

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“Análisis Técnico – Económico – Regulatorio, de una operación de
Cable Modem en el Ecuador”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

Presentada por:

Pastor Enrique Averos Núñez

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2006

AGRADECIMIENTO

A las personas que colaboraron
con la realización de este
trabajo, en especial al Ing.
César Yépez Flores, Director
de Tesis.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Miguel Yapur
SUBDECANO DE LA FIEC
PRESIDENTE



Ing. César Yépez
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Washington Medina
VOCAL



Ing. Juan Avilés
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Pastor Averos Núñez

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL	VI
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABLAS	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ASPECTOS TECNICOS	4
2.1. Transmisión de televisión por cable.....	4
2.2. Red de televisión por cable	7
2.2.1. Red híbrida fibra/coaxial (HFC)	8
2.2.2. Medios 10	
2.2.2.1. Fibra óptica	11
2.2.2.2. Cable coaxial.....	12
2.2.3. Arquitectura de red.....	13
2.2.3.1. Head-end	14
2.2.3.2. Red troncal	15
2.2.3.3. Red de distribución	16
2.2.3.4. Acometida de abonados	17
2.3. Operación de Cable Modem.....	17
2.4. Componentes del sistema de Cable Modem	22
2.4.1. Área de cobertura	23
2.4.2. Capacidades	24
2.5. Modificaciones en la red de cable.....	25
2.6. Especificaciones DOCSIS 1.1.....	27
2.6.1. Protocolos de comunicación	30
2.6.1.1. Subcapa de Seguridad de Enlace.....	33
2.6.1.2. Subcapa de Control de Acceso al Medio (MAC).....	34
2.6.1.2.1. Intervalos Upstream	34
2.6.1.2.2. Frame MAC	35
2.6.1.2.3. Mensajes de Administración MAC.....	37
2.6.1.2.4. Operación del protocolo MAC.....	40
2.6.1.3. Subcapa de Convergencia de Transmisión	49
2.6.1.4. Subcapa Dependiente del Medio Físico (PMD).....	51

2.7. Canal Upstream.....	57
2.7.1. Factores a tener en cuenta para la configuración del canal upstream.....	59
2.8. Canal downstream.....	63
2.9. Formatos de modulación.....	63
2.10. Niveles de señal requeridos en el head-end	67
2.11. Niveles de señal requeridos en el usuario	69
2.12. Autenticación y Seguridad	70
2.13. Calidad de Servicio	75
2.13.1. Flujos de Servicio.....	78
2.13.2. Parámetros de Servicio.....	82
2.14. Tráfico esperado.....	83
2.14.1. Downstream	85
2.14.2. Upstream	87
2.14.3. Razones para el bajo rendimiento de la red	89
2.15. Voz sobre IP	94
2.15.1. Voz sobre cable.....	98
2.15.1.1. Packet Cable.....	100
2.15.1.2. Factores a considerar en la red de cable al entregar el servicio de telefonía	104
2.16. Aplicaciones de Cable Modem	110
2.17. Esquema de red de la infraestructura actualmente en uso.....	111
2.17.1. Capacidad medida en la actual red.....	113
2.17.2. Equipos usados.....	115
2.17.3. Distribución de canales upstream y downstream.....	121
2.17.4. Usuarios por canal.....	122
2.17.5. Quality of Service	122
2.17.6. Servicios adicionales que se pueden ofrecer con el esquema de red implementado.....	133
2.18. Eficiencia operativa.....	138
3. ASPECTOS ECONOMICOS	150
3.1. Internet en Ecuador	150
3.2. Descripción económica de la industria del cable en el Ecuador	153
3.3. Costos estimados del operador para ofrecer el servicio de Internet por medio de Cable Modem	156

3.4. Costo estimado por Kbps en un sistema de Cable Modem.....	166
3.5. Costos del usuario	170
3.6. Precios de comercialización del servicio	170
3.7. Retorno de Inversión del sistema de Cable Modem	172
3.8. Beneficios del usuario	180
3.9. Beneficios del operador al integrar servicios	183
3.10. Competencia de Cable Modem en el mercado – Otras tecnologías.....	186
3.11. Impacto de la tecnología de Cable Modem.....	190
4. ASPECTOS LEGALES	193
4.1. Servicios de televisión por cable.....	193
4.2. Acceso al servicio de Internet	195
4.3. Múltiples servicios bajo una misma red.....	200
5. RESUMEN.....	205
6. CONCLUSIONES	207
7. ABREVIATURAS.....	212
8. DEFINICIONES	216
9. BIBLIOGRAFIA	221

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Señal de televisión	6
Figura 2. Red HFC	9
Figura 3. Fibra óptica	11
Figura 4. Cable coaxial	13
Figura 5. Arquitectura de red	14
Figura 6. Conjunto de protocolos.....	31
Figura 7. Frame MAC	36
Figura 8. Frame de administración MAC	38
Figura 9. Paquete MPEG.....	49
Figura 10. Transmisión upstream.....	54
Figura 11. Diagrama de bloques para transmisión downstream	56
Figura 12. Diagrama de fasores y constelación de puntos - QPSK	64
Figura 13. Constelación de puntos – 16QAM.....	66
Figura 14. Flujos de servicio.....	77
Figura 15. Voz sobre cable.....	103
Figura 16. Esquema de red implementado	112
Figura 17. Distribución de frecuencias	114
Figura 18. CMTS	116
Figura 19. CM	119
Figura 20. Paquete de voz en transmisiones upstream.....	129

Figura 21. Paquete de voz en transmisiones downstream.....	129
Figura 22. Un nodo con dos puertos upstream.....	141
Figura 23. Distribución de usuarios de un nodo con dos puertos upstream.....	142
Figura 24. Estaciones de televisión por cable	154
Figura 25. Costos estimados del operador	176
Figura 26. Flujo de caja esperado	178
Figura 27. Flujo de caja equivalente	179
Figura 28. Función TIR.....	180
Figura 29. Regulación de Cable Modem.....	198

LISTA DE TABLAS

Tabla I.	Tasas de transmisión de datos.....	24
Tabla II.	Características de las especificaciones DOCSIS.....	30
Tabla III.	Ancho del canal upstream.....	52
Tabla IV.	Ancho del canal downstream.....	56
Tabla V.	Parámetros de configuración del canal upstream.....	61
Tabla VI.	Niveles de poder en la entrada del demodulador upstream	68
Tabla VII.	Niveles de poder a la salida del modulador upstream	69
Tabla VIII.	Espectro usado en cada nodo	114
Tabla IX.	Cuentas de Internet	151
Tabla X.	Penetración del servicio de televisión por cable	155
Tabla XI.	Costos de llevar el tráfico hacia Internet	159
Tabla XII.	Costos para mejoras en la red troncal.....	160
Tabla XIII.	Costos para mejoras en la red de distribución.....	161
Tabla XIV.	Costos para mejoras en la acometida de abonado.....	162
Tabla XV.	Costos de comprar al fabricante los equipos del usuario	163
Tabla XVI.	Usuarios estimados en los primeros cinco años.....	163
Tabla XVII.	Estimación de usuarios que ingresan a la red cada mes	174
Tabla XVIII.	Estimación del costo mensual por llevar tráfico hacia Internet	175
Tabla XIX.	Estimación de costos anuales del operador.....	176
Tabla XX.	Ingresos estimados del operador	177

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicaciones tradicionales han sido contruidos para una aplicación específica. Las redes telefónicas fueron contruidas para transmitir voz y con la posterior llegada del Internet han servido para transmitir a más de voz, datos y video. Las redes de televisión por cable fueron contruidas para proveer servicios de televisión y ahora con la innovación tecnológica se busca que en esta red puedan converger los distintos servicios ofrecidos por diferentes redes. Y de esta manera el servicio de telefonía, servicios de televisión, Internet y otros puedan ser ofrecidos por la red de cable. Es decir los operadores de cable que ofrecían un sólo servicio se conviertan en operadores de servicios múltiples.

El gran uso de Internet creó la necesidad de acceder a altas velocidades desde nuestras casas y esto ha dado lugar a la invención de tecnologías que funcionan sobre redes ya existentes, como son: ADSL para transportar datos por la PSTN, y Cable Modem para transportar datos sobre la red de televisión por cable.

En Ecuador, las compañías telefónicas incumbentes no han sido capaces de masificar el servicio de Internet por medio de ADSL a pesar de contar con los medios suficientes para hacerlo, ya que la cobertura del servicio que prestan es mínima. Cabe mencionar que ADSL también es ofrecido por otras empresas de telecomunicaciones, a pesar de no tener la facilidad de las compañías telefónicas que ya poseen una red

instalada y operativa, por lo que tienen una inversión inicial alta al tener que construir la red de acceso para llegar hasta el suscriptor.

