya que los casos en que las velocidades coinciden son escasos. La segunda opción, transcodificación, consiste en transmitir los programas tal cual como se reciben, demodulando y descriptando la información recibida, seleccionando los programas que se desean transmitir mediante el uso de un filtro y encriptando nuevamente la información para modular la señal según un esquema QAM. Finalmente la transmultiplexación, permite seleccionar programas de canales de diferentes proveedores mediante el filtrado PID y multiplexarlos en el nuevo canal de transporte. Puesto que la multiplexación introduce *jitter* (pequeñas variaciones temporales en las señales) se debe reajustar el PCR (*Programme Clock*

Reference) del canal de transporte que va a transmitirse a través de la red HFC para asegurar un alineamiento temporal correcto de los programas.

La etapa RF comprende la modulación de señales en banda base a RF mediante esquemas tales como modulación QAM (16 a 256) o modulación QPSK. La cabecera digital puede ofrecer mayor número de programas o servicios puesto que las técnicas digitales permiten mayor compresión de la información aprovechando el ancho de banda.

- Red troncal

Es una estructura compuesta de anillos redundantes de fibra óptica cuyo fin es repartir la señal generada por la cabecera a todas las zonas de distribución de la red de cable. Estos anillos comprenden enlaces punto a punto que unen nodos ópticos entre sí, en los cuales las señales downstream (de cabecera a cliente) pasan de señales ópticas a eléctricas para ser distribuidas hasta los hogares de los abonados a través de la red de distribución.

Antes de construir la red se debe hacer un mapa de su distribución, considerando los lugares por donde pasará la red, la longitud del cable requerido y la distancia entre los postes, pues el objetivo principal de esta red es cubrir grandes distancias manteniendo la calidad de la señal.

Usualmente el espaciamiento entre los amplificadores depende de la máxima frecuencia utilizada y de las características de atenuación del medio utilizado,

ya sea cable coaxial o fibra óptica. La tendencia en esta red es el uso de la fibra óptica, ya que es posible mayor eliminación de ruido y distorsión aportada por los amplificadores en cascada, introduciendo el uso de conversores ópticos para que la señal sea distribuida a las casas por cable coaxial. En la Figura 3 se observa un esquema de red troncal en topología anillo.

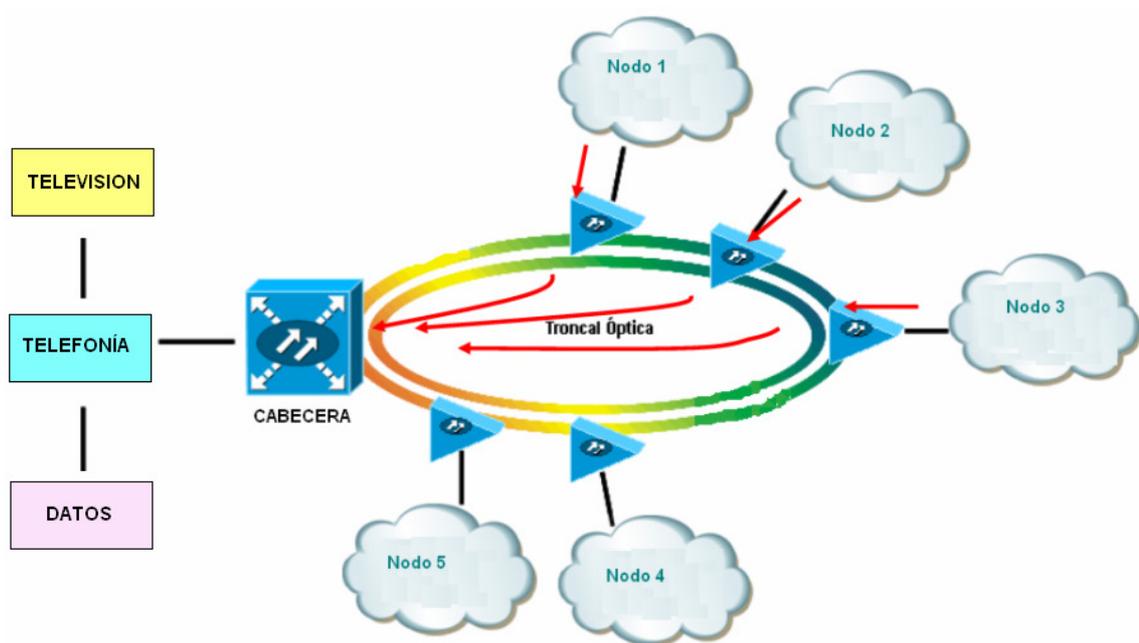


Figura 3. Red troncal en topología anillo

- Red de distribución

Comprende una estructura tipo bus de cable coaxial a través de la cual se lleva la señal hasta las instalaciones del suscriptor, como se observa en la Figura 4. Esta red se conecta al cable troncal mediante un amplificador puente, de donde se entrega la señal a una serie de Taps a los que se conectan las acometidas.

También se utilizan amplificadores de distribución (extensor de línea) cuando la señal decrece, con el fin de incrementarla de manera que llegue al siguiente tap adecuadamente. La red de distribución comúnmente trabaja con Cable Coaxial RG-11 que permite una transmisión de datos de mucha distancia sin debilitarse la señal.

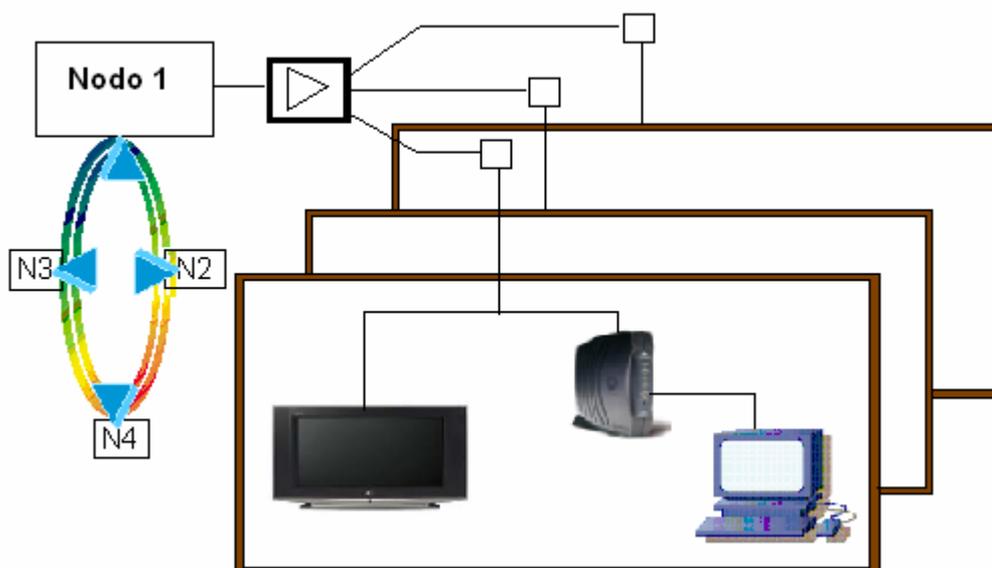


Figura 4. Red de distribución

- Acometida de abonados

La acometida de abonados es la instalación interna del conjunto o edificio conectando la red de distribución de coaxial con el punto de terminación de red. Esta red maneja dos tipos de arquitectura: *Estrella*, donde se entrega servicio a las viviendas de las diferentes plantas del edificio a partir de un mismo tap, entregándoseles un cable coaxial diferente; *Árbol*, donde se coloca un tap en cada planta del que parten los cables coaxiales a cada abonado de la planta.

Se usa cuando existen muchas viviendas por planta. Usualmente el cable utilizado en esta red es Cable Coaxial RG-6.

De modo que los clientes puedan disfrutar de los servicios digitales, necesitaran de terminales de usuario de prestaciones avanzadas, lo que se conoce como equipo terminal o caja decodificadora, el cual se observa en la Figura 5¹. Este equipo es capaz de demodular y decodificar las señales provenientes de cabecera a través del canal descendente de la red HFC, ya sean analógicas o digitales, así como también de comunicarse con ella vía canal de retorno o vía telefónica gracias a un módem interno. El uso de cajas direccionales permite la provisión de distintos paquetes al usuario, y eventualmente la desconexión de los suscriptores que no paguen por el servicio. También ayudan a evitar el robo de señales de cable.



Figura 5. Set-Top Box

1.2.1 Canal de retorno. Las redes HFC en sus inicios se pensaron como unidireccionales puesto que la señal de TV se transmite desde la central hasta el usuario en dirección descendente. Sin embargo, con el advenimiento de Internet se hizo necesario establecer una forma de comunicación bidireccional entre la central y el usuario de modo que se pudiese aprovechar la estructura y

¹ Figura tomada de <http://www.continent.com.au/buy-1707.html>

funcionamiento del sistema de televisión para ofrecer diversos servicios y aplicaciones.

El acceso a Internet por medio de la red HFC se conoce también como Banda Ancha, puesto que en la transmisión de datos se envía información simultáneamente, incrementando así la velocidad de transmisión efectiva. Este acceso consiste en utilizar uno de los canales de televisión de la señal de televisión por cable, consumiendo una porción del ancho de banda.

Para ello es necesario tener dos canales de flujo de datos, uno ascendente (upstream) y otro descendente (downstream)², permitiendo el envío y recepción de datos. Por lo cual se ha creado lo que se conoce como canal de retorno o ascendente, el cual ocupa un espectro de frecuencia que es compartido por los hogares que tienen un mismo nodo óptico. El retorno de los diferentes nodos llega a la cabecera por vías diferentes luego de pasar por amplificadores bidireccionales y llegar al nodo óptico, lugar en el cual convergen las señales de todos los abonados.

A continuación, en la Figura 6, se muestra un esquema de red HFC visto desde el canal de retorno, donde hay cuatro buses de cable coaxial dirigidos a cuatro áreas distintas. Una Unidad de Interfaz de Red (UIR) se localiza en cada casa para conectar los equipos terminales de abonado.

² Véase el numeral 2.2

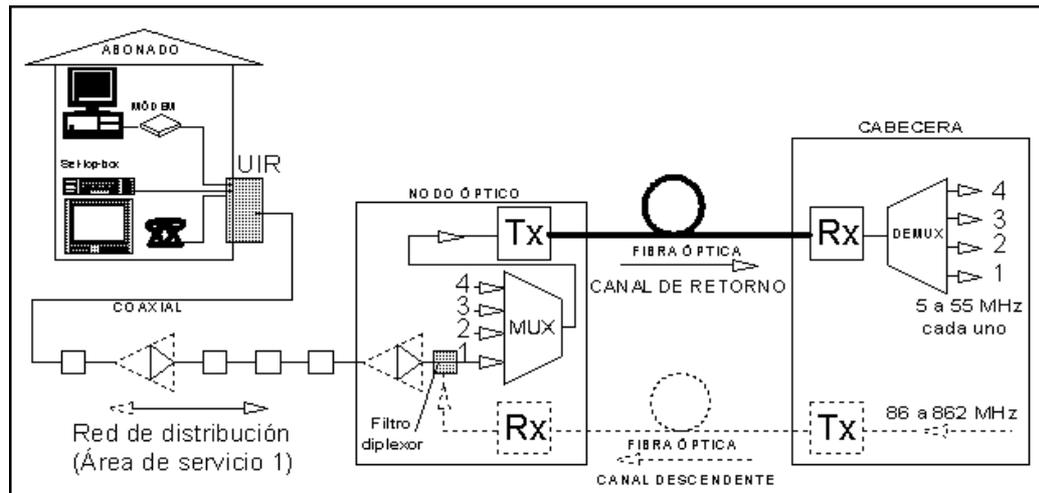


Figura 6. Esquema de red HFC visto desde canal de retorno³

1.3 PRESTACIONES DE LA RED HFC

El acceso a Internet por cable se puede presentar en dos modalidades:

- Modalidad de doble vía: consiste en envío y recepción de información a través de la red HFC, permitiendo velocidades de transmisión y recepción de datos altas.
- Modalidad de retorno telefónico: consiste en el envío de información a través de la línea telefónica, permitiendo alta velocidad solamente en la recepción.

Éste puede verse limitado dependiendo del número de usuarios que utilicen un mismo canal para este acceso, teniendo como consecuencia en el peor de los casos una velocidad muy baja e incluso pérdida de conexión. Sin embargo esto se puede eliminar con un buen diseño.

³ Figura tomada de <http://www.geocities.com/SiliconValley/Hardware/6300/support/red/tvcable.html>

La red de acceso HFC ofrece a sus abonados la posibilidad de estar conectados permanentemente y de que les sea facturado por el tiempo de uso o volumen de datos recibidos y transmitidos, sin incluir costos telefónicos. También ofrece la ventaja de difusión de datos para servicios de noticias, entre otros, lo cual no es muy eficiente en redes de circuitos dedicados. La red HFC es un sistema de acceso compartido, donde su funcionamiento correcto y eficiencia depende del protocolo MAC, que son reglas que permiten a los usuarios de la red compartir la capacidad de transmisión, utilizando los recursos en un momento determinado y luego liberándolos para que sean usados por otros usuarios.

Puesto que el número de accesos simultáneos a la red es menor que el número de usuarios que la comparten, esto les permite apreciar una capacidad de mayor ancho de banda, conocido como multiplexado estadístico del tráfico de la red y adicionalmente el protocolo MAC regula su actividad para que cada usuario reciba la capacidad deseada. La capacidad del canal downstream permite un gran número de abonados y gran cantidad de servicios y el sistema puede evolucionar a nodos de menor tamaño gracias a la arquitectura que se maneja. Es por esto que las redes integradas de fibra óptica y cable coaxial se consideran un gran avance en materia de velocidad y economía al alcance de todos.

Dentro de los servicios que pueden disfrutar los clientes a través de una red HFC se encuentran la televisión por cable tanto analógica como digital, música

digital, televigilancia, VoIP, Internet banda ancha, televisión interactiva, telemedicina, y en conclusión la integración de muchos servicios gracias al cable.

1.3.1 Ventajas. El acceso a Internet por cable brinda al cliente las siguientes ventajas:

- Amplia gama de servicios multimedia, gracias a que con mayor ancho de banda los operadores disponen de mayor espectro en donde ofrecen los mismos.
- Recepción de gráficos de alta calidad y video en tiempo real.
- Excelente calidad de señal.
- Ahorro del costo telefónico, pues en la tarifa de conexión están incluidos todos los costes.
- Mayores oportunidades de negocio por sus grandes velocidades y muchos otros servicios.
- El usuario puede estar siempre conectado a la red sin sufrir tiempos de espera en la conexión.
- Soporte de servicios conmutados y de difusión.
- Capacidad para adaptarse a los cambios de mercado y demanda de forma dinámica gracias a la flexibilidad y modularidad.

Esta última característica puede poner en riesgo el equipo del cliente si éste no toma precauciones respecto a la seguridad del mismo, ya que la computadora

puede estar conectada a Internet permanentemente y sufrir algún ataque, al igual que si se tiene activa la opción de compartir archivos dentro de una red de cable y otro usuario podría acceder al ordenador del cliente.

1.3.2 Desventajas. Dentro de la red de distribución se presenta uno de los mayores problemas de la red HFC: las señales no deseadas. Estas señales son recogidas a lo largo de la red de distribución, incluyendo señales de ruido e interferencias que convergen en un nodo óptico y que contribuyen a la degradación del SNR (señal- a –ruido) en el enlace digital de retorno. Este fenómeno es conocido como Noise Funneling o Acumulación de ruido por efecto embudo.