Cable Modem es una tecnología que permite transportar datos sobre la red de cable y dado que los operadores de televisión por cable rápidamente han entendido el inmenso rédito potencial de esta tecnología, debido a que ya tienen una gran cantidad de usuarios de televisión que pasan a ser potenciales usuarios de este servicio, además de la gran cantidad de suscriptores que podrían entrar a la red por medio de las ya existentes conexiones de cable, los operadores han realizado las adiciones respectivas a sus redes para de esta forma comenzar a ofrecer el servicio y obtener nuevas fuentes de ingresos.

En este trabajo se pretende evaluar la operación de la tecnología de Cable Modem implementada en el país, bajo los aspectos de calidad de servicio, eficiencia operativa y rentabilidad económica. Analizando además el fundamento legal de la operación.

Para alcanzar los objetivos antes mencionados, se hará una revisión de los estándares técnicos bajo los cuales opera la tecnología Cable Modem y se contrastará con su implementación. Esto nos permitirá determinar la calidad de servicio y la eficiencia operativa.

Para establecer una rentabilidad económica, se presentarán los costos de inversión en la red, en el equipamiento -incluyendo el lado del usuario-. Se tratará de determinar el costo operacional por Kbps y por usuario, con lo cual se puede estimar un ROI.

En la parte legal se enfatizarán los aspectos relacionados con la prestación de múltiples servicios bajo una misma red.

2. ASPECTOS TECNICOS

2.1. Transmisión de televisión por cable

En Ecuador es usado el estándar americano de televisión análoga desarrollado por la NTSC que fue el grupo quienes establecieron en los años cuarenta las especificaciones del actual sistema de televisión analógico que se transmite en canales de 6 MHz. En nuestro país el CONARTEL es el ente regulador de televisión de broadcast sobre el aire y de televisión por cable, pero no de otros servicios que se pueden ofrecer usando la red de televisión por cable, como por ejemplo, el servicio de Internet y de telefonía¹.

Las señales de televisión de broadcast sobre el aire son menos eficientes que las señales distribuidas sobre el sistema de cable, ya que en las primeras no se pueden transmitir canales adyacentes en una misma área debido a la interferencia co-canal, la misma que se produce porque los transmisores no pueden contener su señal perfectamente dentro de su ancho de banda asignado y los receptores no pueden discriminar perfectamente entre señales de canales adyacentes, por tanto una señal cercana fuerte puede interferir con una señal distante que esté débil en el receptor. Como resultado de esto, gran cantidad del espectro de televisión de broadcast terrestre queda libre, siendo asignado a otros usos importantes tales

¹ El ente regulador de tales servicios es el CONATEL.

como: servicios fijo y móvil, meteorología, radioastronomía, etc. Por el contrario un proveedor de televisión por cable puede tener tantos canales como su infraestructura le permita, ya que los canales pueden ser transmitidos al mismo nivel de potencia a través de la red permitiendo que sean usados canales adjuntos en el cable. Entre los factores que limitan la capacidad del sistema de cable, se encuentran: la mayor atenuación del cable coaxial con el incremento de frecuencia y un segundo factor es que la distorsión del amplificador está en función de la carga del canal, es decir a más canales portados más grande es la distorsión.

Puesto que el espectro viaja dentro de la fibra óptica o del cable coaxial, un sistema de cable bien instalado y mantenido puede usar frecuencias asignadas para otro propósito sobre el aire. Ya que este uso no causa interferencias en esas aplicaciones ni obtiene interferencia de las mismas.

Una red de televisión por cable fue principalmente diseñada y usada para distribución de televisión. El operador recibe la señal por satélite, microondas, broadcast sobre el aire. Mediante un equipo especial las debe procesar, ya que pueden venir de diferentes formas, luego las señales son multiplexadas y distribuidas hacia los usuarios por medio del sistema de cable que puede ser totalmente coaxial o ser híbrido de fibra/coaxial.

Características de la señal

La señal de televisión tiene tres portadoras principales, la portadora de video, la portadora de audio, y la portadora de color; donde la portadora de audio estará entre 10 a 17 dB por debajo de la portadora de video.

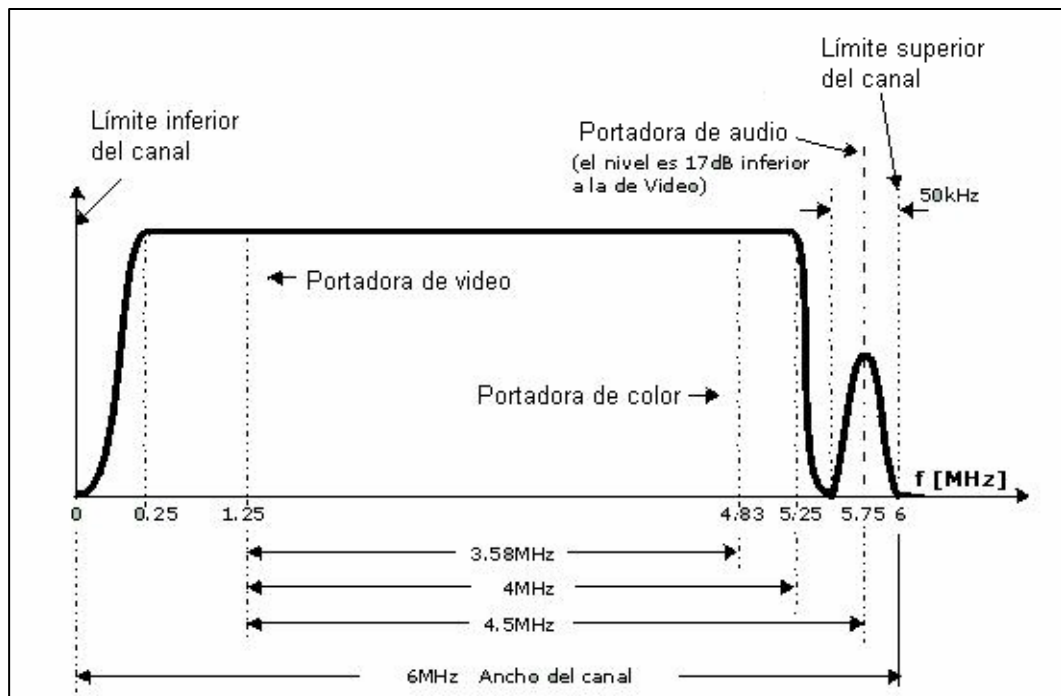


Figura 1. Señal de televisión

Entre las fuentes de interferencia en la transmisión de televisión por cable tenemos:

- Ruido, el ruido aleatorio es la consecuencia del movimiento de cargas eléctricas en conductores.
- Reflexiones de la señal debido a discontinuidades de impedancia en la línea de transmisión que pueden ocurrir por toda la planta y son llamadas micro-reflexiones, las mismas que son causadas por pequeños errores en la igualación de impedancias, estas desigualdades incluyen los conectores, empalmes, e incluso daños en los mismos cables.
- Modulación cruzada de las portadoras de la señal, el cual es un tipo de distorsión de las señales de televisión en la que la modulación de uno o más canales de televisión se impone en otro canal o canales.

Los niveles de ruido en un sistema de cable se expresan como la relación de poder de la portadora de video al poder del ruido en un canal de televisión. Es representada por las siglas CNR y es dada en dB. El valor apropiado para CNR es de 48 dB a 50 dB.

2.2. Red de televisión por cable

Una red de televisión por cable usa un medio compartido con transmisiones de señales análogas, las mismas que son llevadas desde el head-end hasta el

suscriptor por medio del sistema de cable que puede ser totalmente coaxial o ser híbrido de fibra/coaxial, en la actualidad los grandes sistemas de cable han migrado a redes híbridas debido a las grandes ventajas que presenta la misma.

Las redes de televisión por cable están evolucionando hacia la creación de una red completamente integrada, desarrollando mayores capacidades de acceso, integración de otras tecnologías y servicios.

2.2.1. Red híbrida fibra/coaxial (HFC)

Las redes de cable que usan tanto fibra óptica como cable coaxial para ir desde el head-end hasta el usuario son conocidas como redes HFC.

Los sistemas de televisión por cable en sus orígenes usaban una red totalmente coaxial, pero debido a que gran parte de ellos han ampliado su cobertura y por ende les ha sido necesario migrar a una red HFC, por los grandes beneficios de la fibra óptica entre los que podemos mencionar: incremento en la capacidad de ancho de banda, confiabilidad, reducción de atenuación de la señal, por tanto disminuyen las cascadas de amplificadores en las líneas troncales logrando a la vez reducir la contribución al ruido de RF, es inmune a la interferencia electromagnética y tiene menores costos de mantenimiento al ver disminuido el número de

amplificadores. Debido al costo de la fibra óptica sólo se la usa en la red troncal, y en el resto de la red se usa cable coaxial.

Por tanto, la red HFC aumenta la confiabilidad y capacidad del sistema de cable, teniendo los medios suficientes para ampliar los servicios prestados en áreas como transmisión de datos y telefonía. En una red HFC se usa fibra óptica para transportar la señal desde el head-end hasta un nodo que está ubicado cerca del sector de cobertura, en este nodo cuando la señal va desde el head-end hacia los usuarios cambia de óptica a eléctrica. El cable coaxial va desde el nodo hasta el suscriptor. La parte del sistema que es ocupado por la fibra tiene una configuración en estrella, dividiéndose en pequeños sistemas los cuales se unen por medio del head-end.