Las interferencias en su mayoría penetran en un 70% en los hogares de los abonados, y a través del sistema de acometida en un 25%. Dentro de las señales de interferencia se encuentran los motores eléctricos, emisoras de Banda Ciudadana (CB), radioaficionados, emisoras de onda corta, entre otros. Respecto al ruido, uno de los principales problemas de la parte coaxial es el ruido impulsivo que puede ser generado por sistema de encendido de autos, descargas entre contactos de conectores oxidados, descargas por efecto corona en redes de suministro eléctrico, entre otros. Si el ruido es interno, afectará más las prestaciones del canal de upstream.

Es un hecho que el espectro del canal upstream es más ruidoso que el del canal downstream, especialmente entre 5 y 20 MHz, ya que la densidad

espectral de potencia disminuye con la frecuencia. El ruido impulsivo comprende picos de gran amplitud que afectan todo el espectro de este canal, provocando fuertes incrementos del nivel de entrada en amplificadores y en el láser de retorno, cuya saturación los lleva a zonas no lineales de sus características entrada-salida.

Otro problema comprende el riesgo que corre la privacidad por ser la red de cable un medio compartido, que no posee conmutación ni enrutamiento, sujeto a ataques de hacking. Sin embargo el estándar DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) ofrece ciertas características de privacidad y cifrado para dichas redes de modo que clientes que no hayan cancelado un servicio como *pague por ver* no tengan acceso a éste.

1.4 APLICACIONES

Una red HFC puede ofrecer una amplia gama de servicios de telecomunicación, si posee capacidad para comunicaciones bidireccionales y si hay un buen diseño del sistema de cable, donde se tengan presente los servicios que se han de prestar y las aplicaciones que debe soportar.

Para ello es preciso prever un progreso en la tecnología que conlleva a la evolución de ciertas aplicaciones y si pueden o no ser soportadas por algunos servicios. Un caso particular es el servicio de televisión por cable que, por tener gran ancho de banda disponible, puede soportar aplicaciones como

reproducción de video, mientras que un servicio telefónico limitará ciertas aplicaciones que requieran gran ancho de banda. El servicio más popular es el acceso a Internet a alta velocidad, sin embargo otros servicios pueden incluir acceso a canales de audio, información local y servicios locales, acceso a servidores de CD-ROM, entre otros.

- Vídeo analógico, digital y bajo demanda. La difusión de video analógico requiere de canales entre 6MHz y 8MHz por programa de TV y de una modulación clásica AM-VSB (Amplitud Modulada – Banda lateral Vestigial). Este ancho de banda podría parecer grande pero no es inconveniente pues la red HFC tiene alta capacidad descendente.

La difusión de video digital ha aumentado gracias a que cada día disminuyen los precios de los receptores capaces de soportar servicios digitales que van surgiendo. Esta aplicación requiere de un ancho de banda de canal descendente de 2 a 3Mbps para video comprimido, utilizando técnicas de compresión (MPEG-2 –Motion Picture Experts Group-) y de modulación como 64QAM, 128QAM y 256QAM. Gracias al video digital es posible tener servicios como PPV (Pague por Ver) y video bajo demanda.

El video bajo demanda permite al cliente interactuar con su proveedor de servicios, y de esta forma obtener la programación deseada gracias a la tecnología multimedia e integración de voz, video y datos. Esto lleva la televisión a un grado más alto puesto que el cliente podrá acceder a contenidos

que no se pueden acceder con el uso de la telefonía tradicional por sus bajas velocidades y poca capacidad. Para esta aplicación se requiere de un canal descendente de 3Mbps de capacidad (comprimido) y 1Kbps en el canal de retorno, y un servidor de cabecera para simular las funciones de un aparato de video casero regular de modo que el usuario pueda pausar y reanudar la reproducción del video.

- Videoconferencia. La videoconferencia es una herramienta que permite que dos o más usuarios de una red puedan comunicarse en tiempo real. Con la velocidad de transmisión de datos adecuada, un software apropiado y una cámara el usuario podrá gozar de una alta calidad de video y voz desde cualquier parte del mundo. Para esta aplicación se utiliza una tasa de bits variable puesto que hay aplicaciones de baja calidad y alta calidad, siendo esta última la ofrecida por red de cable donde los retardos serán mínimos. En la Figura 7 se muestra un esquema típico de videoconferencia.

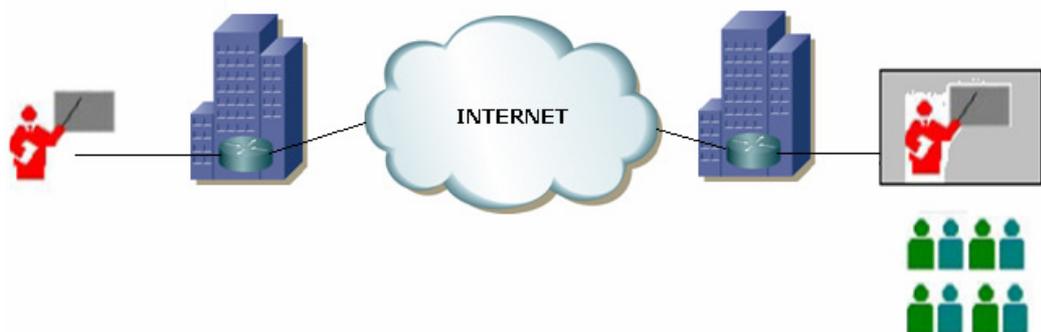


Figura 7. Videoconferencia

- Videojuegos online. Los videojuegos online permiten que varios usuarios puedan jugar en línea con otros usuarios con imágenes de alta calidad en formato tridimensional y efectos sonoros que requieren de un mayor ancho de banda y alta velocidad de transmisión. Esta aplicación ofrece interactividad entre los usuarios lo contrario a algunos programas de juego que no requieren de una comunicación bidireccional puesto que el juego se almacena en la memoria. La velocidad del canal depende del tipo de juego.

- Teleeducación y Teletrabajo. La educación a distancia se ha convertido en una herramienta importante que ofrecen varias universidades alrededor del mundo, permitiendo una interactividad entre los alumnos y profesores gracias a la configuración y capacidad de una red de cable HFC. De esta forma es posible la creación de un Campus Virtual donde pueda haber clases virtuales, chats y videoconferencias entre alumnos y profesores.

Por otra parte, una red que proporciona altas velocidades de transmisión permite que muchas personas controlen su negocio desde la casa. Esto se conoce como WAH (Work At Home) o SOHO (Small Office/Home Office) donde se necesita estar en línea permanentemente con el centro de trabajo por líneas dedicadas o Internet Banda Ancha. Adicionalmente al negocio propio, la red de cable permite monitorear contadores de electricidad, gas, agua, televigilancia y otras aplicaciones que requieran seguridad y fiabilidad.

- Telemedicina. Comprende un diagnóstico remoto del paciente, comunicación remota entre éste y el médico y acceso e intercambio de información médica. Mediante la telemedicina es posible hacer un diagnóstico más rápido de los cuadros de los pacientes reduciendo así los gastos médicos y sobre todo hacerlos a tiempo.

- Telefonía y televisión avanzada. Una velocidad de 64Kbps parece ser suficiente para una comunicación telefónica, sin embargo para evitar problemas de retardo de paquetización en telefonía mediante la red, se requiere de un canal de mayor ancho de banda, y de esta forma utilizar técnicas de cancelación de ecos. Respecto a la televisión avanzada HDTV (High Definition TV), comprende una alta definición de la imagen no comprimida de 1240x720 pixeles, de modo que la velocidad de transmisión requerida es mucho mayor que la velocidad necesaria para una imagen no comprimida de video ordinario. Esta tasa comprende 10Mbps de ancho de banda descendente (comprimido).

Dentro de las tecnologías existentes para lograr la conexión telefónica del abonado para la telefonía por cable, se encuentran:

- a. Overlay: esta arquitectura consiste en superponer una red de acceso telefónico a la red de distribución de televisión por cable, combinando dos tecnologías diferentes. Su construcción es relativamente sencilla, lleva un canal de 64 Kbps hasta cada uno de los hogares pasados por la red, a través de un cable de pares, directamente desde el nodo óptico. En el nodo, las

señales a 64 Kbps se multiplexan para formar canales a 2 Mbps, y éstos a su vez forman canales de niveles superiores, hasta llegar a la cabecera. Una vez llegan, un conmutador local hace de interfaz entre la red overlay y la red telefónica conmutada (RTC). Este esquema tiene las ventajas de tener un diseño de rápido despliegue, económico, flexible, fiable, a pesar de que no se alcanza un nivel alto de integración de la red.

b. RF hasta borde y RF hasta el hogar: esta estructura permite aprovechar la infraestructura de la red HFC para transportar señales telefónicas en el espectro de RF de la misma, reservando algunos canales descendentes y ascendentes para el tráfico telefónico. En este caso todos los abonados de una misma zona de distribución comparten una serie de ranuras temporales (time slots) de 64 Kbps a las que acceden según un esquema de Acceso Múltiple por División Temporal TDMA y la red HFC realiza una concentración de tráfico telefónico previa a la que tiene lugar en el conmutador local de la cabecera, con el fin de simplificar los equipos digitales de cabecera, ahorrar ancho de banda y hacer el sistema más flexible frente a problemas de ruido e interferencias.

En RF hasta el hogar, la red de distribución de coaxial de la red HFC lleva hasta los hogares todas las señales provenientes de la cabecera, tanto las de TV y otros servicios, como las señales de telefonía. Y en RF hasta el borde se llevan las señales telefónicas en su formato RF hasta un nodo telefónico en el que se convierten a su formato digital en banda base.

2. DOCSIS

Como cualquier nueva tecnología, la transmisión de datos de alta velocidad ofrece variantes en cuanto al desarrollo de equipo se refiere. Cada compañía acostumbra desarrollar sus propios sistemas para satisfacer determinadas necesidades. En consecuencia, el equipo cable módem de diferentes proveedores puede no ser compatible con el que utiliza un determinado sistema de cable. DOCSIS (Especificaciones de Interfaz de Servicios de Datos por Cable) es el conjunto de estándares que garantiza la interoperabilidad de la tecnología cable módem.

2.1 DEFINICIÓN

La especificación DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) es el resultado del esfuerzo del grupo conocido como Sistema Multimedia de Red de Cable (MCNS), formado por TCI, Time Warner, Cox y Comcast, que junto con Rogers Cablesystems, Continental Cablevision y CableLabs, quienes comenzaron a desarrollar especificaciones para el equipo de transmisión de datos por cable.

DOCSIS es un conjunto de estándares no comercial que define los requisitos de la interfaz de comunicaciones y operaciones para los datos sobre sistemas de cable, garantizando la interoperabilidad de las tecnologías usadas en la transmisión de los datos, lo que permite añadir transferencias de datos de alta velocidad a un sistema de televisión por cable (CATV) ya existente.

Otros dispositivos que reconocen la ayuda DOCSIS incluyen HDTV y las cajas para televisores que son habilitados para la Web. Los operadores de cable cuyos clientes existentes tienen módems de cable no estándar pueden manejarlos añadiendo soportes compatibles con la tarjeta DOCSIS al final del operador de cable. Como DOCSIS sigue desarrollándose a nuevas versiones, los módems existentes pueden ser mejorados a las versiones más recientes cambiando la programación del cable módem en las memorias EEPROM.

El proceso de desarrollo de este estándar comenzó a mediados de la década de los 90 y la primera especificación DOCSIS fue la versión 1.0, publicada en Marzo de 1997. En Abril de 1999 se certificó el primer equipo que cumplía con la especificación modificada (versión 1.1). En Enero de 2002 se publicó la última versión, DOCSIS 2.0 que aún se encuentra vigente. Desde entonces, DOCSIS se convirtió en el estándar sobre el cual se desarrolla la mayoría de las innovaciones tecnológicas de la industria de cable.

La especificación DOCSIS fue aceptada por el SCTE (Society of Cable Telecommunication Engineers), la cual es una organización encargada de elaborar normas del American National Standards Institute (ANSI).

Para lograr la compatibilidad de servicios de la información, SCTE trabaja en el desarrollo de normas para la industria del video cable, considerando temas de hardware, programas, controles, arquitectura de red, normas de data, manipulación del bit-stream, servicios de audio y video y multiplexación estadística, para promover la compatibilidad e intercambiabilidad de sistemas. Adicionalmente fue propuesta al ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones, encargada de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras) en Marzo de 1998, donde fue aprobada como estándar internacional para datos sobre redes de cables. Posteriormente, CableLabs estableció un programa de certificación, que obligaba a los vendedores a pasar una serie de tests interoperativos antes de recibir la certificación oficial DOCSIS.

La interoperabilidad es actualmente un factor fundamental en el arribo de cable módems y Sistemas de Terminación Cable Módem (CMTS) al mercado. 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.

2.2 ESPECIFICACIONES

Las especificaciones DOCSIS de Interfaz de Radiofrecuencia para sistemas de datos de alta velocidad sobre cable, se pueden clasificar según han sido adoptadas en diferentes redes alrededor del mundo e incluyen parámetros que

se recomiendan para lograr un mejor desempeño de la red de cable. Éstas resumen los criterios que deben seguirse para implementar una red de cable compatible con DOCSIS. Al satisfacer o exceder estos parámetros se puede esperar que la transmisión de datos de alta velocidad sea eficiente y confiable. En una transmisión bidireccional de datos de alta velocidad a través de la red de cable, la información que es enviada al suscriptor y la información que proviene del mismo, se alojan en diferentes bandas de frecuencia dentro del espectro que utiliza el cable. Existen dos opciones de tecnología las cuales cuentan con igual prioridad y no requieren ser interoperables.

Una de ellas está basada en la distribución de televisión descendente utilizado en América del Norte, la cual utiliza un canal de 6MHz que opera en un rango de 50MHz a 860MHz y contiene los canales de televisión y los datos de alta velocidad. Esta soporta transmisiones en la región ascendente de 5 a 42MHz, relacionada con las peticiones de un usuario para solicitar determinada información, tales como descarga de una página Web. Debido a que la cantidad de información descargada por un usuario es mucho mayor a las peticiones que éste envía, la banda de frecuencias utilizada para el "downstream" es más grande que la utilizada en el "upstream". Este esquema de división del espectro se muestra en la Figura 8. La segunda opción corresponde a la distribución de televisión Europea, soportando un canal ascendente de 5 a 65MHz y un canal descendente de 47MHz a 862MHz. A pesar de que ambas tecnologías tienen el mismo estado, la primera fue

documentada más tempranamente y la segunda fue introducida posteriormente como una enmienda.

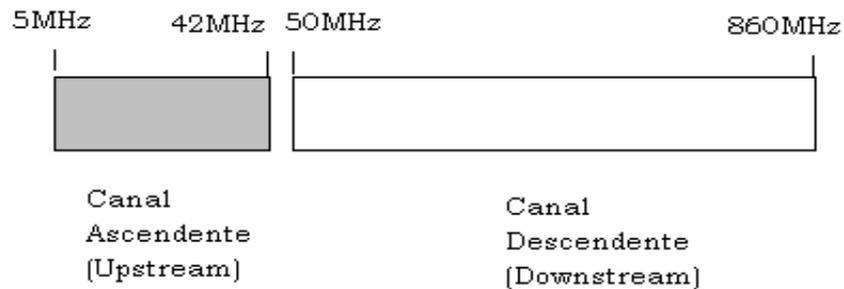


Figura 8. Esquema de división del espectro

La transmisión downstream permite modulación 64-QAM y 256-QAM sobre canales de 6 MHz de ancho de banda. En el esquema 64-QAM, la máxima tasa nominal de transferencia de datos que puede alcanzarse es de aproximadamente 27 Mbps. Se considera tasa nominal de transferencia de datos a la transmisión relacionada con la detección y corrección de errores, mientras que la tasa total de transferencia representa a la misma transmisión, pero sin tomar en cuenta los errores que se presentan.

La tasa de transferencia de símbolos es otra medida relacionada a la transmisión de datos que representa el número de símbolos que pueden ser enviados. Debido a que un símbolo puede tener diferentes estados, éste estará formado por más de un bit, razón por la cual, la tasa de transferencia de símbolos es menor a la tasa de datos. Como podrá observarse, 64-QAM utiliza símbolos de 6 bits ($2^6 = 64$) y, como consecuencia, su tasa de transferencia de símbolos será de aproximadamente 5 Msím /seg.

En la modulación 256-QAM, 8 bits constituyen un símbolo, lo que representa una transmisión de aproximadamente 5.3 Msím/seg, equivalente a una tasa máxima total de transferencia de datos de 42.88 Mbps y una tasa nominal máxima de aproximadamente 38 Mbps.

En la Tabla 1 se muestran las tasas de transferencia según los tipos de modulación 64-QAM y 256-QAM.

Tipo de Modulación	Ancho de Banda del Canal	Tasa de transferencia de símbolos (Msim/seg)	Tasa total de transferencia de datos	Tasa nominal de transferencia de datos
64 - QAM	6 MHz	5.056941	30.34 Mbps	~ 27 Mbps
256 - QAM	6 MHz	5.360537	42.88 Mbps	~ 38 Mbps

Tabla 1. Tasas de transferencia según tipo de modulación

En la transferencia upstream, DOCSIS acepta dos formatos de modulación (QPSK y 16-QAM) y cinco diferentes tasas de transferencia de símbolos, relacionadas con el ancho de banda del canal que se ocupa. Para un canal de 0.2 MHz de ancho de banda, la tasa de transferencia de símbolos será de 160 ksím/seg, lo que representa una tasa nominal de datos para modulación QPSK de aproximadamente 0.3 Mbps y de 0.6 Mbps para 16-QAM.

La siguiente tabla muestra la información relacionada con las cuatro restantes tasas de transferencia de símbolos para la transferencia upstream.

Ancho de banda del canal	Tasa de transferencia de símbolos (ksím/seg)	Tasa total de transferencia de datos en QPSK	Tasa nominal de transferencia de datos en QPSK	Tasa total de transferencia de datos en 16-QAM	Tasa nominal de transferencia de datos en 16-QAM
0.20 MHz	160	0.32 Mbps	~ 0.3 Mbps	0.64 Mbps	~ 0.6 Mbps
0.40 MHz	320	0.64 Mbps	~ 0.6 Mbps	1.28 Mbps	~ 1.2 Mbps
0.80 MHz	640	1.28 Mbps	~ 1.2 Mbps	2.56 Mbps	~ 2.3 Mbps
1.60 MHz	1280	2.56 Mbps	~ 2.3 Mbps	5.12 Mbps	~ 4.6 Mbps
3.20 MHz	2560	5.12 Mbps	~ 4.6 Mbps	10.24 Mbps	~ 9.0 Mbps

Tabla 2. Tasas de transferencia de Canal Ascendente (Upstream)

Algunas características de transmisión tanto para el canal descendente como para el ascendente de acuerdo a la Especificación de Interfaz de Radiofrecuencia de DOCSIS 1.0., son las siguientes:

Canal Downstream

- a. Ancho de Banda del Canal RF: 6MHz.
- b. Rango de frecuencia: entre 50MHz y 860MHz.
- c. Relación portadora a ruido en una banda de 6MHz (nivel de video analógico): no menor a 35dB.
- d. Retraso del tránsito entre la cabecera y el suscriptor más alejado: menor o igual a 0.8ms.

- e. Nivel máximo de portadora de video analógica a la entrada del cable módem: 17dBmV.⁴

Canal Upstream

- a. Rango de frecuencias: entre 5MHz y 42MHz.
- b. Relación portadora a ruido: no menor a 25dB.⁵
- c. Retraso del tránsito entre el CM más alejado y el CMTS más cercano: menor o igual a 0.8ms.

2.3 ARQUITECTURA

La arquitectura de DOCSIS consiste en tres componentes primarios: Un módem de cable situado donde el cliente (CM), un Sistema Terminal de Cable módem (CMTS) y la Red de Cable (Red HFC).

En la siguiente figura se muestra el diagrama de un enlace por medio de DOCSIS con sus principales elementos de interconexión.

⁴ Valores para los incisos c, d y e aplican solo a frecuencias ≥ 88 MHz.

⁵ Técnicas de tolerancia podrán usarse para asegurar operación en presencia de señales de ingreso discretas y de tiempo variable que podría ser tan alto como 10dBc.

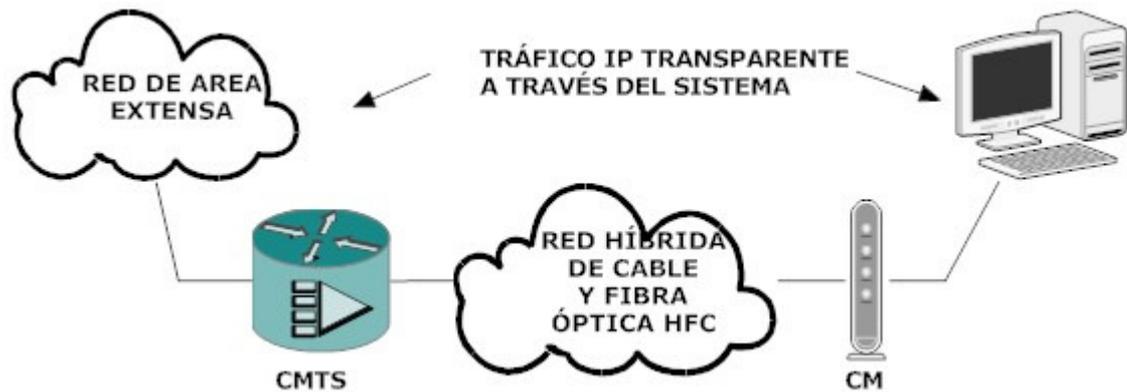


Figura 9. Arquitectura DOCSIS⁶

DOCSIS define el protocolo para el intercambio bidireccional de la señal entre estos dos componentes con el uso del cable.

2.3.1 Cable Módem. Es un dispositivo o tipo especial de módem utilizado para modular la señal de datos sobre una infraestructura de televisión por cable o red HFC, permitiendo a estas compañías ofrecer servicios de acceso a redes de datos como Internet, brindando velocidades muy altas en comparación con un sistema de acceso a Internet telefónico, cuya velocidad de conexión estándar es aproximadamente de 50kbps. En la figura 10 se observa un cable módem Motorola modelo SB5100.



Figura 10. Cable Módem Motorola SB5100

⁶ Figura tomada de *American National Standard - DOCSIS1.1Part 1: Radio Frequency Interface*

2.3.1.1 Características. Dentro de las características fundamentales del cable módem se incluyen la conexión, velocidad, funcionamiento y estructura.

- CONEXIÓN. El cable módem se encuentra en el extremo del cliente y es conectado a la red HFC mediante un conector –F- de cable coaxial RG-6, y al PC del abonado a través de una tarjeta de red (Interfaz Ethernet) o del puerto USB, los cuales se muestran a continuación:

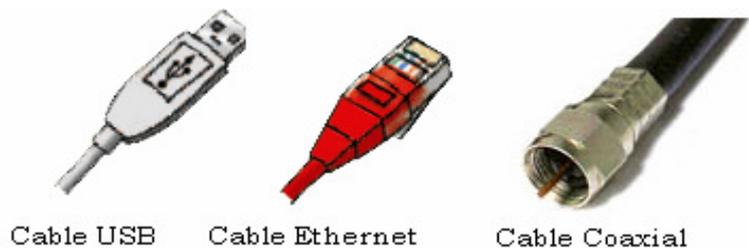


Figura 11. Tipos de Cable para conexión de Cable Módem

El operador de cable conecta en su extremo un equipo denominado CMTS (Cable Módem Termination System), dispositivo central utilizado para efectuar la conexión entre la red de televisión por cable y la red de datos. El CMTS es un aparato capaz de soportar un gran número de cable módems conectados a la vez con él y se encarga de distribuir la información a cada usuario. El CMTS y el cable módem son fundamentales para colocar los datos de Upstream y Downstream en el sistema de televisión por cable e implantan protocolos para compensar pérdidas en el cable, diferentes longitudes de cable, asignar frecuencias a los cable módems y ranuras de tiempo (time slots) para el upstream.

Gracias al cable módem es posible tener un acceso a Internet 24 horas al día y sin el uso de la línea telefónica, y de esta forma se ahorran los costes de la llamada telefónica al servidor. El cable módem es un equipo diseñado para permanecer en funcionamiento de manera continua sin recalentarse y con garantías de seguridad, y puede servir a un computador o varios, incluyendo el uso de un router.

- VELOCIDAD. El cable módem es un dispositivo asimétrico (la información en sentido desde la red hasta la computadora típicamente es mayor) encargado de regular la velocidad de transmisión y recepción de datos, recibiendo datos a velocidades de hasta 30 Mbps y transmitiendo hasta 10 Mbps. En algunos casos los fabricantes construyen módems simétricos considerando que la demanda de ancho de banda permitirá capacidades de upstream cada vez mayores. La mayoría de los módem funcionarían en una velocidad óptima entre 200Kbps y 2Mbps.

Algunos fabricantes de cable módem son 3Com, Cisco Systems, Ericsson, Motorola, Bay Networks, AT&T, General Instrument, HP, Hughes, Hybrid, IBM, Intel, LANCity, MicroUnity, Panasonic, Scientific Atlanta, Terrayon, Toshiba, entre otros.

- FUNCIONAMIENTO. Como su nombre lo indica, funciona como modulador y demodulador. Respecto al downstream, demodula la señal recibida y encapsula el flujo de bits en paquetes Ethernet, haciendo que la computadora del usuario vea la red HFC como una red Ethernet. Respecto al upstream,

descompone los paquetes Ethernet que recibe de la computadora y los convierte en tramas con un formato propietario.

La recepción de datos se lleva a cabo por un canal de downstream que ocupa entre 6 y 8 MHz del espectro descendente. La tasa de datos depende del ancho de banda y el tipo de modulación utilizada.

El envío de datos se realiza utilizando un canal de upstream con ancho de banda de 2 a 4MHz del espectro de retorno <5000000-42000000> Hz (North America Standard), con modulación QPSK (2 bits por símbolo) ó 16-QAM (4 bits por símbolo). Usualmente los cable módem disponen de sistemas de gestión dinámica del espectro de retorno para transmitir en aquellos canales que menos problemas de ruido e interferencias presentan en cada momento. Adicional a esto el upstream siempre es en ráfagas, razón por la cual muchos módems pueden transmitir en la misma frecuencia.

Típicamente los proveedores de Internet por Banda Ancha ofrecen direcciones IP adicionales para los usuarios que deseen conectar múltiples computadoras, sin embargo, en la mayoría de los casos se asigna una dirección IP que puede ser dinámica o fija, dependiendo de los requerimientos del cliente.

- ESTRUCTURA. Un cable módem puede ser interno o externo, y puede ser parte del “set-top cable box” requiriendo de un teclado y mouse para brindar el acceso a Internet. Entre los elementos que hacen parte de la estructura se encuentran:

* Sintonizador: dispositivo conectado a la salida del cable que recibe una señal digital modulada y la entrega al modulador. A veces se adiciona un splitter que separa el canal de datos de Internet de la programación normal de televisión y otras veces cuenta con un diplexer que le permite usar un grupo de frecuencias para downstream y otro para upstream.

* Demodulador: este equipo tiene la función de convertir la señal modulada en una señal simple, convertir la señal análoga en digital, sincronizar las tramas para asegurar que se encuentren en orden y en línea, y finalmente la verificación de errores. Algunos de los componentes de un demodulador incluyen filtro adaptador, desintercalador, sincronismo, FEC, desaleatorización.

* Modulador: se utiliza para convertir las señales digitales del computador en señales de radiofrecuencia para la transmisión. Se compone de una sección de generación de información para chequeo de errores, un modulador QAM, conversor D/A y Control de Acceso al Medio.

2.3.1.2 Etapas de un Cable módem. Luego de que el cable módem se ha instalado en el hogar del suscriptor, éste pasa por varias etapas, transparentes al usuario, antes de quedar habilitado para su funcionamiento:

1. Escaneo y sincronización de canal de DS: una vez el cable módem esta encendido y conectado a la computadora, éste realiza una búsqueda en el espectro descendente de RF para obtener la frecuencia de DS, es decir, una portadora modulada en forma digital que contenga información específica del cable módem. En la subcapa de Acceso al Medio (MAC) el Cable Módem se

registra en la tabla ARP del CMTS que relaciona la MAC ID del CM con la IP privada que va relacionada con la interfaz RF. El CM deberá tener almacenamiento no-volátil en el cual los últimos parámetros de operación son almacenados y deberá primero tratar de adquirir este canal descendente nuevamente. Si falla, continuaría su búsqueda escaneando los canales de banda descendente hasta que encuentre la señal correspondiente.

2. Obtención de parámetros de US: una vez adquiere frecuencia de DS, el CM espera por el UCD (Upstream Channel Descriptor) que es un mensaje que le indica la frecuencia a la cual va a transmitir, perfil de modulación y ancho de canal proveniente del CMTS. Estos mensajes son transmitidos periódicamente para todos los canales US y son agregados a la dirección MAC de broadcast. El cable módem deberá determinar si puede utilizar el canal ascendente a partir de los parámetros antes mencionados.

El cable módem deberá recolectar todos los UCDs los cuales son diferentes en su campo de ID de canal, para construir un set de IDs de canales usables. Si no se puede encontrar ningún canal después de cierto período de tiempo, el cable módem continúa el escaneo. Si se recibe un UCD erróneo, el módem no conectará hasta que encuentre un UCD apropiado, donde una vez hecho esto el cable módem extrae los parámetros para este canal a partir del UCD. Finalmente se establece la sincronía necesaria para evitar que ocurran colisiones de datos con otros CM.

3. Establecimiento de conectividad IP: a fin de establecer conectividad con el protocolo de Internet, el cable módem envía al CMTS una solicitud de DHCP (Protocolo de Configuración Dinámica de Servidores) con el fin de adquirir la dirección IP privada y cualquier otro parámetro necesario para establecer la conectividad IP. La respuesta DHCP deberá contener el nombre del archivo que contiene parámetros de configuración posteriores.⁷

4. Establecimiento de TOD: el CMTS junto con los cable módems deben tener la fecha y hora al día, con el fin de análisis de eventos de acceso (logging) del suscriptor que requieran ser revisados por el administrador del sistema. En este punto el cable módem solicita al servidor de hora del día (Time of Day) la fecha y hora exacta donde la petición y respuesta debe ser transferida utilizando UDP. El tiempo de espera específico para esta petición no debe exceder más de tres peticiones durante un período de 5 minutos.

5. Transferencia de parámetros por TFTP: una vez terminado el proceso DHCP, el cable módem debe descargar al archivo de parámetros mediante TFTP, Protocolo de Transferencia de Archivos Trivial, el cual utiliza UDP (puerto 69) como protocolo de transporte, no puede listar el contenido de los directorios y se utiliza para leer o escribir archivos de un servidor remoto.

6. Registro de conexión: el cable módem esta capacitado para enviar tráfico a la red una vez ha inicializado y ha sido configurado, vía proceso de registro.

⁷ Ver Anexo A

Para registrarse con el CMTS el cable módem deberá reenviar los parámetros operacionales en el archivo de configuración, tales como la clase de servicio.