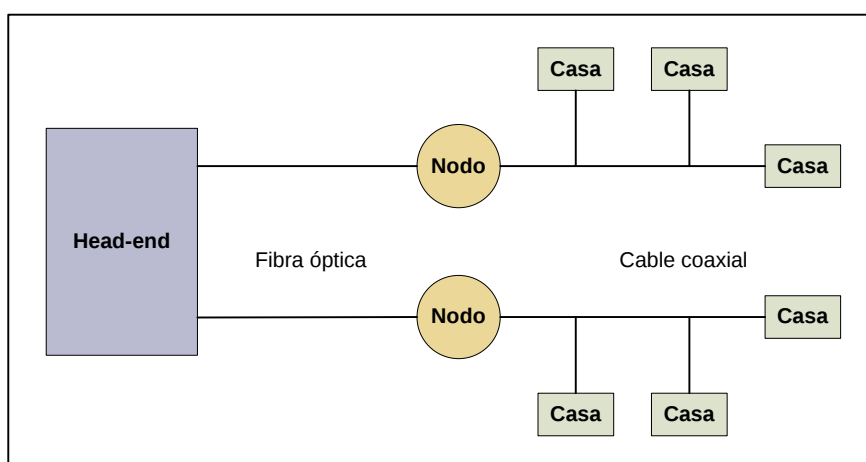


Figura 2. Red HFC

Entre las principales ventajas de las redes HFC, podemos mencionar:

- Alcanza grandes distancias, gracias a las propiedades de la fibra óptica.
- Es una red escalable, ya que pueden ser sumados ramales de cable coaxial a la red de distribución en función del número de clientes, así como también la capacidad que posee la fibra óptica para soportar esos nuevos requerimientos.
- Integración de nuevos servicios, debido a la capacidad que posee.
- Acceso simple para nuevos usuarios, ya que sólo se requiere la instalación de un equipo en casa del usuario, realizar la acometida, y la provisión del servicio en los sistemas de gestión.
- Capacidad para soportar servicios en tiempo real, como telefonía IP.

2.2.2. Medios

Ya que la red es HFC, es importante detallar las características de los medios: fibra óptica y cable coaxial.

2.2.2.1. Fibra óptica

El cable de fibra óptica es un medio que puede conducir transmisiones de luz moduladas. No es susceptible a la interferencia electromagnética y ofrece velocidades de datos más altas que la del cable coaxial, siendo a la vez muy confiable.

Las señales transmitidas por fibra óptica pueden ser llevadas por distancias significativamente grandes ya que tiene bajas pérdidas, y por tanto menos amplificadores serán necesarios; produciendo menos puntos de falla, bajando los costos de mantenimiento y mejorando la calidad de la señal.

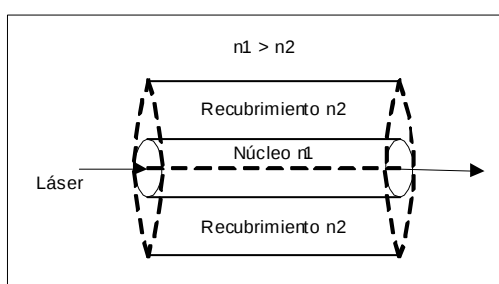


Figura 3. Fibra óptica

El principio en que se basa la transmisión de luz por la fibra es la reflexión interna total; la luz que viaja por el centro o núcleo de la

fibra incide sobre la superficie externa con un ángulo mayor que el ángulo crítico, de forma que toda la luz se refleja sin pérdidas hacia el interior de la fibra. Así, la luz puede transmitirse a larga distancia reflejándose miles de veces. Para evitar pérdidas por dispersión de luz debido a impurezas de la superficie de la fibra, el núcleo de la fibra óptica está recubierto por una capa de vidrio con un índice de refracción mucho menor; las reflexiones se producen en la superficie que separa la fibra de vidrio y el recubrimiento.

2.2.2.2. Cable coaxial

El cable coaxial está compuesto por dos elementos conductores. El elemento que está ubicado en el centro del cable es un conductor de cobre, el cual está rodeado por una capa de aislamiento flexible. Sobre este material aislador hay una malla de cobre tejida o una hoja metálica que actúa como segundo alambre del circuito, y como blindaje del conductor interno. Esta segunda capa, o blindaje, ayuda a reducir la cantidad de interferencia externa. Este blindaje está recubierto por la envoltura del cable.

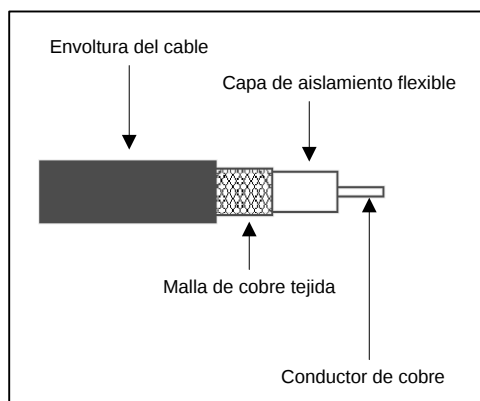


Figura 4. Cable coaxial

Una de las características más importantes del cable coaxial es la habilidad de poder contener un espectro de frecuencia separado y de mantener las propiedades del mismo por lo que se comporta similar al espectro sobre el aire, esto significa que un receptor de televisión conectado a la señal de cable se comportará como si estuviera conectado a una antena. La principal desventaja del cable coaxial son sus pérdidas, ya que la atenuación de la señal está en función de su frecuencia de operación.

2.2.3. Arquitectura de red

La red de televisión por cable se compone de cuatro partes:

- 1) El head-end o cabecera

- 2) Red troncal
- 3) Red de distribución, y
- 4) Acometida de abonados.

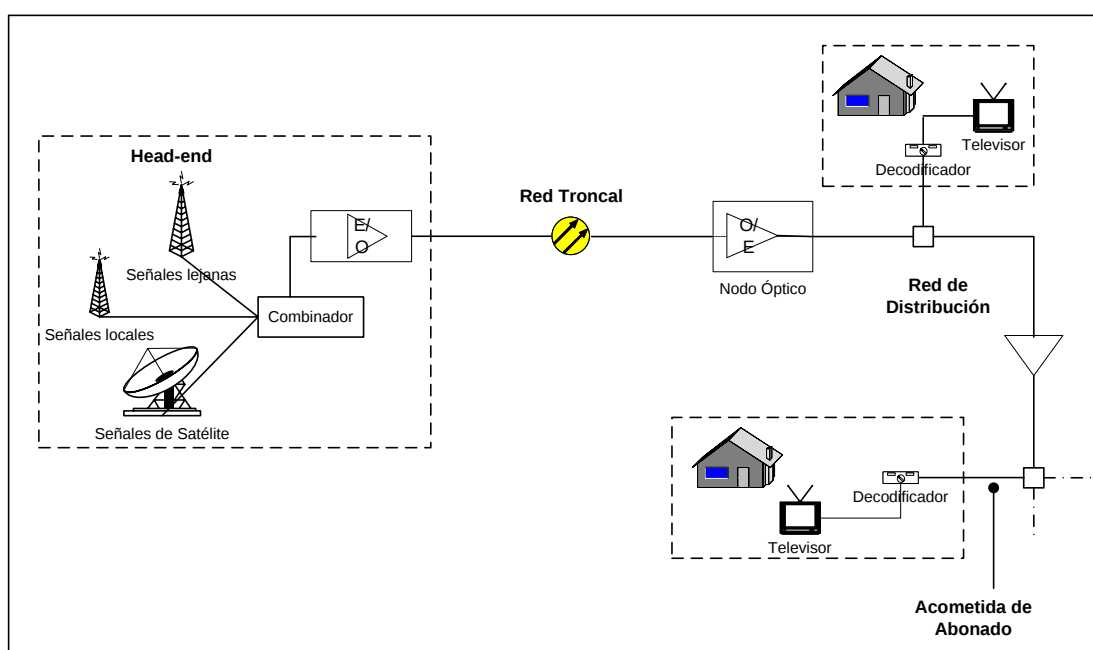


Figura 5. Arquitectura de red

2.2.3.1. Head-end

Administra todo el sistema. Se encarga de tareas que van desde el monitoreo de la red hasta el control de servicios prestados. Es el punto de origen de las señales en el sistema de cable. Dispone de

un centro que recoge señales de televisión, formado por un grupo apropiado de antenas para la recepción de las señales por satélite, antenas direccionales de gran ganancia para recibir distantes señales de televisión de broadcast, antenas direccionales para recibir señales locales, máquinas para reproducir cintas de programación e inserción de comerciales, y estudios para originar programación local.