Para el Cable Módem Motorola SB5100, las tareas que son llevadas a cabo hasta que éste empieza a transmitir información se pueden observar en la siguiente gráfica, tomada de la página del equipo:

Task	Status
Acquire Downstream Channel	Done
Obtain Upstream Parameters	Done
Upstream Ranging	Done
Establish IP Connectivity using DHCP	Done
Establish Time Of Day	Done
Transfer Operational Parameters through TFTP	Done
Register Connection	Done
Cable Modem Status	Operational
Initialize Baseline Privacy	Skipped

Figura 12. Estado de tareas del cable módem en su proceso de inicialización

Los cuatro primeros leds del cable módem encienden en color verde, y son los que indican el estado del módem con respecto a la red. Si alguno de ellos no se estabiliza en verde una vez reiniciado el módem es porque no se cumplió el proceso correspondiente a ese led. El penúltimo led del módem es PC Activity y enciende en color ámbar, éste no indica ningún estado del módem, sino que muestra el tráfico del módem una vez que el mismo esté conectado correctamente en la red. Esta debe estar titilando en su estado funcional. El

led de Standby, como su nombre lo indica, encenderá en un estado de standby cuando el usuario no desee tener el cable módem operativo.

2.3.2 Sistema Terminal de Cable Módem. Un CMTS (Cable Módem Termination System) es un equipo que hay en la cabecera el cual controla los puertos de envío y recepción con el fin de proporcionar servicios de datos de alta velocidad a los abonados. Para proporcionar una comunicación bidireccional es necesario al menos dos puertos físicos - bajada/recepción y subida/envío, donde el CMTS habilita la comunicación de los cable módems de los abonados y cuenta con conexiones Ethernet e interfaz RF, de modo que el tráfico que llega de Internet pueda ser enrutado mediante esta interfaz y a partir de allí a los cable módems.

Antes de que una compañía de cable pueda usar DOCSIS, debe actualizar su red HFC para soportar un canal de retorno para el tráfico de subida. El tráfico manejado por el CMTS normalmente es tráfico IP, donde se transportan paquetes a los cable módem en flujos de datos que normalmente se modulan en señales QAM. El tráfico de subida hacia la cabecera se transporta en tramas Ethernet típicamente en señales QPSK y es el CMTS el encargado de enrutar el tráfico entre la red de cable e Internet. Un CMTS permite al ordenador del cliente, junto con los periféricos asociados denominados Customer Premises Equipment (CPE), obtener una dirección IP mediante un servidor DHCP y otras características tales como puerta de enlace, DNS, entre otros. En la siguiente figura se observa el CMTS Motorola BSR64000.



Figura 13. Sistema Terminal de Cable Módem Motorola BSR6400⁸

Típicamente, para usuarios particulares la velocidad está limitada en función del contrato que tengan suscrito. Los valores concretos se definen en un fichero de configuración que el cable módem se descarga a través de TFTP cuando establece la conexión con la cabecera del proveedor.

Los proveedores de cable limitan la velocidad de bajada y la de subida dependiendo del precio que pague el usuario. Algunos usuarios intentan saltarse el límite de ancho de banda para conseguir acceso total al ancho de banda del sistema (a menudo, 30 Mbps) subiendo su propio fichero de configuración al cable modem. Este proceso se conoce como uncapping y es casi siempre una violación de los términos del servicio y, frecuentemente, de la ley.

⁸ Figura tomada de Carrier-Class Edge Routing White Paper. <http://www.motorola.com/broadband>

2.4 EVOLUCIÓN DE LAS VERSIONES DE DOCSIS

2.4.1 DOCSIS 1.0. Primera versión del estándar de interoperabilidad que establece las características del equipo de cabecera, de suscriptor y protocolo de la transmisión de datos. Cuenta con un conjunto de recomendaciones, incluyendo el acondicionamiento de la red de cable y componentes tales como el Sistema de Terminación de Cable modem (CMTS), el Cable Módem (CM) y servidores '*back office*', los cuales incluyen:

1. Servidor TFTP (Protocolo Trivial de Transferencia de Archivos) habilita la transferencia del archivo de configuración al cable módem y la descarga de actualizaciones de software.
2. Servidor DHCP (Protocolo de Configuración Dinámica de Anfitrión) asigna de manera dinámica las direcciones IP entre los cable módems.
3. Servidor TOD (Hora del Día) establece marcas de tiempo para elaborar historiales y eventos en la red.

Dentro de las especificaciones se incluyen temas como Interfaz, Telefonía por Cable Módem, Equipos de usuario, Sistema Terminal de Cable Módem, Sistema de soportes de Operaciones, Radiofrecuencia.

Esta versión ofrecía muy baja calidad de servicio en la transmisión de datos, no garantizada, donde un identificador y una clase de servicio para ambos enlaces no eran suficientes para manejar tráfico en tiempo real en determinados servicios de voz y video, como la telefonía. Por tal motivo fue necesario modificar la primera versión para generar una revisión del estándar.

2.4.2 DOCSIS 1.1. En esta nueva versión se introdujo el concepto de flujo de servicio e identificadores para representación de flujos de datos en determinado canal, con el fin de asignar parámetros de calidad de servicio (QoS) diferenciados para servicios tales como voz, datos y video, permitiendo asignar un trato particular en cuanto a calidad para cada tipo de tráfico, incluyendo telefonía y multimedia.

Todo esto en contraste con la versión DOCSIS 1.0, donde un cable módem estaba asociado a un identificador de Servicio y este a su vez podía estar asociado con un solo nivel de calidad de servicio para ambos canales, tanto el descendente como el retorno. En este caso los servicios viajan en el mismo flujo de servicios.

Adicionalmente se realizaron ajustes en el establecimiento dinámico y calendarización del servicio, en la clasificación de paquetes en ambas direcciones, y se agregó una Interfaz de Privacidad Básica (BPI+) para dar seguridad al sistema. Respecto a la clasificación de paquetes, se agregaron funcionalidades de *concatenación* y *fragmentación*, permitiendo al cable módem enviar múltiples paquetes en una sola oportunidad de transmisión y enviar una trama en múltiples oportunidades de transmisión, respectivamente, haciendo más eficiente la transmisión de paquetes en la red de cable. Por otro lado, el esquema de encriptación usado en DOCSIS 1.0, denominado Privacidad Básica (BPI), ofrecía una seguridad muy limitada, por lo cual se mejoró introduciendo el BPI+ que incluía certificados digitales para evitar que el

usuario final falsificara la identidad del cable módem y pudiera robar o interrumpir el servicio.

Ambas versiones DOCSIS 1.0 y DOCSIS 1.1 en conjunto se conocen como DOCSIS 1.x y soportan dos esquemas de modulación para cada enlace tanto ascendente como descendente, así como diferentes anchos de banda de canal y tasas de transmisión, como se detalla en la siguiente tabla:

ENLACE	MODULACIÓN	RANGO DE FRECUENCIA (MHz)	ANCHO DE BANDA DEL CANAL (MHz)	TASA TOTAL DE TRANSMISIÓN (Mbps)	TASA NOMINAL DE TRANSMISIÓN (Mbps)
Descendente	256-QAM	88-860	6	42.88	~38
	64-QAM	88-860	6	30.34	~27
Ascendente	16-QAM	5-42	0.2	0.64	~0.6
			0.4	1.28	~1.2
			0.8	2.56	~2.3
			1.6	5.12	~4.6
			3.2	10.24	~9
	QPSK	5-42	0.2	0.32	~0.3
			0.4	0.64	~0.6
			0.8	1.28	~1.2
			1.6	2.56	~2.3
			3.2	5.12	~4.6

Tabla 3. Esquemas de modulación y tasas de transmisión de DOCSIS 1.x

Se considera tasa nominal de transmisión a la tasa efectiva de datos de información que se pueden transferir, sin considerar los encabezados que se agregan para realizar el proceso de detección y corrección de errores. La tasa total de transmisión hace referencia a la capacidad potencial de transmisión bajo ese formato de modulación, si no hubiera que destinar parte de ese total a incluir información relativa a la detección y corrección de errores.

La compatibilidad entre estas dos versiones depende del cuidado que se dedique a su implantación para deshabilitar ciertas funciones y restringir el aprovechamiento a determinados parámetros. Los cable módem y CMTS de igual versión son compatibles, sin embargo para un cable módem versión 1.0 y CMTS versión 1.1 el CMTS no podrá administrarlos pues éstos no cuentan con funcionalidades contempladas en la nueva versión. Sin embargo para un cable módem versión 1.1 y CMTS versión 1.0 el CMTS podrá administrarlo pero su funcionamiento se verá limitado a características de la versión 1.0.

2.4.3 DOCSIS 2.0. Esta segunda versión de DOCSIS, publicada en el 2002, incluye mayores tasas de transmisión de datos en el canal ascendente, donde a través de canales de 6.4 MHz, se lograron las tasas que se muestran en la Tabla 4. Respecto a los esquemas de modulación, agrega el uso de 32-QAM, 64-QAM y 128-QAM en el retorno; sin embargo en el enlace descendente la tasa de transmisión no varía, continuando con 64 y 256 QAM.

ENLACE	MODULACIÓN	RANGO DE FRECUENCIA(MHz)	ANCHO DE BANDA DEL CANAL (MHz)	TASA TOTAL DE TRANSMISIÓN (Mbps)
Ascendente	32-QAM	5-4	3.2	12.80
	64-QAM	5-42	3.2	15.36
	16-QAM	5-42	6.4	20.48
	32-QAM	5-42	6.4	25.60
	64-QAM	5-42	6.4	30.72
	128-QAM	5-42	6.4	35.84

Tabla 4. Esquemas de modulación y tasas de transmisión de DOCSIS 2.0

Algunas características notables comprenden el uso de esquemas de modulación de orden superior permitiendo un significativo incremento en la capacidad del retorno (de 10 Mbps a 30 Mbps), mayor inmunidad al ruido, compatibilidad con versiones anteriores de DOCSIS, mejor corrección de errores, entre otros. También se hace necesario cumplir con ciertos requisitos para minimizar el ruido, evitar problemas de interferencia e incorporar monitoreo en la red para su eficaz mantenimiento.

Los cable módems DOCSIS 2.0 son compatibles con los CMTS de versiones anteriores, limitando su operación según la versión manejada por el CMTS, como se observa en la Tabla 5, sin embargo las versiones DOCSIS 1.0 y 1.1 difícilmente podrían operar con los estándares de DOCSIS 2.0 por carecer de funcionalidades que se agregaron posteriormente.

	CM DOCSIS 2.0	CM DOCSIS 2.0	CM DOCSIS 2.0
CMTS DOCSIS 1.0	El CM opera en modo DOCSIS 1.0		
CMTS DOCSIS 1.1		El CM opera en modo DOCSIS 1.0 ó 1.1	
CMTS DOCSIS 2.0			El CM opera en modo DOCSIS 1.0, 1.1 ó 2.0

Tabla 5. Compatibilidad entre DOCSIS 1.x y 2.0

2.4.4 DOCSIS 3.0. Si se desea incursionar en los servicios convergentes sobre las redes de cable, a pesar de las mejoras que ha presentado la evolución de DOCSIS hasta la segunda versión para manejar tráfico en tiempo real, las máximas tasas de transmisión desde y hacia el cable módem ya han encontrado un límite.

A pesar de utilizar modulaciones tales como 64-QAM y 256-QAM o 1024-QAM en el enlace descendente, la máxima tasa de transmisión se ve limitada por la restricción del ancho de canal en el enlace descendente y el retorno. En el año 2005 fueron publicadas por parte de CableLabs®, las especificaciones de un CMTS modular (M-CMTS) basado en la versión DOCSIS 3.0 que se espera revolucione la transmisión de datos en las redes de cable permitiendo el alcance de velocidades en Gbps. Esta versión incluye conceptos innovadores tales como *'unión de canales'* y soporte de *'IPv6'*.

Actualmente IPv4, Protocolo de Internet que se ha utilizado ampliamente, comprende un número limitado de direcciones IP las cuales están a punto de agotarse por el gran crecimiento del Internet en los últimos años.

La *'unión de canales'*, por otra parte, hace referencia a que los datos se transmitirán desde y hacia los cable módem utilizando múltiples canales de RF en vez de uno sólo, como solía hacerse en las dos versiones anteriores de DOCSIS. Estos canales estarán unidos lógicamente para transmitir la señal modulada digitalmente y ensanchar el canal de comunicación. En el CMTS se distribuye la información para que viaje por diferentes canales y en el cable módem se recolecta y se ordena. La importancia de este desarrollo indica que, al unir múltiples canales convencionales, el enlace podría alcanzar una capacidad de aproximadamente 1 Gbps, algo antes inimaginable para la transmisión de datos en una red de cable. Los mismos resultados se pueden aplicar al canal de retorno, elevando significativamente la máxima tasa de

transmisión. En la Figura 14 se observa un diagrama de la unión de 4 canales en DOCSIS 3.0:

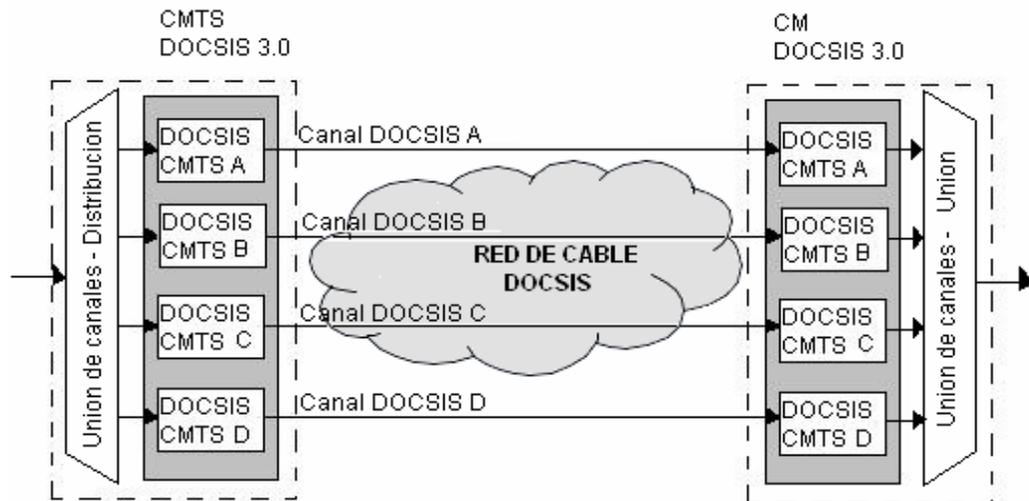


Figura 14. Diagrama de la unión de cuatro canales en DOCSIS 3.0

En términos generales, DOCSIS 3.0 contempla las siguientes mejoras sobre las versiones anteriores:

- Capacidad de transmisión muy elevada a través de la unión de múltiples canales de 6 MHz
- Arquitectura de cabecera escalable y flexible con CMTS modular (M-CMTS)
- Capacidad para servicios convergentes
- Soporte del protocolo de Internet IPv6
- Multidifusión IP para soportar aplicaciones IPTV

La especificación DOCSIS 3.0 todavía está en desarrollo y debe pasar de la etapa de borrador a la de publicación final.

3. DESCRIPCIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE OPTIMIZACIÓN

El router para servicios de Banda Ancha, Motorola BSR64000 es un CMTS de alta densidad, inteligente, de alto funcionamiento y altamente redundante que permite a los operadores administrar el ancho de banda de forma eficiente mientras entrega servicios diferenciados de voz, dato y servicios multimedia sobre la red de cable y aplica clasificación, políticas y manejo de tráfico. También ofrece enrutamiento robusto, flexibilidad y escalabilidad para soportar servicios de nueva generación tales como Voz sobre IP y VPN (Red Privada Virtual). Los operadores y sus suscriptores no pueden tolerar fallas en el núcleo de la red, es por esto que el BSR64000 es un enrutador clase carrier que permite redundancia para asegurar operación sin interrupciones, incluyendo Switching de protección automático (APS), controlador redundante y módulos de enrutamiento. El BSR64000 permite ofrecer Calidad de Servicio (QoS) punto a punto a través del acceso a redes metropolitanas y de núcleo.