Puesto que las redes de televisión por cable originalmente fueron diseñadas para la distribución unidireccional de señales de televisión, el head-end se encargaba simplemente de recoger las señales de televisión y adaptarlas para la transmisión por el medio de cable; y ahora con la llegada de los servicios de datos y telefonía, el head-end está aumentado considerablemente su complejidad, ya que se suman nuevos equipos que son necesarios para la prestación de estos servicios que tienen que interactuar con los ya existentes.

2.2.3.2. Red troncal

Es una red que usa una topología en estrella, la misma que une cada nodo al head-end por medio de fibra óptica. Se encarga de

transportar las señales desde el head-end hacia el nodo donde comienza la red de distribución. Siendo su objetivo principal mover la señal sobre grandes distancias con mínima degradación.

2.2.3.3. Red de distribución

Comienza desde el nodo donde las señales ópticas se convierten en eléctricas para transmisiones que tienen como destino al usuario. Esta red recorre todas las casas que se encuentran dentro del sector que ha sido asignado para tal nodo.

Diferentes clases de amplificadores son usados en distintas partes de la red de distribución. Los amplificadores de distribución (Bridger), los cuales toman una muestra de la señal de entrada, la amplifican y luego la dividen en dos, tres o cuatro salidas. Los Extensores de línea (line extenders) son amplificadores usados para incrementar el alcance del cable coaxial dentro de la red de distribución. También son usados dispositivos pasivos, como los taps (puntos de conexión de red) que remueven sólo una pequeña porción de la señal para conectar la acometida de abonado a la red de distribución.

2.2.3.4. Acometida de abonados

Es el cable coaxial que va desde el tap que es una bifurcación de la red de distribución hasta el decodificador que se encuentra ubicado en el domicilio del abonado. En esta parte de la red, se usan divisores (splitters) que son dispositivos pasivos, los cuales se encargan de dividir la energía de RF de la entrada en varias líneas a la salida.

2.3. Operación de Cable Modem

El término Cable Modem -CM- se refiere a un dispositivo que opera sobre la ordinaria red de televisión por cable. Básicamente se debe conectar el computador al CM, y éste por medio de la red HFC se conecta al CMTS ubicado en el head-end del operador. Luego, por asociación, se denomina así al servicio de acceso a Internet a través de estos dispositivos y de la red de televisión por cable.

La principal función del sistema de Cable Modem es la de transmitir paquetes IP transparentemente entre el head-end y la ubicación del suscriptor. El flujo de datos desde el usuario hacia el head-end se denomina transmisión upstream o

ascendente, y el flujo de datos en sentido contrario, es decir, desde el head-end hacia el usuario es conocido como transmisión downstream o descendente.

Para la entrega de servicios de datos en una red de cable, las más altas frecuencias son usadas para tráfico downstream, asignando un canal en el rango de 54-750¹ MHz, y las frecuencias más bajas se usan para tráfico upstream asignados en el rango de 5-42 MHz.

El canal downstream es considerado punto-multipunto, ya que existe un sólo transmisor -CMTS-, donde todos los CMs escuchan los frames transmitidos en el canal downstream que ellos están registrados ya que es un medio compartido, pero aceptan únicamente los que igualan con su destino.

El canal upstream se caracteriza por tener muchos transmisores -CMs- y un sólo receptor -CMTS-, por lo que el canal upstream es considerado punto a punto. Si dos usuarios quieren comunicarse entre sí, lo pueden hacer sólo a través del CMTS. El tiempo en el canal upstream es fragmentado en intervalos, por medio de TDMA. El CMTS proporciona el tiempo de referencia y controla el uso permitido de cada intervalo, los intervalos pueden ser otorgados para transmisiones particulares de cada CM, o para que sean disputados por todos o algunos de ellos.

¹ El límite superior depende de la capacidad del sistema de cable.

Cuando un CM se une a la red, éste tiene que realizar diversas acciones en conjunto con el CMTS para sincronizar los parámetros de transmisión y de esta manera obtener un óptimo rendimiento durante su operación; así como también es necesario el mantenimiento periódico de ciertos parámetros para el correcto funcionamiento de la comunicación entre el CM y el CMTS.

Luego de haberse encendido el CM, éste comienza a buscar en los canales de 6 MHz en la banda de operación de la frecuencia downstream de RF un canal válido. Una vez que ha llevado a cabo la sincronización de un canal downstream, el CM buscará tres mensajes de administración MAC que son continuamente enviados por el CMTS en todos los canales downstream.

El primer mensaje es el de sincronización del tiempo (SYNC, por sus siglas en inglés). El mensaje SYNC¹ es enviado por el CMTS para proveer un tiempo de referencia común a todos los módems.

El siguiente mensaje es el descriptor del canal upstream (UCD, por sus siglas en inglés). El CM debe encontrar un UCD que iguale sus capacidades. Si el CM sólo puede transmitir a una cierta tasa de símbolos o está limitado en su rango de frecuencia o tipos de modulación, el CM no debe poder transmitir en un canal upstream particular. Un mensaje UCD es transmitido periódicamente (cada 2

¹ El máximo tiempo nominal entre mensajes SYNC definido por DOCSIS es de 200 mseg.

segundos) desde el CMTS por cada canal upstream activo y son enviados con direcciones MAC de broadcast. El CM determina si puede usar el canal upstream a partir de los parámetros de descripción del canal, como son la tasa de símbolo, frecuencia central, modulación, tamaño de burst, etc. Si el canal no es adecuado, el CM intenta con el siguiente, hasta encontrar un canal usable. Si el canal es adecuado, el CM extrae los parámetros del UCD para ese canal upstream.

El tercer mensaje a encontrar es el de asignación de ancho de banda upstream (MAP, por sus siglas en inglés) que iguale el canal upstream descrito en el UCD. El mensaje MAP tiene la información de las ranuras de tiempo que indican cuando y la cantidad que un módem puede transmitir (el SYNC provee el tiempo de referencia para esas transmisiones). Para su transmisión inicial, el CM buscará en el MAP una oportunidad de transmisión reservada para módems que recién se conectan a la red, llamado oportunidad de transmisión de mantenimiento inicial.

El CM comienza a transmitir en la frecuencia upstream asignada en el UCD, incrementando gradualmente su potencia hasta que sea escuchado por el CMTS, en esta fase se ajusta la frecuencia y el poder de transmisión, estos ajustes son repetidos por cada CM a intervalos regulares programados en el CMTS, asegurando de esta manera la continuidad de la comunicación confiable entre los CMs y el CMTS.

Lo que sigue en el proceso de inicialización es establecer conectividad IP, para esto, el CM envía al CMTS una solicitud DHCP para obtener la dirección IP y otros parámetros adicionales necesarios para establecer la conexión por medio de este protocolo, como la dirección IP del servidor TFTP, el nombre del archivo de configuración del CM a ser leído desde el servidor TFTP, entre otros. Siguiendo a esto, el CM solicita al servidor ToD la fecha y hora exacta, la misma que se utilizará para registrar el tiempo en eventos que pueden ser recuperados por la administración del sistema.

Después de un exitoso establecimiento de conectividad IP, el CM debe cargar el archivo de configuración usando TFTP para obtener información necesaria para iniciar la operación, así como los servicios que están permitidos para proveer. El archivo de configuración maneja los parámetros que el CM usa para comunicarse. Algunos de los cuales son: las frecuencias y los límites de ancho de banda upstream y downstream, configuración del clasificador de paquetes upstream, máximo número de CPE permitidos, así como también flujos de servicio upstream y downstream, entre otros.

Terminada esta descarga el CM realiza un proceso de registro, para luego, si está desactivada la opción de cargar BPI+, el CM es autorizado a enviar tráfico en la red, y en caso de estar activada tal opción, el CM debe enviar al CMTS un mensaje de información de autenticación y una petición de autorización para

enviar tráfico en la red, los mismos que deben ser autorizados por el CMTS. Seguido a esto, el CM y el CMTS se ponen de acuerdo con las llaves de encriptación de tráfico que serán usadas para las transmisiones de datos.

El CM, luego de haber llevado a cabo con éxito todos los pasos mencionados al iniciar su operación, queda apto para transmitir datos sobre la red de cable.

2.4. Componentes del sistema de Cable Modem

Entre los componentes del sistema de Cable Modem, podemos mencionar: CMTS, CM y la infraestructura de la red de televisión por cable.

Las funciones y elementos que forman parte de la infraestructura de la red de televisión por cable fueron enunciados en la sección 2.2.3, los mismos que han sido usados a través de los años para proporcionar el tradicional servicio de televisión por cable. Los cambios o adiciones de elementos que deben ser incorporados en la red, para que ésta pueda prestar servicios bi-direccionales se mencionan en la sección 2.5.

El CMTS se encuentra ubicado en el head-end del operador, y es el equipo principal del sistema de Cable Modem, ya que se encarga de enviar y recibir los requerimientos hechos por los usuarios. El CMTS es el único transmisor en el canal downstream y el único receptor en el canal upstream. Siendo además el

encargado de suministrar y mantener las políticas de acceso al medio compartido en el canal upstream, las características de QoS para las transmisiones upstream y downstream, así como también se encarga de otras funciones de administración necesarias para el correcto funcionamiento del sistema.

El CM se encuentra en la ubicación del cliente, y es el equipo que sirve de interfaz entre el CPE y la red de cable. El CM para transmisiones upstream recibe un paquete IP sobre Ethernet o USB del CPE del usuario, convierte las señales digitales en señales RF moduladas, le suma seguridad de enlace, y accede a la red de cable. En cambio para la recepción, convierte las señales RF a información digital, recibiendo paquetes IP sobre el protocolo MAC¹ DOCSIS de la interfaz RF y los envía al correspondiente CPE.

2.4.1. Área de cobertura

El área de cobertura del sistema de Cable Modem está en función del alcance que tenga la existente red de televisión por cable, cabe mencionar que la distancia óptica/eléctrica máxima entre el CMTS y el más distante CM de acuerdo con DOCSIS no debe ser mayor a 160 Km para que se pueda mantener un buen nivel en la transferencia de datos entre los

¹ La operación del protocolo MAC DOCSIS se describe en la sección 2.6.1.2.4

mismos, esto no pasa a ser una limitante con respecto a la cobertura ya que la separación máxima típica es mucho menor.

El área que podrá ser cubierta por el CMTS dependerá del número de posibles suscriptores de Cable Modem, así como del número de canales upstream y downstream soportados por el mismo. Puesto que cada canal upstream y downstream soporta un número determinado de usuarios, dependiendo de la configuración que se haga en cada uno de ellos, como por ejemplo, tipo de modulación y tasa de símbolo.

2.4.2. Capacidades

Los componentes del sistema de Cable Modem cumplen con los requerimientos de las especificaciones DOCSIS, los cuales se mencionan¹ a continuación:

	Upstream		Downstream	
Formato de modulación	QPSK	16 QAM	64 QAM	256 QAM
Tasa de datos máxima (Mbps)	5,12	10,24	30,336	42,88

Tabla I. Tasas de transmisión de datos

¹ La tasa de datos de un canal upstream y downstream está en función del formato de modulación y tasa de símbolo asignada. En la tabla se mencionan los valores máximos teóricos que se pueden obtener.

La capacidad operativa del CM está en función de lo permitido por el CMTS, ya que éste va determinar la tasa de transferencia (bps) upstream y downstream máxima para cada CM, la justificación para esto es que los usuarios que están en el mismo sector, comparten un mismo canal upstream y downstream, por tanto tienen en conjunto una tasa de transferencia máxima que tiene que ser correctamente dimensionada por el operador para no tener problemas de saturación.

El número de usuarios así como el ancho de banda a ser usado por los mismos, determina la capacidad que debe tener el CMTS, ya que éste soporta todos los usuarios de la red. Hay que mencionar que un CMTS tiene la capacidad de soportar un número determinado de canales upstream y downstream.

2.5. Modificaciones en la red de cable

La arquitectura de sistemas de cable original no fue prevista para ofrecer comunicaciones bi-direccionales, su meta simplemente era entregar ancho de banda para llevar señales de televisión a las residencias; es decir sólo se realizaban transmisiones downstream, desde el head-end hacia los usuarios.

Debido a que los nuevos servicios que se pueden ofrecer - Internet, telefonía, redes privadas - requieren comunicaciones bi-direccionales, siendo usado para esto el esquema conocido como subdividido, el cual utiliza determinado rango de frecuencias para recibir información y otro rango para enviarla, en este caso se reserva una parte del espectro para el canal de retorno (5-42 MHz).

Para acomodar las comunicaciones upstream, la planta de cable debe renovarse, teniendo entre otras cosas, que realizar la instalación de un láser transmisor en cada nodo óptico para el canal upstream y un receptor del mismo en el head-end. En el dominio del cable coaxial, cada amplificador debe ser configurado con el módulo apropiado para amplificar tráfico upstream o cambiado por uno nuevo que tenga esta característica adicional. Se requiere también la instalación de un sistema de terminación de cable modem -CMTS- en su head-end, un equipo en la ubicación del cliente que se encargue de interactuar con el CMTS, eliminar las fuentes de ruido, y establecer las características del camino de retorno, tales como: formato de modulación, tasas de símbolo, y número de canales, en función de los requerimientos de datos del usuario.

El sistema necesita ser escalable, ya que por ejemplo, el operador en primera instancia comienza a ofrecer un solo servicio adicional, que sería el de Internet que es el más apreciado por los usuarios ya existentes en la red de cable, y de

esta forma el sistema se puede ir adaptando al incremento de nuevos servicios como telefonía IP, y redes privadas.

2.6. Especificaciones DOCSIS 1.1

El propósito de DOCSIS es definir la forma en que deben comportarse los elementos que van a interactuar con la red de cable existente para que el operador pueda ofrecer servicios bi-direccionales, tales elementos son el CMTS y el CM.

DOCSIS fue creada por Cablelabs y varios operadores de servicios múltiples, la misma que define las especificaciones de interfaces para una red de Cable Modem y de esta forma se asegura la interoperabilidad de los equipos fabricados por las distintas compañías. Tiene tres fases: DOCSIS 1.0 , DOCSIS 1.1 , y la última DOCSIS 2.0. Todas las tres fases de especificaciones han sido aprobadas por organizaciones de desarrollo de estándares regionales e internacionales, como son: la SCTE, ETSI, y la ITU, llamándolo ITU J.112.

Además de ser un estándar de interoperabilidad, DOCSIS incluye parámetros que se recomiendan para lograr un mejor desempeño de la red de cable. Las especificaciones DOCSIS de Interfaz de Radiofrecuencia 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.

Cabe mencionar que los equipos usados para la operación de Cable Modem, el CMTS y el CM son calificados y certificados respectivamente por Cablelabs, de acuerdo con las características funcionales de DOCSIS.

Se hará énfasis en las especificaciones DOCSIS 1.1, las mismas que tienen diferentes categorías: Interfaz de datos, de administración del sistema, de seguridad, y de radio frecuencia. Siendo esta última la que define la interfaz RF entre el CM y la red de cable, entre el CMTS y la red de cable tanto en la dirección downstream como upstream, definiendo las características de la capa física y de la subcapa MAC.

Entre las nuevas funcionalidades provistas por DOCSIS 1.1, se encuentran: flujos de servicio, establecimiento de servicios dinámicos y programación de servicios avanzados upstream, concatenación de paquetes upstream, clasificadores, fragmentación, compresión del header de carga útil, y seguridad.

Soporta múltiples flujos de servicios permitiendo a un solo CM mantener una combinación de paquetes de voz, video y datos. El establecimiento de servicios dinámicos permite a los mensajes MAC dinámicamente crear, modificar y

suprimir flujos de tráfico. La concatenación permite a los CMs enviar múltiples frames MAC en la misma transmisión upstream, siendo el único método por el que el CM puede transmitir más de un frame MAC en una sola oportunidad de transmisión. Fragmentación en capa 2 permite fraccionar grandes paquetes de datos, normalmente ocurre cuando el CMTS elige otorgar menos ancho de banda que el pedido por el CM, encargándose de dividir un gran PDU MAC en partes más pequeñas para que sean transmitidas individualmente y puedan ser reensambladas en el CMTS, siendo sólo aplicable en la dirección upstream. En la compresión del header, una porción repetitiva del mismo es suprimido por la entidad emisora y restaurado por la entidad receptora.

La especificación DOCSIS 1.1 fortalece la interfaz de seguridad de DOCSIS 1.0 mediante la introducción de certificados digitales individuales, un método que ha sido empleado por mucho tiempo en el mundo sin cable. Las intensificadas medidas de seguridad de DOCSIS 1.1 ayudarán al operador de cable a reducir el robo de servicio y uso no autorizado.

Además de esto, cuentan con la habilidad de priorizar paquetes de voz, lo que le permitirá a los operadores de cable ofrecer servicios de valor agregado tal como, VoIP.

En la siguiente tabla se mencionan beneficios y características principales de cada una de las tres fases de especificaciones:

	Características importantes	Beneficios
DOCSIS 1.0	Tasa upstream: 5 Mbps	Acceso a Internet a velocidades altas.
DOCSIS 1.1	- QoS. - Seguridad. - Herramientas de operación para administrar ancho de banda. - Interoperable y compatible con DOCSIS 1.0 - Tasa upstream: 10 Mbps.	- Telefonía IP. - Costos operacionales más bajos. - Doble capacidad upstream.
DOCSIS 2.0	- Robustez mejorada contra interferencia (S-CDMA y A-TDMA). - Interoperable y compatible con DOCSIS 1.X - Tasa upstream: 30 Mbps.	- Servicios simétricos. - Juegos Interactivos.

Tabla II. Características de las especificaciones DOCSIS

2.6.1. Protocolos de comunicación

El CM y el CMTS operan como transmisores y también como receptores. El conjunto de protocolos usado en esos modos sobre el sistema de datos sobre cable es diferente, puesto que para transmisiones downstream se agrega una subcapa de Convergencia de Transmisión a nivel de la capa física.