Respecto al manejo y control, dentro de un escenario de proveedor de múltiples servicios de telecomunicaciones, se requiere de acceso administrativo a la plataforma de estos equipos. Es por ello que el BSR64000 cuenta con una interfaz de Línea de Comandos (CLI) permitiendo proveer funcionalidad en un sistema de modo que las operaciones sean simplificadas y eliminando la necesidad de utilizar hardware adicional para tal fin.

El BSR64000 ha sido diseñado para usarse en redes consolidadas por lo cual es compatible con otros sistemas y equipos de vendedores incluyendo routers de Cisco Systems. Adicionalmente cuenta con procesamiento basado en hardware para establecer relaciones seguras de extremo a extremo que permitan proteger la red HFC y los usuarios de ser dañados en su flujo de tráfico con la capacidad de manejar altos contenidos de filtros.

El BSR64000 incluye interfaces flexibles para Gigabit Ethernet, 10/100 Ethernet y SONET/SDH y elimina la necesidad de equipo CMTS individuales, switches y routers, ya que ofrece manejo de router unificado, calidad de servicio QoS y funciones de CMTS. La plataforma posee fuentes de poder redundantes y ventiladores en un chasis modular ultra denso. Cada dominio de tarea en el BSR 64000 corre en su propio espacio de memoria protegido usando la Unidad de Manejo de Memoria con impacto mínimo en su funcionamiento. Esto asegura que la falla de una tarea no afecte negativamente en la operación de otras.

Una de las características más importantes es la oportunidad de implementar técnicas de manejo de espectro en conjunto con las especificaciones DOCSIS de forma que los operadores puedan optimizar el funcionamiento, cancelar o evadir daños, obteniendo mayor eficiencia en el aseguramiento de ancho de banda y acelerando el envío de servicios a través de la red HFC. Estas características incluyen cancelación de ruido, medida de ruido sofisticada, y capacidad de evasión de ruido incluyendo la opción de moverse a un esquema

de modulación mayor y maximizar los recursos a medida que se expande la red.

En esta sección, se explicarán los procesos de optimización que pueden ser implementados por parte de Costavision S.A., para aprovechar los recursos que tiene actualmente en busca de una mayor eficiencia en los servicios que ofrece a sus usuarios.

3.1 MANEJO DE ESPECTRO

El sistema de manejo de espectro permite monitorear la integridad de la señal ascendente y recolectar información del espectro del mismo canal. Cuando la integridad de la señal se degrada debido al ruido, el sistema de manejo de espectro configura de forma automática ciertos parámetros del canal ascendente con el objeto de mantener un porcentaje de pérdida de paquete bajo, mediante el cambio de parámetros tales como frecuencia del canal, perfil de modulación, ancho de banda del canal, y nivel de potencia, con el fin de asegurar un funcionamiento dentro de valores óptimos.

Dentro de las configuraciones que Costavision S.A. debe tener en cuenta para aumentar la agilidad de frecuencia dentro del CMTS BSR64000 tenemos: configuración de un grupo de espectro, aplicar el grupo de espectro a un puerto Ascendente, evaluar el funcionamiento del manejo de espectro.

3.1.1 Configuración de un Grupo de Espectro. Cada grupo de espectro debe contener parámetros como datos del espectro, mapa del espectro y asignación de canal. El primero es donde se guarda la información recolectada sobre el ruido de espectro. Este contiene la frecuencia de inicio, resolución, número de puntos de datos, tiempo de la última medición y un puntero a un vector donde se guarda el nivel de ruido.

El mapa de espectro describe la forma en la cual es utilizado el espectro ascendente para una banda en particular, y contiene la frecuencia de inicio y parada y el estado actual. Finalmente la asignación del canal define la frecuencia que se utilizará para el canal ascendente. Cada grupo de espectro contiene también una información de calidad de señal de espectro que se recolecta a través de un proceso de monitoreo y a su vez contiene la tasa de error periódico que es computado y comparado con el umbral de error de Forward Error Correction (FEC) para determinar si es necesario realizar un salto de frecuencia y la combinación periódica de potencia in-band (en banda) y recolección de datos de espectro para computar la señal-a-ruido para el canal ascendente.

El horario del espectro contiene información referente a la disponibilidad de una banda de frecuencia determinada. Esta banda puede programarse estáticamente o estar disponible para ciertos períodos de tiempo. Las reglas de salto de frecuencia determinan la acción a tomar cuando el manejo de espectro decide cambiar los parámetros de un canal ascendente para combatir

el ruido. Los operadores pueden mejorar las condiciones de este canal especificando ciertas reglas de salto con respecto al cambio de frecuencia, cambio de banda de frecuencia, cambio de perfil de modulación, reducción del ancho de banda del canal y ajustes de potencia, de ser necesario.

3.1.1.1 Creación de un grupo de espectro. Para crear un grupo de espectro se deben seguir los siguientes pasos dentro de la configuración del CMTS.

1. Usar el comando ***cable spectrum*** en el modo de configuración Global para crear un grupo de espectro y entrar en el nuevo modo de Grupo de Espectro de Cable, en el cual se configuraran todos los parámetros del grupo de espectro de cable, como se muestra a continuación:

```
Router(config)#cable spectrum-group <WORD>
```

donde *WORD* es el nombre del grupo de espectro.

Para eliminar un grupo de espectro se debe usar el comando ***no cable spectrum*** en el modo de configuración Global, así:

```
Router(config)#no cable spectrum-group espectro1
```

2. Para definir la frecuencia de inicio y fin de la banda para el grupo de espectro, se utiliza el comando ***band***, así:

```
Router (config-spcgrp:espectro1)#band {<5000000-42000000><5000000-42000000>}
```

Donde *5000000-42000000* es la frecuencia de inicio del canal upstream en Hertz.

5000000-42000000 es la frecuencia final del canal upstream en Hertz.

3.1.1.2 Disponibilidad de banda. Para revisar y guardar el horario de disponibilidad de una banda de Grupo de Espectro se utiliza el comando **time band** donde el grupo se puede disponer según horario diario o semanal.

Si se desea guardar el horario para cuando la banda del grupo de espectro esté disponible en una base diaria, se utiliza el comando **time band** en el modo de grupo de espectro, así:

```
Router (config-spcgrp:<WORD>)# time <hh:mm:ss> band {<frecuencia de inicio> <frecuencia final>}
```

Donde *hh:mm:ss* es el tiempo que incluye la hora, minutos y segundos donde la banda se hace disponible; la frecuencia de inicio es la frecuencia donde comienza el canal ascendente desde 5000000 a 42000000 Hertz y la frecuencia final es donde termina el canal ascendente desde 5000000 a 42000000 Hertz.

Si ya se ha configurado una disponibilidad para un grupo de espectro y se desea ingresar un nuevo horario, se deberá borrar la configuración de disponibilidad inicial.

Si se desea guardar el horario para cuando la banda del grupo de espectro esté disponible en una base semanal, se utiliza el comando **time band** en el modo de grupo de espectro, así:

```
Router (config-spcgrp:<WORD>)# time (<día> <hh:mm:ss>) band {<frecuencia de inicio> <frecuencia final>}
```

Donde *día* corresponde a la abreviación del día de la semana.

Para borrar el horario de disponibilidad de una banda, se utiliza el comando **no time band** en el modo de grupo de espectro, así:

```
Router (config-spcgrp:<WORD>)# no time (<dia> | <hh:mm:ss>) band {<frecuencia de inicio> <frecuencia final>}
```

3.1.1.3 Programación de Horario. Si se desea establecer un horario para remover la banda del grupo de espectro, se debe usar el comando **time delete band** en el modo de grupo de espectro, así:

```
Router (config-spcgrp:<WORD>)# time <hh:mm:ss> delete band {<frecuencia de inicio> <frecuencia final>}
```

Si se desea borrar un horario que previamente fue establecido para remover una banda de grupo de espectro, se utiliza el comando **no time delete band** en el modo de Grupo de Espectro, de la siguiente forma:

```
Router (config-spcgrp:<WORD>)# no time (<dia> <hh:mm:ss>) delete band {<frecuencia de inicio> <frecuencia final>}
```

3.1.2 Recolección de datos. La recolección de datos del espectro es utilizada para obtener una muestra de una porción del espectro ascendente o de su totalidad comprendido en una banda de 5MHz a 42MHz, la cual ayudará a determinar el mejor lugar dentro del espectro para configurar el salto de frecuencia y valores de banda. Adicionalmente es utilizado para realizar análisis y solución de problemas relacionados con el canal ascendente para casos donde no se tiene acceso a un Analizador de Espectro que permita observar los niveles de ruido e información referente a la señal.

La recolección de datos de espectro es una tarea que se divide entre el administrador de espectro y agente de espectro. El primero programa la recolección de datos con el segundo. Una vez el agente recolecta los datos, los envía al administrador el cual provee el almacenamiento para los mismos. Los parámetros de recolección de datos de espectro se pueden cambiar utilizando el comando **collect resolution** dentro del modo de grupo de espectro, permitiendo cambiar la tasa de resolución de frecuencia que maneja el administrador de espectro, la cual viene por defecto como 200000Hz, de la siguiente forma:

```
Router (config-spcgrp:<WORD>)# collect resolution <200000-4000000>
```

donde *WORD* es el nombre del grupo de espectro y 200000-4000000 es la resolución en Hz.

El intervalo de recolección se puede cambiar utilizando el comando **collect interval** en el modo de grupo de espectro, permitiendo configurar la tasa de intervalo con la cual el administrador de espectro recolecta los datos mientras escanea el mapa de espectro desde 5MHz a 42MHz. El intervalo por defecto de recolección es 0, indicando que no se ha definido ningún intervalo.

A continuación se muestra la sintaxis,

```
Router (config-spcgrp:<WORD>)# collect interval <60-65535>
```

donde *WORD* es el nombre del grupo de espectro y 60-65535 es el intervalo de tiempo expresado en segundos.

La recolección de datos de espectro para un canal ascendente se llevará a cabo siempre y cuando se haya configurado el intervalo correcto de recolección para el grupo de espectro y éste último sea aplicado a un puerto Upstream. Si se desea deshabilitar el intervalo de recolección, se puede utilizar el comando ***no collect interval***. Para deshabilitar la resolución de frecuencia se utiliza el comando ***no collect resolution***.

3.1.3 Reglas de salto. Las reglas de salto deben ser definidas previamente al uso de esta función y permiten al administrador de espectro encontrar la mejor forma de combatir problemas de ruido en un puerto ascendente. Éstas son un conjunto de instrucciones que permiten programar cambio de frecuencia, perfil de modulación, parámetros de ancho del canal y ajustes de potencia. Si no se ha definido ninguna regla, no se tomará ninguna acción.

Las reglas de salto pueden ser asignadas con diferentes prioridades y aplicadas según el nivel de prioridad. Para reglas con el mismo nivel de prioridad, serán aplicadas según el orden en que se ingresaron. Adicionalmente, múltiples reglas pueden ser asignadas al mismo tipo de acción.

3.1.3.1 Período de Salto. La frecuencia con que ocurren los saltos puede configurarse con el objeto de prevenir saltos excesivos. El período de salto por defecto es de 300 segundos. Para realizar el cambio de período se utiliza el

comando **hop period** dentro del modo de configuración del grupo de espectro, así:

```
Router (config-spcgrp:<WORD>)# hop period <num: 30-3600>
```

donde *WORD* es el nombre del grupo de espectro y *num: 30-3600* es el período donde se lleva a cabo el salto de frecuencia expresado en segundos.

3.1.3.2 Selección de frecuencia. Con el comando **hop action frequency** dentro del modo de configuración del grupo de espectro, es posible determinar el salto de frecuencia para frecuencias centrales discretas o bandas de frecuencia, de la siguiente forma:

```
Router (config-spcgrp:<WORD>)# hop action frequency <center frequency> [priority <1-255>]
```

donde *WORD* es el nombre del grupo de espectro, *center frequency* es la frecuencia del canal ascendente de 5000000 a 42000000 Hz, *1-255* es el número de prioridad de la acción de salto.

Si no se asigna ningún número de prioridad, se tomará por defecto la 128.

3.1.3.3 Perfil de modulación. La configuración del perfil de modulación para una acción de salto, se realiza mediante el comando **hop action modulation-profile** dentro del modo de configuración del grupo de espectro, así:

```
Router (config-spcgrp:<WORD>)# hop action modulation-profile {<1-16>} [priority {<1-255>}]
```

donde *WORD* es el nombre del grupo de espectro, *1-16* es el número de perfil de modulación, *1-255* es el número de prioridad de la acción de salto.

Los perfiles de modulación por defecto son el 1 y 2.⁹

3.1.3.4 Ancho del canal. El ancho del canal ascendente puede programarse para una acción de salto, con el comando **hop action channel-width**, así:

```
Router (config-spcgrp:<WORD>)# hop action channel-width [1600000 | 2000000 | 3200000 |  
400000 | 800000] [priority <1-255>]
```

Donde se puede seleccionar el ancho de banda en MHz que será asignado al canal ascendente y <1-255> es el número de prioridad de la banda ascendente.

3.1.3.5 Banda de frecuencia y Nivel de Potencia. El orden de búsqueda para cada banda de frecuencia durante el salto es determinado con el uso del comando **hop action band** en el modo de configuración de grupo de espectro, así:

```
Router (config-spcgrp:<WORD>)# hop action band {<frecuencia de inicio> <frecuencia final>}  
[priority <1-255>]
```

Donde la frecuencia de inicio es la frecuencia donde comienza el canal ascendente desde 5000000 a 42000000 Hertz y la frecuencia final es donde termina el canal ascendente desde 5000000 a 42000000 Hertz, y <1-255> es el número de prioridad de la banda ascendente.

El salto de nivel de potencia es determinado con el uso del comando **hop action power-level** en el modo de configuración de grupo de espectro, así:

```
Router (config-spcgrp:<WORD>)# hop action power-level {<200-3200> | default <-150 -  
+150>} [priority <1-255>]
```

⁹ Véase el numeral 3.4.1

Donde <200-3200> es el ancho del canal, *default* <-150 - +150> es el número de dB sobre o por debajo del nivel de potencia por defecto, y <1-255> es el número de prioridad de la banda ascendente.

En la Tabla 6 se puede observar al Rango de Potencia de entrada para el Canal de Upstream.

Frecuencia (kHz)	Nivel de Potencia (dBmV)	Nivel de Potencia por Defecto (dBmV)
200	-16 a +14	-1
400	-13 a +17	+2
800	-10 a +20	+5
1600	-7 a +23	+8
3200	-4 a +26	+11

Tabla 6. Parámetros de Rango de Niveles de Potencia de Entrada Canal Ascendente

3.1.4 Configuración de Umbral de Error. La tasa de umbral de error (*error threshold*) es determinada por el FEC (Forward Error Correction), el cual es un tipo de mecanismo de corrección de errores que permite la corrección en el lado del receptor sin necesidad de retransmitir la información original. Este mecanismo es muy comúnmente utilizado en sistemas en tiempo real o sin retorno, donde no es posible esperar la retransmisión para mostrar los datos. El FEC consiste en una adición de bits de redundancia al mensaje original, donde la fuente digital envía la secuencia de datos al codificador, encargado de añadir dichos bits de redundancia. A la salida del codificador obtenemos la palabra código, la cual es enviada al receptor y éste, mediante el decodificador adecuado y aplicando los algoritmos de corrección de errores, obtendrá la secuencia de datos original.

Una de las principales ventajas de Forward Error Correction es que reduce el número de transmisiones de errores. Adicionalmente aumenta la efectividad de los sistemas de comunicación evitando la necesidad del reenvío de los mensajes dañados durante la transmisión y reduce los requisitos de potencia de los mismos.