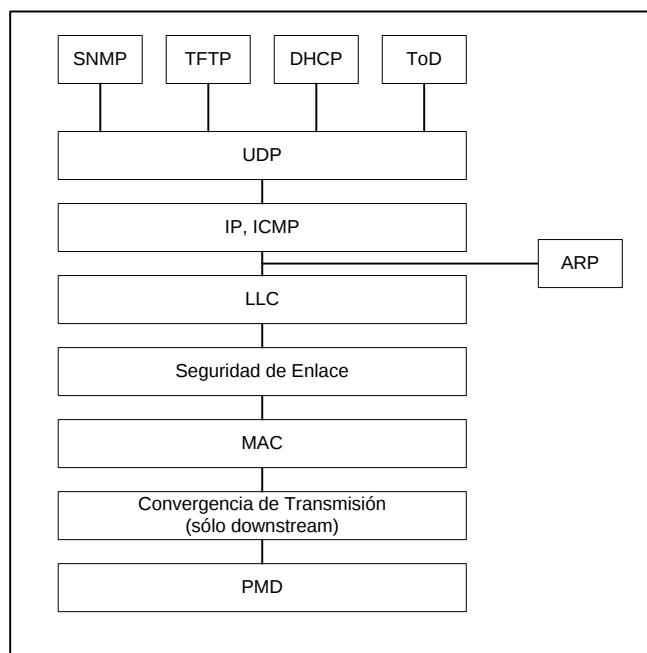


Figura 6. Conjunto de protocolos

Para que el transporte de datos de los usuarios sobre la red de cable sea exitoso, se necesitan varias operaciones de configuración y administración que dependen de la capa red:

ToD: otorga información del tiempo actual. Un CM necesita saber el tiempo para agregar correctamente timestamps exactos a su registro de acontecimientos.

DHCP: proporciona información a los hosts en una red TCP/IP, direcciones IP y otros.

TFTP: protocolo de transferencia de archivos, sirve para proporcionar software operacional e información de configuración.

SNMP: es un protocolo que suministra un medio para monitorear y controlar dispositivos de red, y para administrar configuraciones, recolección de estadísticas, desempeño y seguridad.

Estas operaciones de configuración y administración, son hechas bajo el protocolo de capa de transporte UDP el cual es más rápido pero menos confiable que TCP, ya que es un protocolo de transporte no orientado a conexión que intercambia datagramas sin acuse de recibo ni entrega garantizada. El procesamiento de errores y retransmisión es manejado por los protocolos de capa de aplicación.

IP es un protocolo de capa 3, proporciona un servicio no orientado a conexión que brinda entrega de máximo esfuerzo a través de una red.

ICMP es un protocolo de capa de red que informa errores y brinda información relativa al procesamiento de paquetes IP.

ARP es un Protocolo de Internet que se utiliza para buscar una dirección MAC a partir de una dirección IP conocida.

LLC se encarga de ensamblar los frames de la capa de enlace de datos haciendo referencia al modelo OSI, así como del intercambio entre las estaciones de datos, independientemente de cómo es compartido el medio de transmisión.

2.6.1.1. Subcapa de Seguridad de Enlace

Se encarga de proveer privacidad de los datos a través de la red de cable para los usuarios y protección del servicio para el operador.

DOCSIS 1.1 ha definido BPI+ como el estándar para dar seguridad y privacidad sobre la red de cable, el cual usa un esquema de encriptación de tráfico que suministra seguridad y verificación de integridad de los datos transmitidos; además usa el certificado digital X.509 para la autenticación de los CMs, los cuales son almacenados permanentemente dentro del CM en el proceso de fabricación, con lo que los usuarios finales no pueden falsificar la identidad de sus CMs para robar el servicio.

2.6.1.2. Subcapa de Control de Acceso al Medio (MAC)

Una red HFC es un sistema de acceso compartido, donde el elemento clave que permite el funcionamiento correcto y eficiente del mismo, es el protocolo MAC.

La subcapa MAC controla el acceso al medio en la dirección upstream. Debido a que varios módems pueden tener datos para transmitir a cualquier tiempo, el protocolo MAC provee un método para que el CMTS indique al CM cuando puede transmitir y cómo evitar colisiones. El principal propósito es asignar ancho de banda y resolver disputas de acceso en un medio compartido, asegurándose que el sistema se comporte de manera óptima.

2.6.1.2.1. Intervalos Upstream

El tiempo de transmisión upstream es dividido en intervalos por el mecanismo de asignación de ancho de banda upstream¹, cada intervalo es un número entero de

¹ DOCSIS define la estructura básica de mecanismos de asignación de canal, habiendo mucha flexibilidad en como priorizar el uso del canal upstream; por esto poca información está disponible en cómo el canal upstream es asignado en equipos comerciales de CM. Generalmente los algoritmos de asignación de canal son propietarios.

mini-slots, un mini-slot representa el tiempo necesitado para la transmisión de un número fijo de bytes. El tamaño del mini-slot es expresado como un múltiplo en potencia de 2 de 6.25 μ s, es decir, 2, 4, 8, 16, 32, 64, o 128 veces 6.25 μ s.

2.6.1.2.2. Frame MAC

El frame MAC es la unidad básica de transferencia de datos entre las subcapas MAC del CMTS y el CM, también es usado para fines administrativos como son la sincronización, envío de parámetros de operación a los CMs y mensajes de control.

La misma estructura del frame es usada tanto en transmisiones downstream como upstream. Un frame MAC consiste de un header MAC (6 bytes + longitud variable del header extendido si está configurado), y un PDU de longitud variable (18 – 1518 bytes), el cual incluye: 12 bytes que pertenecen a las direcciones origen y destino, 2 bytes de control, 0 a 1500 bytes de datos, y 4 bytes de CRC.

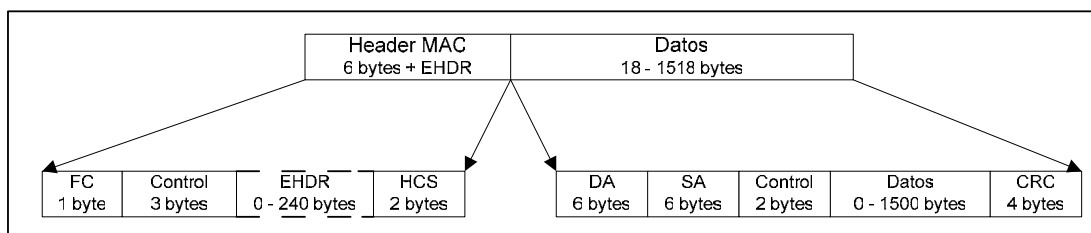


Figura 7. Frame MAC

El campo de control del frame (FC) identifica el resto del contenido del header MAC, es decir si es un header MAC de un paquete PDU o un header específico MAC. El campo EHDR provee extensiones al formato del frame MAC, es usado para implementar seguridad de enlace de datos, fragmentación del frame, peticiones de ancho de banda, y puede ser extendido para sumar funciones adicionales en el futuro. El campo HCS es un CRC de 2 bytes, que asegura la integridad del header MAC.

En la transmisión upstream de paquetes PDU, un CRC corrupto puede ser detectado. Puesto que el CRC sólo cubre los datos PDU y el HCS cubre el header MAC, el header todavía sigue siendo válido. Así, el paquete PDU será eliminado, pero cualquier información

perteneciente al header MAC (información de petición de ancho de banda) puede ser usada.

En la dirección downstream, el frame MAC puede ocupar alguna o toda la parte de carga útil del paquete MPEG (Subcapa de convergencia de transmisión), así como también múltiples frames MAC pueden ser concatenados uno detrás del otro o separados por una secuencia opcional de bytes de relleno. La subcapa de convergencia de transmisión opera estrechamente con la subcapa MAC para proporcionar un adecuado tiempo de referencia a ser insertado en el mensaje SYNC.

2.6.1.2.3. Mensajes de Administración MAC

Los mensajes de administración MAC son usados para que exista un correcto funcionamiento en el acceso compartido de la red de cable, y están formados por: header MAC (6 bytes), header del mensaje administración MAC (20 bytes), carga útil del mensaje de administración (tamaño variable) y CRC (4 bytes).

Header MAC 6 bytes	Header de mensajes de administración MAC 20 bytes	Datos del mensaje de administración 0 - 1498 bytes	CRC 4 bytes
--------------------------	---	---	-------------------

Figura 8. Frame de administración MAC

Existen 28 tipos de mensajes de administración MAC; entre los más importantes podemos mencionar:

- SYNC (Time Synchronization).- Es transmitido por el CMTS a intervalos periódicos para establecer sincronización con la subcapa MAC.
- UCD (Upstream Channel Descriptor).- Es transmitido por el CMTS a intervalos periódicos para definir las características de un canal upstream. Los mensajes UCD son transmitidos en todos los canales upstream activos.
- MAP (Upstream Bandwidth Allocation Map).- Sirve para definir oportunidades de transmisión en el canal upstream.
- RNG-REQ (Ranging Request).- Es transmitido por el CM al inicio de su operación y periódicamente

por petición del CMTS para determinar retrasos de la red y ajustes de poder.

- RNG-RSP (Ranging-Response).- Es transmitido por el CMTS en respuesta a un RNG-REQ recibido.
- REG-REQ (Registration Request).- Es transmitido por un CM al inicio de su operación después de recibir el archivo de parámetros del CM.
- REG-RSP (Registration Response).- Es transmitido por el CMTS en respuesta a un REG-REQ recibido. Contiene parámetros de flujo de servicio.
- REG-ACK (Registration Acknowledge).- Es transmitido por un CM en respuesta a un REG-RSP recibido del CMTS. Confirma la aceptación por parte del CM de los parámetros de Calidad de Servicio asociados con el Flujo de Servicio dado por el CMTS en el REG-RSP.

Los mensajes de administración MAC no mencionados, sirven entre otras cosas para cambiar el canal upstream en que está transmitiendo o el canal downstream en que está receptando el CM. Para crear, cambiar o eliminar flujos de servicio dinámicamente, es decir sin interrumpir la operación del CM. Para deshabilitar el CM permanentemente o por un período de tiempo específico.

2.6.1.2.4. Operación del protocolo MAC

El canal upstream es modelado como un flujo de mini-slots (intervalos de tiempo). El CMTS genera el tiempo de referencia para identificar esos mini-slots, y también se encarga de controlar el acceso a ellos por parte de los CMs. El CMTS envía un mensaje MAP en el canal downstream, que describe para algún intervalo, el uso que los mini-slots upstream harán con él. Un MAP puede describir algunos slots como autorizados para que estaciones particulares puedan transmitir datos en ellos, como disponibles para transmisiones en disputas, como

una oportunidad para que nuevas estaciones puedan ingresar a la red, y otros para mantenimiento.

El protocolo MAC usa el mecanismo petición/autorización. El CMTS asigna periódicamente una porción del canal de retorno para que cualquier módem envíe una petición de ancho de banda. Esa petición puede colisionar con la petición de otros módems, sin embargo, el CMTS puede variar tanto la longitud y frecuencia del intervalo de peticiones en disputa para mantener el número de colisiones al mínimo. Si ocurre una colisión, esta es resuelta por un algoritmo de resolución de disputas, DOCSIS usa el Truncated Binary Exponential Back-off.

Debido a que el CMTS recibe peticiones de todos los CMs que tienen datos para transmitir, este reserva dichos mini-slots en el camino de retorno, y periódicamente envía un mensaje a los CMs indicando los mini-slots específicos autorizados a cada uno de ellos. Dado que se reservó ancho de banda, dichas transmisiones serán libres de colisiones.

Para definir oportunidades de transmisión en el canal upstream, el CMTS transmite el mensaje de administración MAC llamado MAP. Este incluye un header de longitud fija seguido por un número variable de Elementos de Información (IEs). Un MAP contiene como mínimo dos IEs, uno para describir un intervalo y otro IE Null para terminar la lista; como máximo tiene 240 elementos de información.

Cada elemento de información define el uso permitido para un rango de mini-slots, y tiene un tamaño de 4 bytes, que consisten de un identificador de servicio de 14 bits, un código de uso del intervalo de 4 bits, y 14 bits de compensación de mini-slot. Existen cuatro tipos de identificadores de servicios: Broadcast, para todas las estaciones. Multicast, su uso se define administrativamente. Unicast, para un CM en particular o un servicio particular dentro de ese CM. Null address, no está dirigido hacia alguna estación. El código de uso del intervalo sirve para identificar al elemento de información. La duración de un IE es la diferencia entre

los bits de compensación de mini-slot del actual IE y el siguiente.

Entre los elementos de información, tenemos:

- Request: provee un intervalo upstream en el que las peticiones de ancho de banda para transmisión de datos upstream pueden ser hechas. Dependiendo de la identificación de servicio, si es broadcast, es una invitación para que los CMs disputen por las peticiones; si es unicast, es una invitación para que un particular CM pida ancho de banda, la misma que puede ser usada como parte de un esquema de QoS.
- Request/Data: provee un intervalo upstream en el que las peticiones para ancho de banda o paquetes de datos pequeños puedan ser transmitidos. Proporciona medios por el que el algoritmo de asignación puede prevenir de inmediato disputas de datos dentro de cargas ligeras. En este IE se usan Identificadores de Servicio multicast para especificar

el tamaño límite de la transmisión en un número particular de mini-slots.

- Initial Maintenance: provee un intervalo en el que nuevas estaciones pueden ingresar a la red.
- Station Maintenance: provee un intervalo en el que las estaciones desarrollan algún aspecto de mantenimiento de la red rutinario, como ajuste de poder.
- Short and Long Data Grant: provee una oportunidad para que un CM transmita uno o más PDUs upstream. Estos IEs son emitidos en respuesta a la petición de una estación, o porque administrativamente se da alguna cantidad de ancho de banda a una estación en particular.
- Null: termina todas las asignaciones actuales en la lista de IE.

- Data Acknowledge: reconoce que un dato PDU fue recibido. El CM pide este acknowledgment en un PDU que es transmitido durante un intervalo en disputas para detectar colisiones.

Una petición de ancho de banda upstream puede ser hecha usando el frame de petición o como petición piggyback¹ en el header extendido de algún frame de transmisión.

El frame de petición puede ser transmitido durante los siguientes intervalos:

- Request.
- Resquest/Data.
- Short Data Grant.
- Long Data Grant.

¹ Es un requerimiento de ancho de banda transmitido en un paquete de datos. Así se reduce el número total de paquetes requeridos, porque de otra manera la petición de ancho de banda tendría que ocupar un paquete completo y estaría sujeta a colisiones. Por tanto, peticiones piggyback sirven para optimizar los recursos de la red.

Piggyback es un requerimiento para ancho de banda adicional enviado en una transmisión de datos. Piggyback obvia disputas debido a que los requerimientos son transmitidos con los paquetes de datos.

La petición incluye:

- La identificación de servicio que está haciendo la petición.
- El número de mini-slots requeridos

La petición del CM debe ser lo suficientemente grande para acomodar el overhead de capa física en la transmisión del frame MAC. El CM no tiene que hacer una petición que pueda violar los límites en el tamaño de datos otorgado en el mensaje UCD o algún límite establecido por parámetros de QoS. En el mensaje MAP el CMTS no otorga más de 255 mini-slots a cualquier identificador de servicio asignado.

El número de oportunidades de transmisión asociado con un IE particular en un MAP es dependiente del tamaño total del intervalo así como del tamaño de una transmisión individual. Por ejemplo, un IE Request define un intervalo de 12 mini-slots; si el UCD define un tamaño de burst Request que encaja en un solo mini-slot, entonces hay 12 oportunidades de transmisión asociadas con este IE Request.

RESOLUCIÓN DE DISPUTAS

El algoritmo de resolución de disputas usado en DOCSIS es el truncated binary exponential back-off, con la ventana de back-off inicial y máxima controlada por el CMTS. Los valores son especificados en el mensaje MAP y representan un valor de potencia de dos. Un valor de 3 indica una ventana entre 0 y 7; un valor de 11 indica una ventana entre 0 y 2047.

Cada vez que un CM quiere transmitir en un intervalo en disputas, entra al proceso de resolución de disputas configurando el valor inicial de la ventana de back-off

definido en el MAP. El CM selecciona en forma aleatoria un número dentro de su ventana de back-off, este valor aleatorio indica el número de oportunidades de transmisión en disputas que el CM difiere antes de transmitir.

Después de una transmisión en disputas, el CM espera por un Data Acknowledge o por una oportunidad de transmisión asignada en el siguiente MAP. Una vez que sea recibido, la resolución en disputas es completada. El CM determina que la transmisión en disputas fue perdida cuando encuentra el siguiente MAP sin una oportunidad de transmisión asignada o sin un Data Acknowledge. Si esto ocurre, el CM incrementa su ventana de back-off por un factor de dos, ahora selecciona en forma aleatoria un número dentro de su nueva ventana de back-off y repite el proceso de diferir oportunidades de transmisión antes mencionado.

Este proceso continua hasta que el número máximo de reintentos (16) sea alcanzado, una vez sucedido esto el PDU se eliminará.

2.6.1.3. Subcapa de Convergencia de Transmisión

Un protocolo de convergencia de transmisión es aquel que permite que múltiples tipos de servicios compartan la misma portadora RF, en DOCSIS la subcapa de convergencia de transmisión es MPEG-2. Esto permite que los datos sean multiplexados con otros flujos MPEG, esto es video, voz y datos pueden ser enviados en el mismo canal, encapsulados con MPEG-2.