El Umbral de error para un salto de frecuencia es configurado como un criterio para aplicar las reglas de salto en instantes donde ocurre una tasa de error inaceptable, la cual es causada posiblemente por una calidad de señal muy pobre. Si el umbral de tasa de error es configurado, el administrador de espectro indaga sobre la tabla de calidad de señal de los canales miembros con el objeto de computar la tasa de error durante el intervalo de consulta. Si la tasa de error excede el valor de umbral, se lleva a cabo el salto de espectro para el canal afectado.

El comando ***hop threshold error*** es utilizado en el modo de configuración de grupo de espectro para ajustar la tasa de umbral de error y prevenir saltos de frecuencia innecesarios cuando se genera un mínimo número de errores, así:

```
Router (config-spcgrp:<WORD>)# hop threshold error {<num: 1-1000>}
```

Donde *num:1-1000* es el porcentaje de errores de threshold que pueden generarse antes de llevarse a cabo el salto. La tasa de error es una fracción de 1000, es decir, una tasa de error de 1 implicaría el 0.1% y una tasa de error de 1000 implicaría el 100%.

3.1.5 Flap Threshold. El Flap Threshold es una característica que representa el umbral en el cual se deberá aplicar reglas de salto en instantes donde uno ó un número pequeño de cable módems pierdan conectividad con el CMTS. Al configurar el umbral, el administrador de espectro escaneará de forma periódica la tabla de flap-list de los canales para computar la tasa de caídas durante el intervalo de escaneo. Si esta tasa excede el umbral, se aplicará un salto a un canal diferente.

El umbral de salto de frecuencia es activado con un valor de cero 0% por defecto, para prevenir una acción de salto innecesaria. Casos tales como la desconexión del cable descendente o cambio de frecuencia descendente, causarían el salto de todos los cable módems.

Para establecer el umbral se utiliza el comando **hop threshold flap** en el modo de configuración de grupo de espectro, para realizar el salto cuando un número de cable módems mayor al especificado pierde conectividad, así:

```
Router (config-spcgrp:<WORD>)# hop threshold flap {<num: 1-100>}
```

Donde *num:1-100* es el porcentaje de cable módems de 1 a 100 que pierden conexión en la red.

Si ya se ha establecido un porcentaje diferente de cero y se necesita efectuar alguna acción que causara un salto de módems, se puede desactivar el umbral con el comando **no hop threshold flap** de la siguiente forma:

```
Router (config-spcgrp:<WORD>)# no hop threshold flap {<num: 1-100>}
```

3.1.6 Funciones Roll-back y Guard-band. La función Roll-back dentro del CMTS es utilizada para retornar a la configuración inicial antes de haberse efectuado un cambio de perfil de modulación o ancho de banda del canal ascendente, en el momento en que las condiciones del canal mejoren.

Para ello se utiliza el comando **hop action rollback** en el modo de configuración del grupo de espectro, así:

```
Router (config-spcgrp:<WORD>)# hop action rollback
```

Para desactivar la función de Roll-back se utiliza el comando **no hop action rollback**.

El comando **guard-band** permite configurar el espaciamiento o separación mínima de espectro entre los canales ascendentes dentro del mismo grupo de espectro. Este espaciamiento por defecto es de 0Hz. Para ello se utiliza el comando en el modo de configuración del grupo de espectro, tal como se muestra a continuación.

```
Router (config-spcgrp:<WORD>)# guard-band <0-37000000>
```

Donde *0-37000000* es la separación de las bandas expresada en Hz, para el esquema DOCSIS.

3.1.7 Aplicación de un grupo de espectro. Cuando un grupo de espectro es aplicado a un puerto ascendente, el puerto pertenece al grupo de espectro. Puesto que el administrador de espectro no esta al tanto de la topología física

de la planta de cable, es preciso que el grupo de espectro sea aplicado a todos los puertos ascendentes que comparten la misma frecuencia a nivel físico.

- Para aplicar un grupo de espectro a un puerto ascendente, se utiliza el comando ***cable upstream spectrum-group*** en el modo de configuración de Interfaz, así:

```
Router (config-if)# cable upstream <NUM> spectrum-group <WORD>
```

Donde *NUM* es el número de puerto de upstream y *WORD* es el nombre del grupo de espectro que se desea aplicar.

- Para verificar si el grupo de espectro asignado ha sido activado para el puerto ascendente, se utiliza el comando ***show cable spectrum-group*** en el modo de configuración de Interfaz, así:

```
Router (config-if)# show cable spectrum-group [<WORD> | <cr>]
```

Donde *WORD* es el nombre del grupo de espectro aplicado y *cr* es un comando que muestra todos los grupos de espectro de la interfaz de cable.

Si se desea remover el grupo de espectro previamente aplicado se utiliza el comando ***no cable upstream spectrum-group***.

3.1.8 Revisión de Grupo de Espectro. Para observar el grupo de espectro que ha sido creado, se utiliza el comando ***show cable spectrum-group*** en el modo de configuración global, así:

```
Router (config)# show cable spectrum-group {<WORD> | <cr>}
```

Donde *cr* es un comando que muestra todos los grupos de espectro configurados.

La ubicación del mapa para el grupo de espectro creado, se puede ver mediante el comando ***show cable spectrum-group*** <WORD> ***map***. En la salida obtenida, se observará un mensaje en la columna de estado en el mapa, denominado SPEC_OCCUPIED, indicando que la sección del espectro está ocupada por el grupo de espectro del canal ascendente. Por otro lado, el mensaje SPEC_AVAILABLE indica que el espectro está libre para ser utilizado.

Si se desea observar el horario establecido para el grupo de espectro creado, se utiliza el comando ***show cable spectrum-group*** <WORD> ***schedule***; y la configuración del grupo de espectro se puede observar ingresando en modo privilegiado EXEC y a continuación el comando ***show running-config***.

Una vez el administrador de espectro ha realizado cambios a un puerto ascendente, la información de upstream se muestra ingresando a la interfaz de cable y luego utilizando el comando ***show cable upstream*** en el modo de configuración de Interfaz para mirar la frecuencia actual, amplitud del canal, modulación o nivel de potencia para un puerto ascendente, así:

```
Router (config)# interface cable <X/Y>
```

```
Router (config-if)# show cable upstream <NUM>
```

Donde *NUM* es el número de puerto de upstream.

En el resultado mostrado se podrá observar también el MIB Index ID number, el cual es un número de identificación asociado a un puerto ascendente en un módulo DOCSIS. Este número se debe tener en cuenta puesto que la salida de

los comandos ***debug specmgr*** y ***logging console notifications*** muestra este dato como única identificación del canal o puerto correspondiente.

Por otro lado, la información referente a la calidad de señal de error y tasa de señal-a-ruido es posible observarla gracias al comando ***show interfaces cable upstream signal-quality*** , como se muestra a continuación:

```
Router# show interfaces cable <X/Y> upstream <NUM> signal-quality.
```

3.1.9 Administrador de Espectro. El monitoreo de la actividad del manejo de espectro cuando una variable, tal como la frecuencia, ancho de canal, perfil de modulación o nivel de potencia, se cambia en forma manual o mediante el administrador de espectro, se lleva a cabo mediante el comando ***logging console notifications*** en el modo de configuración Global permitiendo que se muestre un mensaje de notificación.

El monitoreo de los puertos ascendentes activos se lleva a cabo mediante el comando ***debug specmgr***, cuya salida describe lo que puede ocurrir cuando una acción de salto es llevada a cabo. Si este comando es utilizado en modo Privilegiado EXEC, permite monitorear uno o más puertos activos. Para ello se debe revisar el criterio de reglas de acción de salto, de forma que se pueda entender claramente la respuesta mostrada en estos comandos.

3.2 ACTUALIZACION DE FIRMWARE DE CABLE MODEM

El firmware es un bloque de instrucciones de programa para propósitos específicos que establece la lógica de más bajo nivel que controla los circuitos electrónicos de un dispositivo de cualquier tipo.

Estas instrucciones, también conocidas como Programación en Firme, están grabadas en una memoria tipo ROM, y al estar integrado en la electrónica del dispositivo es hardware y software, ya que proporciona lógica y se dispone en algún tipo de lenguaje de programación.

El firmware es la interfaz entre las órdenes externas que recibe el dispositivo y su electrónica, y se encarga de controlar esta última para ejecutar las órdenes externas correctamente.

3.2.1 Pasos para actualización.

El firmware de un dispositivo como el cable módem se puede actualizar según las versiones recientes que salgan al mercado, con el objeto de promover la corrección de errores que puedan presentar las versiones de firmware anteriores. Antes de llevar a cabo la actualización se debe cerciorar que solo esté conectado el cable necesario para efectuar la actualización, ya que el manejo de mucho tráfico de red podría corromper el firmware durante el proceso.

Este procedimiento se va a llevar a cabo a través de un software denominado Cable Plant Monitoring (CPM), de Promptlink Communications, el cual es una

herramienta de administración de dispositivos de red que trabaja sobre la plataforma Java dentro de una red DOCSIS. CPM ofrece múltiples soluciones que permiten presentar de manera eficiente y flexible la infraestructura de la red y monitorear sus dispositivos. Las características más importantes comprenden el almacenamiento de múltiples datos en una base de datos, monitoreo de CMTSs, cable módems, y otros dispositivos mediante el uso del protocolo SNMP, permitiendo guardar estadísticas de los parámetros monitoreados, y ejecutar procedimientos de administración de red tales como borrar los logs del cable módem, configurar algunos parámetros de los mismos, maneja también una tarea de ping que provee la habilidad de rastrear qué tan robusta es la red DOCSIS programando ping constante a los cable módem y almacenando las estadísticas en su base de datos. Finalmente permite la actualización de firmware para los cable módem, procedimiento que puede ser aplicado para un equipo de forma individual o varios simultáneamente. Este proceso puede ejecutarse como una tarea instantánea o programada previamente por el operador y permite modificar sus características.

En la Figura 15 se observa el cliente CPM donde está seleccionada la pestaña principal, que mostrará los equipos (CMTS, routers, Switches) que el operador desee cargar.



Figura 15. Vista inicial del CPM

Los pasos a seguir para llevar a cabo una actualización satisfactoria son los siguientes:

1. Determinar la marca y modelo del dispositivo. Dentro del proceso de actualización de firmware, es posible que una ISP maneje varios modelos de cable módem, por lo cual se deberá determinar el modelo al cual se desea aplicar la actualización. Estas actualizaciones son conocidas dentro de la comunidad gracias a los Release Notes, que son publicaciones que saca el proveedor indicando las mejoras, nuevas características y cambios que contiene el nuevo firmware respecto al anterior.
2. Descargar el firmware. Una vez identificado el modelo del equipo, se debe obtener el nuevo firmware. Se recomienda en lo posible descargarlo de la página Web del fabricante directamente.
3. Administrar el firmware. Luego de haber sido descargado en el directorio raíz para evitar conflictos, se debe colocar el archivo en el servidor donde se

esta corriendo el CPM. Este archivo se sube mediante el protocolo TFTP permitiendo una relación cliente-servidor según el siguiente esquema:

- El equipo que inicia la comunicación, envía un paquete de petición de lectura RRQ (*read request*) o petición de escritura WRQ (*write request*) al servidor, con el nombre del archivo y el modo de transferencia.
- El servidor le envía una confirmación ACK al cliente, indicando el puerto donde deberá enviar el resto de paquetes.
- El cliente envía paquetes de datos al servidor, numerados y de 512 bytes de datos, excepto el último y el servidor responde con paquetes de confirmación numerados para los paquetes de datos.
- El último paquete deberá contener menos de 512 bytes con el fin de indicar que es el último. De ser igual a este valor, enviará un paquete de 0 bytes para indicar que es el último.

4. Una vez el firmware se ha subido al servidor, se procederá a realizar la actualización en el CPM, realizando una búsqueda del equipo o equipos a los cuales se desee actualizar el firmware. Inicialmente se debe cargar el equipo que administra los cable módem, en este caso el CMTS, seleccionándolo en el recuadro que aparece en el lado derecho y a continuación haciendo clic en la flecha que indica que se adicionará al lado izquierdo. Luego se debe seleccionar la opción "Load" como se muestra en la Figura 16:

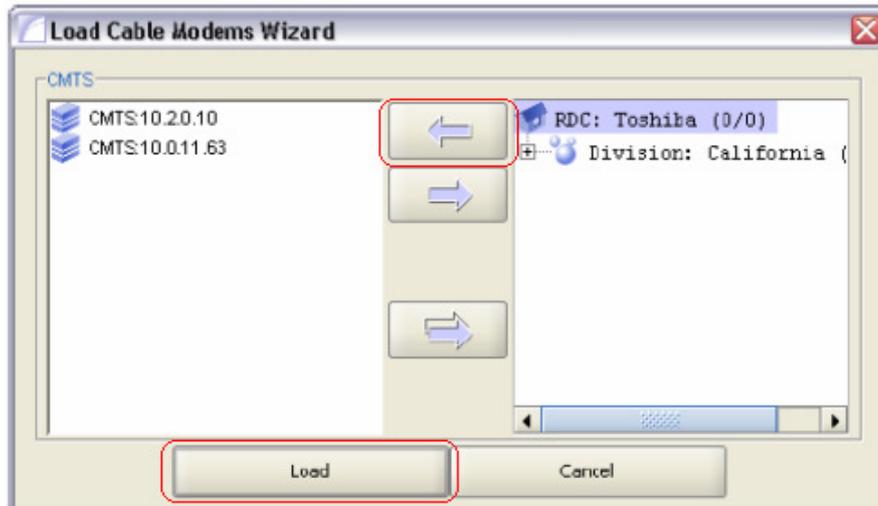


Figura 16. Cómo cargar un CMTS en el CPM

Luego en la vista inicial se desplegará un árbol con el listado de equipos que han sido previamente cargados, donde se deberán seleccionar los cable módems a los cuales se desea realizar la actualización, como se muestra en la siguiente figura:

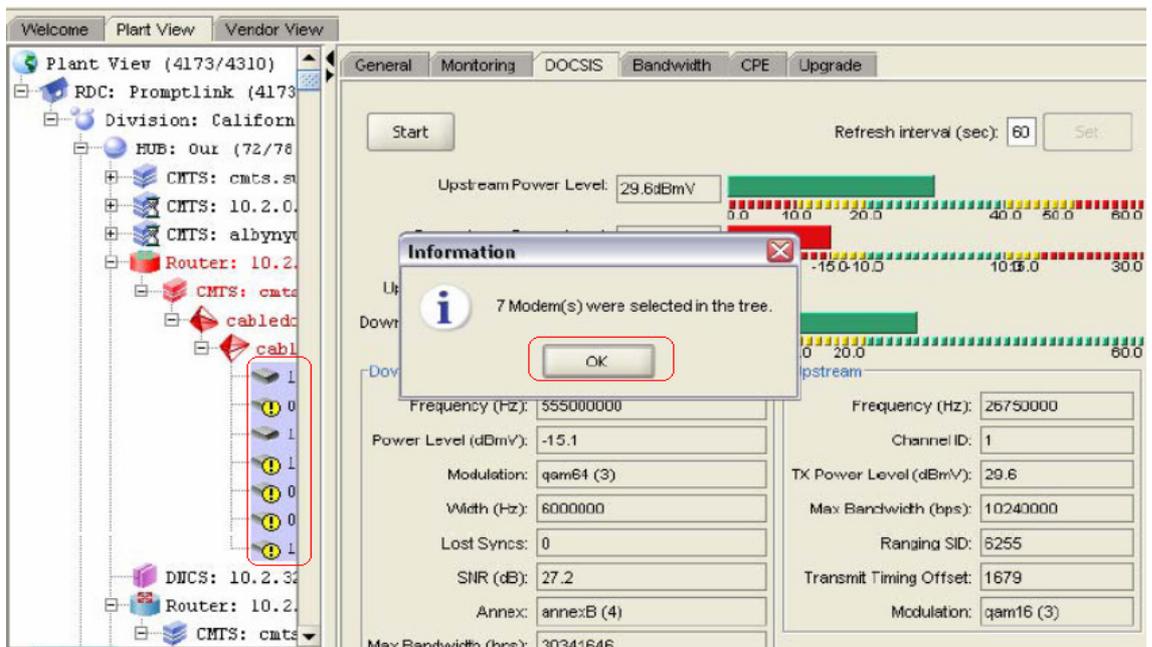


Figura 17. Selección de cable módems para actualización de firmware

Finalmente se selecciona la opción Upgrade Firmware para el cable módems o grupo de cable módems seleccionados, tal como se indica en la Figura 18:

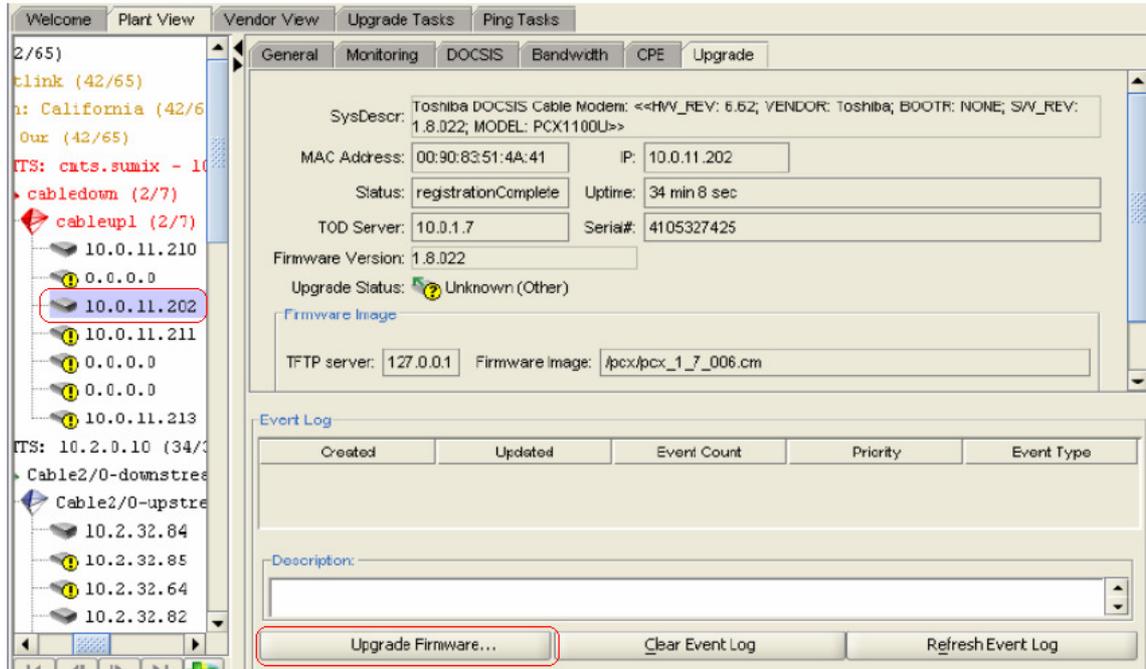


Figura 18. Actualización de firmware y verificación de status

5. Finalmente se deben reiniciar los equipos que han sido actualizados y verificar que hayan adquirido las nuevas características.

Una vez terminada la actualización se debe realizar lo siguiente:

- Utilizar la herramienta SNMP para hacer una búsqueda de información en el cable módem:

snmpwalk .1.3.6.1.2.1.69.1.3.5 - permite saber que versión de firmware está operando en el dispositivo, en este caso el cable módem. Este objeto deberá ser en la sintaxis utilizada por el vendedor individual para identificar las versiones de software. Cualquier cable módem debe responder una cadena

descriptiva del software actual cargado. Para un CMTS este objeto deberá contener una representación legible de la designación del software para el chasis o el software para el procesador de control. Si no aplica ninguna de estas, deberá contener una cadena vacía.

snmpwalk .1.3.6.1.2.1.69.1.3.4 - se utiliza cuando el cable módem está en progreso de actualización y se interpreta de la siguiente forma:

1) En progreso: indica que una descarga TFTP está siendo llevada a cabo, como resultado de no coincidencia de versiones en el aprovisionamiento o una petición de actualización.

2) Completo Aprovisionamiento: indica que la última actualización de software es el resultado de no coincidencia de versiones en el aprovisionamiento.

3) Completo de Administrador: indica que la última actualización de software es el resultado de configurar el Estado de Administración de Firmware de Dispositivo DOCSIS *docsDevSwadminStatus* a Actualizado desde Administrador *UpgradeFromMgt*.

4) Falla: indica que el último intento de descarga ha fallado debido a tiempo de espera agotado para la solicitud TFTP.

3.3 AUTORIZACION DE HOST

La seguridad en un sistema de cómputo conectado a una red está determinada por más factores que en una máquina aislada, ya que la máquina aislada al no estar conectada a ninguna red, estará segura de que ningún usuario tratará de entrar a ésta y no habrá problema con respecto al envío de información, ni la necesidad de utilizar códigos de cifrado y descifrado ya que no se envían mensajes por un canal inseguro. Sin embargo sí tendrá problemas con usuarios que tengan acceso físico al computador ya que se corre el riesgo de que accedan a los archivos o documentos.

Por otro lado un sistema de cómputo conectado a una red, corre todos los riesgos antes mencionados, puesto que no sólo pueden tener acceso a las máquinas de manera física, sino también ingresando por la red. La seguridad requerida por esta máquina será entonces más compleja y determinada por más factores que en una máquina aislada.

Existen varios servicios que pueden proporcionar un grado de seguridad dentro de una red, tales como los servicios de confidencialidad, autenticidad y firma digital, los cuales proporcionan un medio de transmisión seguro de la información tanto local (dentro de la compañía) como globalmente (en el exterior de ésta). Son una protección frente a los abusos externos e internos, desde los piratas informáticos (hackers) y otros intrusos hasta los empleados que acceden a la información sin autorización. Tienen aplicaciones como:

mensajes con autenticidad asegurada, contratos comerciales electrónicos, transacciones comerciales electrónicas, dinero electrónico, entre otros.

La confidencialidad garantiza que las personas que acceden a la información son quienes dicen ser y que están autorizados a acceder a ella. Es fundamental en lo relativo al cumplimiento de la legislación sobre protección de datos y otras normativas. La autenticación por otro lado, es un proceso por el cual el usuario se identifica de forma unívoca. El servicio de autenticación de red proporciona interfaces de programas de aplicación para verificar la identidad de un usuario en una red, ayudando a saber el autor o emisor de la información.

El sistema de Host Authorization (autorización de cliente) se basa en el concepto de autenticación, y es una característica de seguridad dentro de la red de cable. Cuando se habilita la autorización de cliente, se niega el acceso a cualquier atacante que trate de entrar o suplantar una dirección IP de un usuario legítimo en la misma red de cable, evitando que sean robados los datos del servicio y que el atacante cambie la dirección IP en su computadora a la dirección IP que asignaría el servidor DHCP a un usuario legítimo.

3.3.1 Configuración Básica. Para habilitar la opción de Autorización de cliente, se deben seguir los siguientes pasos dentro de la configuración del CMTS:

Usar el comando **host authorization on** en el modo de configuración de la Interfaz deseada para forzar el lazo del cable modem y la MAC de CPE (terminal de usuario) a la dirección IP asignada a cada uno de ellos ya sea dinámica o estáticamente, como se muestra a continuación:

```
Router(config-if)# host authorization on
```

Si se desea deshabilitar la autorización de host en la Interfaz de cable especificada, se utiliza el comando **no host authorization on**.

Para observar la información sobre autorización de host, se pueden usar las siguientes opciones del comando **show** en todos los modos excepto UserEXEC:

- **show host authorization summary:** muestra un sumario de información de la tabla de autorización ARP.
- **show host authorization cpe leased:** muestra el tipo, dirección IP de host y dirección MAC de host de una entrada dinámica en la tabla de autorización ARP.
- **show host authorization:** muestra todas las entradas para un módulo de CMTS en la tabla de autorización ARP.

3.3.2 Entradas Estáticas. Es posible crear entradas estáticas para evitar el robo de servicio a los usuarios por parte de piratas informáticos. A través de entradas estáticas, los operadores pueden forzar el lazo entre la dirección MAC (hardware) del CPE y dirección IP para un cable módem en particular. Este

comando deberá usarse en circunstancias donde el DHCP no es utilizado para asignar una dirección IP de CPE. Para configurar y verificar una autorización de host estática, se debe implementar lo siguiente:

1. Usar el comando **host authorization cpe** en el modo de configuración de la Interfaz deseada para crear una entrada estática para un cable módem y CPE específicos, como se muestra a continuación:

```
Router(config-if)# host authorization {<mac> cpe <mac><prefix>}
```

Donde *mac* es la dirección MAC del cable modem, *mac* es la dirección MAC del CPE y *prefix* es la dirección IP de CPE.

2. Usar el comando **host authorization cpr** en el modo de configuración de la Interfaz deseada para crear una entrada estática para un cable módem y CPR (Router de Premisas de Usuario) específicos, como se muestra a continuación:

```
Router(config-if)# host authorization {<mac> cpr <mac><prefix>}
```

Donde *mac* es la dirección MAC del cable modem, *mac* es la dirección MAC del CPR y *prefix* es la dirección IP de CPR.

3. Usar el comando **show host authorization cpe static** en el modo de configuración privilegiado para mostrar las entradas estáticas e información de petición de asignación DHCP para CPEs únicamente, como se muestra a continuación:

```
Router# show host authorization cpe static
```

Para borrar la entrada creada de Autorización de Host se utiliza el siguiente comando:

```
Router# no host authorization <mac> cpe <mac><prefix>
```

Donde *mac* es la dirección MAC del cable modem, *mac* es la dirección MAC del CPE y *prefix* es la dirección IP de CPE.

3.3.3 Autorización para un rango de direcciones IP. Los CPEs se pueden agregar automáticamente a la red en lugar de agregar CPEs estáticos individuales en una interfaz de cable específica. Para ello se debe especificar un rango de direcciones IP incluyendo el inicio y finalización, mediante el comando **cable host authorization range** en el modo de configuración global, que estarán permitidas a ser adicionadas a la tabla de autorización de host (Tabla de direcciones IP estáticas). Cualquier dirección IP de CPE dentro del rango especificado se adiciona a la tabla de autorización de host cuando un CPE ingresa a la red.

```
Router (config)# cable host authorization range {<prefix> <prefix>}
```

Donde *prefix* es el inicio del rango de direcciones IP y *prefix* es el fin del rango de direcciones IP.

3.4 CAMBIO DE MODULACIÓN EN CANAL ASCENDENTE

La modulación comprende el conjunto de técnicas para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una onda senoidal, en el campo de las telecomunicaciones, las cuales permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación posibilitando el transporte de mayor información en forma simultánea.

Respecto al CMTS, un perfil de modulación es una colección de hasta ocho perfiles que son enviados en un mensaje UCD (Upstream Channel Descriptor) para configurar los parámetros de transmisión del cable módem para tráfico ascendente. Cada tipo de transmisión recibe un nombre denominado Código de Uso de Intervalo (IUC), los cuales son usados para asignar time slots ascendentes.

No es recomendable modificar los parámetros de perfiles de modulación si no se tiene el entendimiento adecuado de los cambios de modulación y especificaciones DOCSIS de interfaces, puesto que los parámetros de perfiles de modulación afectan la capa física y podrían causar interrupción o degradación del servicio.

El esquema numérico de perfiles de modulación soportado por el BSR64000 se ha incrementado de 16 a 600 y existen 23 perfiles de modulación por defecto asignados a los tipos de canales TDMA (1-4), MTDMA (101-116), ATDMA (201-205) y SCDMA (301-310) .

3.4.1 Perfiles de Modulación.

Para aplicar un perfil de modulación a un puerto de upstream se utiliza el comando ***cable upstream <NUM> modulation-profile*** en el modo de configuración de la Interfaz deseada, como se muestra a continuación:

```
Router(config-if)# cable upstream <NUM> modulation-profile <1-600>
```

Donde *NUM* es el número de puerto de upstream y 1-600 es el número de perfil de modulación.

Para observar los perfiles de modulación se utilizan los siguientes comandos:

- **show cable modulation profile:** muestra todos los perfiles de modulación existentes y permite también observar un perfil en particular.

Router # **show cable modulation-profile**

Router # **show cable modulation-profile** <1-600>

Donde <1-600> es el número de perfil de modulación

- **show cable modulation-profile brief:** muestra información sobre los perfiles de modulación configurados tal como los perfiles predefinidos, predefinidos y modificados por el usuario o únicamente configurados por el usuario.

Router # **show cable modulation-profile brief**

- **show cable upstream:** en el modo de configuración de la interfaz de cable, este comando permite determinar cual perfil de modulación se ha aplicado a un puerto ascendente específico.

Router (config-if) # **show cable upstream** {<NUM> | <X/Y>}

Donde <NUM> es el número de puerto ascendente y <X/Y> es el número de puerto ascendente y número de canal lógico

Los perfiles de modulación para el canal ascendente más comunes comprenden los perfiles 1 y 2¹⁰, que se muestran a continuación:

¹⁰ Véase Anexo B

Perfil de Modulación 1.

Modulation	qpsk	qpsk	qpsk	16qam	16qam
Diff Encoding	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
Preamble Len	64	128	128	144	160
FEC Err CRC	0	5	5	5	10
FEC CW Len	16	34	34	78	235
Scrambler Seed	338	338	338	338	338
Max Burst	2	0	0	8	0
Guard Time	8	48	48	8	8
Last Codeword	FIXED	FIXED	FIXED	SHORT	SHORT
Scrambler	ON	ON	ON	ON	ON
TCM Encoding	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
Channel Type	tdma	tdma	tdma	tdma	tdma

Tabla 7. Perfil de modulación 1

Perfil de Modulación 2.

Modulation	qpsk	qpsk	qpsk	qpsk	qpsk
Diff Encoding	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
Preamble Len	64	128	128	72	80
FEC Err CRC	0	5	5	5	8
FEC SW Len	16	34	34	78	220
Scrambler Seed	338	338	338	338	338
Max Burst	2	0	0	12	0
Guard Time	8	48	48	8	8
Last Codeword	FIXED	FIXED	FIXED	SHORT	SHORT
Scrambler	ON	ON	ON	ON	ON
TCM Encoding	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
Channel Type	tdma	tdma	tdma	tdma	tdma

Tabla 8. Perfil de modulación 2

Los parámetros que se muestran en las tablas 7 y 8 representan lo siguiente:

- Diff Encoding: Codificación diferencial, es una codificación en la cual las condiciones de señal significativas representan datos binarios, como "0" y "1", y son representadas como cambios a valores exitosos con respecto a una referencia dada. Se recomienda siempre usar No Diff Encoding.

- Preamble Len: este parámetro es enviado en el mensaje de Parámetro de Acceso y coloca la longitud (en tramas) del preámbulo de acceso en bits. Usualmente para QAM-16 la longitud del preámbulo es el doble respecto a QPSK. Es utilizado para definir una cadena de sincronización de símbolos de modulación, que permite al receptor encontrar la fase y tiempo de la ráfaga transmitida.

- FEC Len: especifica el número de bytes de información (Kbytes) por palabra de código de FEC. Los valores válidos van de 16 a 253 bytes.

- Scrambler: Demodulador, puede configurarse como habilitado o deshabilitado. Este es usado para crear una secuencia de transmisión de símbolos semi-aleatoria que asegura una distribución de energía espectral par que es transmitida en el canal.

- Scrambler seed: es un valor inicial usado para iniciar demodular los bits de forma pseudo-aleatoria. Por ser este valor conocido por el transmisor y receptor, la demodulación puede reversarse en el receptor para dejar únicamente el dato original. Su formato es Hexadecimal y los valores válidos van de 0x0000 a 0x7FFF.

- Max. Burst: se utiliza para determinar el punto de ruptura entre paquetes que utilizan el perfil de concesión de ráfaga de datos cortos y largos. Si el tiempo de upstream requerido para transmitir un paquete es mayor a este valor, se

utiliza el perfil de datos largo. Si es menor o igual, se utiliza el perfil de datos corto.

- Guard Time: es el tiempo entre ráfagas sucesivas, es decir, el tiempo luego de una transmisión para asegurar su terminación antes que empiece una nueva. Se da en símbolos y los valores válidos van de 0 a 255 símbolos.

- Last Codeword: es la forma cómo se maneja el FEC para la última palabra del código. Las opciones válidas incluyen FIXED y SHORT.

3.5 MONITOREO MEDIANTE FLAP LIST

El Flap List es una herramienta que permite diagnosticar problemas potenciales con un cable módem en particular o una interfaz de cable. Esta lista busca los cable módem que tienen problemas de intermitencia de conectividad. Un salto excesivo puede indicar problemas con un cable módem en particular o un problema de ruido RF con la porción ascendente o descendente de la planta de cable. Esta característica permite monitorear el registro normal y actividad de mantenimiento dentro de una red DOCSIS, y permitiendo la recolección de datos sin generación de paquetes adicionales que produzcan un impacto en la red.

Algunas situaciones que se tienen en cuenta para llevar a cabo esta tarea son:

Reinserciones: una reinserción ocurre cuando un cable módem se registra más frecuentemente que el tiempo de inserción especificado por el usuario. Esto podría indicar problemas con el canal descendente o que el cable módem se ha provisionado de forma inapropiada.

Aciertos y pérdidas: un acierto ocurre cuando un cable módem responde correctamente a los mensajes de mantenimiento de estación (mensajes de capa MAC). Por otro lado, la pérdida ocurre cuando el cable módem no responde a estos mensajes en un período de tiempo específico. Esto podría ser ocasionado por problemas en las trayectorias ascendente ó descendente u otro tipo de problema durante el proceso de registro.

Ajustes de potencia: si se presentan ajustes de potencias de forma repetitiva podría estar relacionado con un problema de amplificador en la trayectoria ascendente.

Con el fin de aplicar esta característica, se debe colocar un script que se corra cada cierto tiempo y haga una obtención del flap list. Es preciso examinar los datos obtenidos y realizar un análisis posterior con el objeto de identificar los cable módem que son consistentes en esta lista. De esta forma, mediante una relación de los cable módem y su ubicación, se podrá determinar si hay un problema en la red, o si los problemas están relacionados con ingreso de ruido o un equipo en particular. También es posible descartar un problema del ISP, sugiriendo que un usuario podría tener inconvenientes en sus equipos o conexiones locales.

3.5.1 Configuración de Flap List. Para configurar el Flap List se deben seguir los siguientes pasos dentro de la configuración del CMTS.

Usar el comando **cable flap-list insertion-time** *seconds* en el modo de configuración global para especificar el intervalo de tiempo de registro (inserción) en segundos. Si un cable módem se registra en un intervalo mayor a este período, es colocado en el Flap List. El rango válido va de 60 a 86400 segundos, siendo 180 el valor por defecto.

cable flap-list power-adjust threshold *db*: especifica el ajuste de potencia mínimo que constituye un evento en el Flap List. El rango válido va de 1 a 10 dB, siendo 2 el valor por defecto. Se recomienda tomar valores mayores de 3dB en caso de cambiar este parámetro.

cable flap-list miss-threshold *misses*: especifica el número de mensajes de mantenimiento de estación de la capa MAC que pueden perderse en sucesión antes que el CMTS coloque el cable módem en el flap list. El rango válido va de 1 a 12, siendo 6 el valor por defecto. Una alta tasa de pérdidas puede indicar problemas de planta como intermitencia en el upstream channel, truncamiento en la fibra o distorsión común.

cable flap-list aging *minutes* : especifica cuanto tiempo permanecerá la información de los cable módem en el flap List. El rango válido va de 1 a 86400 minutos, siendo 10080 el valor por defecto (1 semana).

cable flap-list size *number*: especifica el número máximo de cable módems que pueden permanecer en el flap list. El rango válido va de 1 a 8191 cable módems, siendo 100 el valor por defecto.

Para borrar uno o más cable módems del Flap List, o borrar los contadores para uno o más equipos mientras aún siguen en la lista, se utilizan los siguientes comandos:

clear cable flap-list {*mac-addr* | **all**} [**save-counters**] : borra uno o todos los cable módems del Flap List, si se coloca la opción *mac-addr* borra el cable módem con la MAC especificada, y si se coloca la opción **all** borra todos los cable módems del listado. La opción **save-counters** (opcional) preserva los contadores que se muestran con el comando **show cable flap-list**.

clear cable modem {*mac-addr* | *ip-addr* | [**cable interface**] {**all** | **oui string** | **reject**}} **counters** : lleva los contadores a cero para uno o más cable módems, así: con *mac-addr* resetea los contadores para el cable módem con la MAC especificada; con *ip-addr* resetea los contadores para el cable módem con la dirección IP especificada; con **cable interface** se resetean los contadores para todos los cable módems dentro de la interfaz especificada; con **all** se resetean los contadores para todos los cable módems; con **oui string** se resetean los contadores para los cable módems que concuerden con el OUI (Organization Unique Identifier) donde el parámetro string puede ser una cadena de tres bytes hexadecimales o un nombre de vendedor que ha sido definido con el comando **cable modem vendor**. Con **reject** se resetean los cable módems que se encuentren en estado Rechazado.

Para observar el contenido actual completo del Flap List, se utiliza el comando **show cable flap-list**. Si se desea observar el contenido según la interfaz de cable se utiliza el comando **show cable flap-list sort-interface** y si se desea observar el flap list para una interfaz de cable en particular o un puerto upstream en esa interfaz se utiliza el comando **show cable flap-list cable interface [upstream port]**.

3.5.2 Descripción de campos de comando.

- Mac Addr: Dirección MAC del Cable Módem (Identificación Física)
- CableIF: Tarjeta de Línea de Interfaz de cable para este cable módem.
- Ins: Número de veces en que un cable módem ingresa en la red. Este contador aumenta cuando el tiempo entre el establecimiento de enlace inicial y el reestablecimiento es menor que el umbral configurado.
- Aciertos y Fallas (*hits and misses*): Aciertos es el número de veces que el cable módem responde a mensajes de mantenimiento. La tasa mínima es de uno cada 30 segundos y puede indicar intermitencia en el canal ascendente, o distorsión común. Si el CMTS recibe respuesta del cable módem lo cuenta como un acierto, de lo contrario lo cuenta como una falla. Si el conteo de aciertos es menor que el de fallas, hay problemas con el registro, que podrían estar relacionados con intermitencia de upstream debido a posible ruido, distorsión de trayectoria común (Common-path), interferencia, muy poca o demasiada atenuación. Los cable módems que solo tienen fallas y ningún acierto se asumen como apagados. La transición de una falla a acierto se toma

como una condición de flap. El contador de flap se incrementará si hay un número de fallas por encima del umbral de fallas configurado previamente.

Si los contadores de aciertos y fallas son del mismo orden y magnitud, y el contador de CRC esta por debajo o inexistente, entonces el canal ascendente está experimentando ruido. Si el contador de fallas es mayor, entonces el cable módem podría experimentar distorsión común de trayectoria y se cae con frecuencia o no completa el proceso de registro.

- CRC: Número de errores de Chequeo de Redundancia Cíclica para este cable módem. Estos indican usualmente interrupción de señal descendente o interferencia de ruido, incluyendo componentes desgastados.

- P-Adj: Número de veces que la cabecera instruye al cable módem para ajustar su potencia de transmisión más de 3dB. Esto puede indicar degradación de amplificador, conexiones pobres o sensibilidad térmica y es típicamente un indicador de estabilidad de la planta.

- Flap: Número total de veces que un módem ha flapeado, que es la suma de ajustes de potencia y valores de inserción, y aumenta cada vez que un evento es detectado.

- Time: es el tiempo más reciente en que el módem ha perdido la conexión. El valor es basado en el reloj configurado en el CMTS.

3.5.3 Análisis de resultados. Al obtener el listado, los cable módem con mayor actividad en el flap list, deben ser enfocados pues son los más propensos a indicar problemas persistentes en la planta o equipos que seguirán interrumpiendo la comunicación correcta con la cabecera. Según los resultados se puede interpretar:

- Los módem con más de 50 ajustes de nivel de potencia por día pueden tener problemas con la trayectoria ascendente. Un alto nivel de ajuste de potencia y errores CRC puede indicar que el nodo de fibra presenta inconvenientes. Si los cable módem con mayor contador CRC no se van a un estado de apagado (Ins=0) es posible que los suscriptores no lo noten, pero el servicio se verá afectado por la pérdida de paquetes en el canal ascendente. Por otro lado si el contador es relativamente alto, es posible que el umbral de ajuste de potencia esté configurado por defecto. Un umbral de 2 a 3dB puede ser usado dentro de una red HDC con cascadas cortas de amplificadores.

- Si se presenta gran número de módems incrementando la inserción en la misma hora, puede indicar un problema con los servidores de aprovisionamiento. Si un enlace se restablece frecuentemente, el módem presentara problemas de registro viéndose reflejado en un alto contador de inserciones.

- Los módem que están ubicados en el mismo puerto de upstream con características de flap list semejantes, podrían estar ligados a un problema de red dentro de un nodo en particular o sitio específico.

- Si los contadores de aciertos y fallas son aproximadamente del mismo orden de magnitud, el canal ascendente puede estar experimentando ruido. Si el número de fallas es mayor, el módem puede estarse saliendo frecuentemente sin completar el proceso de registro.

Por todo esto se puede decir que el Flap List es una manera proactiva de administrar y resolver problemas dentro de la red HFC, incluyendo las opciones de proveer tanto en tiempo real como un histórico de las estadísticas de la red para aislar los problemas y hacer un posible diagnóstico rápido, determinando como diferenciar entre problemas en el canal de upstream y downstream, problemas de ruido o con un equipo en particular, problemas con un amplificador o línea determinada.

CONCLUSIONES

Mediante los procesos de optimización para el transporte de Internet sobre el protocolo DOCSIS en la red HFC, el equipo de investigadores propone mejoras de fácil implementación que permitirán el aprovechamiento de los recursos actuales de Costavision S.A. que se verán reflejados en disminución de costos y ofrecimiento de un mejor servicio para los usuarios corporativos y residenciales, a través de las configuraciones planteadas para el equipo Motorola BSR64000. Es importante tener en cuenta estos aspectos si la red está creciendo constantemente y se desean ofrecer servicios diferenciados de voz, datos y multimedia aplicando políticas de Calidad de Servicio que permitan mantener un alto nivel de funcionamiento.

Con respecto al manejo de Espectro, se pudo observar cómo aprovechar las características del BSR64000 para cambiar ciertos parámetros de los canales ascendentes en el momento de presentarse algún tipo de inconveniente en el mismo, tal como el ruido que es muy común dentro de este tipo de redes. De esta forma se gana tiempo dando una solución temporal a los usuarios mientras se busca y arregla dicho inconveniente. La actualización del firmware por su parte es una estrategia que permite ganar características de los equipos que incluyen mejoras y nuevas posibilidades sin necesidad de adquirir un nuevo dispositivo.

Estar al día con las últimas actualizaciones de firmware de los equipos es un requisito para ofrecer un óptimo servicio y explotar al máximo estas propiedades y permitirá disminuir fallas en los mismos que a simple vista se podría pensar que no están relacionadas con éstos.

Al diseñar estos procedimientos tuvimos la oportunidad de darnos cuenta de la importancia de la seguridad dentro de este tipo de sistemas, pues por estar expuestos en el Internet, están propensos a cualquier tipo de ataques informáticos. Es por ello que la autenticación de cliente permite negar el acceso a cualquier atacante que desee suplantar un usuario legítimo y evitar las intenciones y consecuencias que podría causar viéndose afectado la calidad de servicio ofrecido al usuario y los costos por concepto de uso de recursos ajenos a éstos. Por otra parte, el cambio de modulación para los canales ascendentes permite ofrecer mayor ancho de banda para estos canales a medida que se aumenta la modulación con una relación costo-beneficio importante porque da la oportunidad de crecer aún más con los recursos actuales evitando invertir en ampliación de los nodos en el momento en que el ancho de banda se ha quedado escaso para la demanda. Finalmente el monitoreo mediante Flap List es una poderosa herramienta que permite monitorear el comportamiento de los cable módem dentro del CMTS para evaluar qué posibles problemas se tienen en la red tanto a nivel físico como lógico, tales como el ruido, aprovisionamiento, entre otros, brindando la oportunidad de llevar a cabo un análisis proactivo que se verá reflejado en satisfacción de los usuarios.

BIBLIOGRAFÍA

Cantábrico Telecomunicaciones [online]. Available from Internet: <URL:<http://www.arrakis.es/~zener/Tct.html>>.

DOCSIS 1.1 Part 1: Radio Frequency Interface. ANSI /SCTE 23-1 2005. American National Standard. Available from Internet: <URL: http://www.scte.org/documents/standards/approved/ANSI_SCTE%2023-1%202005.pdf>.

GARCIA, Fernando. Conexión a Internet, el eslabón final. Available from Internet: <URL: <http://www.idg.es/macworld/content.asp?idart=106122>>.

GONZALEZ, Ferran. El cable: nuevas posibilidades hasta ahora inimaginables [online]. Available from Internet: <URL: <http://www.coit.es/publicac/publbit/bit107/especi4.htm>>

HERNANDEZ, José Manuel. Visión general de los sistemas de cable Híbrido Fibra-Coaxial [online]. Available from Internet: <URL: <http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No6/Perez%20Jose/IEEE802141.html>>.

IETF, The Internet Engineering Task Force. Available from: <URL: <http://www.ietf.org/index.html>>.

MUÑIZ, Irazú. La evolución de las especificaciones DOCSIS (Parte 1) [online]. CINIT, Centro de Investigación e Innovación en telecomunicaciones. Available from Internet: <URL: <http://www.cinit.org.mx/articulo.php?idArticulo=35>>.

Redes de cable de banda ancha HFC [online]. Available from Internet: <URL:<http://www.geocities.com/SiliconValley/Hardware/6300/support/red/tvcable.html>>.

TRAVERSO, Damian. Tecnologías en las redes de acceso [online]. Available from: <URL: <http://www.monografias.com/trabajos13/tecnacc/tecnacc.shtml>>.

Understanding Upstream Modulation Profiles. Available from Internet <URL: http://www.cisco.com/en/US/products/hw/cable/ps2209/products_white_paper09186a00801be4ac.shtml>.

US Robotics. Guía de Educación Banda Ancha [online]. Available from Internet: <URL:<http://www.usr-emea.com/education/bb1.asp?loc=span>>.

Wikipedia. Banda Ancha [online]. Available from Internet: <URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Banda_ancha>.

Wikipedia. CableModem [online]. Available from Internet: <URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cablem%C3%B3dem>>.

Wikipedia. CMTS [online]. Available from Internet: <URL:
<http://es.wikipedia.org/wiki/CMTS>>.

Wikipedia. Modulación. [online]. Available from Internet: <URL:
[http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_\(telecomunicaci%C3%B3n\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_(telecomunicaci%C3%B3n))>