La subcapa de convergencia de transmisión - sólo en la dirección downstream - hace que los datos DOCSIS estén encapsulados en paquetes MPEG de 188 bytes, los cuales poseen 1 byte para fines de sincronización, 3 bytes de encabezamiento que contienen identificación del servicio, aleatorización e información de control, seguidos por 183 o 184 bytes de información DOCSIS.

Header MPEG (4 bytes)	pointer_field (1 byte)	Datos DOCSIS (183 o 184 bytes)
--------------------------	---------------------------	-----------------------------------

Figura 9. Paquete MPEG

El byte de sincronismo está destinado a facilitar la delimitación de paquetes y los bytes de encabezamiento tienen una capacidad para detección de errores independiente de la trama FEC. Por lo que es

posible tener al mismo tiempo sincronización de paquetes y detección de errores.

En los bytes de encabezamiento existe un campo llamado PUSI (indicador del comienzo de datos) de 1 bit de longitud, el mismo que si tiene un valor de 1 indica la presencia del campo de un puntero como el primer byte de datos útiles del paquete (quinto byte del paquete). El campo `pointer_field` está presente como el quinto byte del paquete MPEG, primer byte siguiente al header MPEG, siempre y cuando esté configurado en el mismo, el cual indica: el número de bytes en el paquete que inmediatamente siguen al `pointer_field` que el decodificador del CM debe saltar para ir al comienzo del frame DOCSIS.

MPEG-2 provee un mecanismo para identificar paquetes individuales dentro de un flujo MPEG-2, tal que un CM o un set-top box pueda identificar que paquetes debería decodificar. Este mecanismo llamado Identificador de Programa (PID) de 13 bits, es un campo que está presente en el header de todos los paquetes MPEG-2. DOCSIS ha declarado el valor 0x1FFE para ser el PID bien conocido para todo el tráfico al CM en ese canal. Los CMs DOCSIS sólo operan con paquetes MPEG que tengan este PID.

2.6.1.4. Subcapa Dependiente del Medio Físico (PMD)

UPSTREAM

Para transmisiones upstream, la subcapa dependiente del medio físico provee cinco tasas de símbolos: 160, 320, 640, 1280 y 2560 Ksym/seg con dos formatos de modulación que son QPSK y 16QAM, siendo válida cualquier combinación entre tasas de símbolo y formatos de modulación.

El ancho del canal ocupado por una portadora modulada digitalmente (RF) depende de dos parámetros: tasa de símbolo y filtrado (factor roll-off). Es decir, es igual a la suma del valor de tasa de símbolo y el porcentaje del factor de roll-off. En nuestro caso, el factor de roll-off es de 0,25.

Ancho del canal = tasa de símbolo * (1 + factor roll-off)

Tasa de símbolo (Ksym/seg)	Ancho del canal (Khz)
160	200
320	400
640	800
1.280	1.600
2.560	3.200

Tabla III. Ancho del canal upstream

Las transmisiones upstream se realizan mediante bursts de longitud variable, los mismos que son espacios de tiempo múltiples de 6,25 μ s. Cada Burst soporta una modulación flexible, tasa de símbolo, preámbulo, aleatorización de datos, y codificación programable FEC.

Las características de transmisión del canal upstream están separadas en tres partes: parámetros del canal, atributos del perfil del burst, y parámetros únicos del usuario.

Parámetros del canal

Los parámetros del canal incluyen la tasa de símbolo y la frecuencia central, siendo estas características compartidas por todos los usuarios de un canal dado.

Atributos del perfil del burst

Entre los atributos más importantes del perfil del burst, tenemos: modulación (QPSK, 16 QAM), codificación diferencial (on, off), longitud del preámbulo, corrección de errores, máxima longitud del burst (0 -255 mini-slots), tiempo de guardia (4 – 255 símbolos), etc., estos parámetros son atributos compartidos correspondientes a un tipo de burst.

Si la codificación diferencial es permitida, la subcapa upstream PMD aplicará las reglas de codificación diferenciales a todos los símbolos transmitidos. La longitud del preámbulo va desde 0, 2, 4,...., o 1024 bits para QPSK y 0, 4, 8,...., o 1024 bits para 16 QAM; esta longitud es variable porque es dependiente de los datos una vez que estos han sido aleatorizados y codificados con Reed Solomon. El máximo número de mini-slots que pueden ser transmitidos durante este tipo de burst es 255, una longitud de burst de 0 significa que la longitud del burst es variable en ese canal para ese tipo de burst, mientras su longitud no sea fija es otorgada explícitamente por el CMTS al CM en el MAP. El tiempo de guardia es medido desde el final del último símbolo de

un burst al comienzo del primer símbolo del preámbulo del siguiente burst.

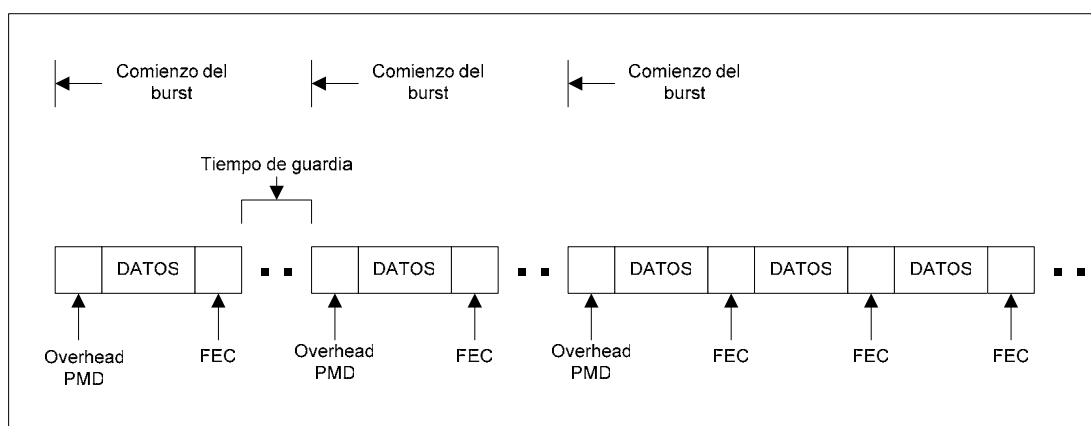


Figura 10. Transmisión upstream

Parámetros del Usuario

Los parámetros únicos del usuario pueden variar para cada uno de ellos incluso cuando estén usando el mismo tipo de burst en el mismo canal; entre los parámetros más importantes tenemos: nivel de poder, frecuencia offset, ranging offset, y longitud del burst. Estos parámetros sirven respectivamente para ajustar los niveles de poder de transmisión, adaptar la frecuencia de transmisión, ajustar el tiempo de referencia, y fijar la longitud del burst (1 – 255 mini-slots) si la misma es variable en este canal. El ranging

offset es necesario para sincronizar transmisiones en el esquema TDMA.

Todos los parámetros de transmisión a la salida del CM son configurados por el CMTS por medio de mensajes de administración MAC, por ejemplo, los parámetros del canal y los atributos del perfil del burst son transmitidos en el mensaje UCD a intervalos periódicos. El CM genera cada burst en el tiempo asignado por los mensajes MAP enviados por el CMTS.

CANAL DOWNSTREAM

La subcapa PMD downstream se basa en la recomendación ITU-T J.83-B, que describe la estructura de la trama, la codificación y modulación de canal. Se tienen dos tasas de símbolo y dos formatos de modulación 5,056 Msym/seg para 64 QAM y 5,360 Msym/seg para 256 QAM.

El factor de roll-off aproximado es de 0,18 y 0,12 para 64 QAM y 256 QAM respectivamente, con lo cual podemos obtener:

Ancho del canal = tasa de modulación * (1 + factor roll-off)

	Tasa de símbolo (Msym/seg)	Ancho del canal (MHz)
64 QAM	5,056	6
256 QAM	5,360	6

Tabla IV. Ancho del canal downstream

La subcapa PMD recibe tramas MPEG de 188 bytes cada una, a las cuales codifica y modula para que puedan ser transmitidas por el canal.

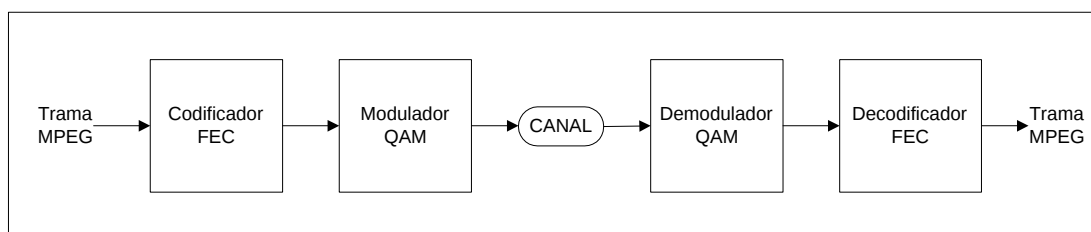


Figura 11. Diagrama de bloques para transmisión downstream

En la trama FEC intervienen la codificación Reed-Solomon, intercalación y aleatorización, las mismas que son sincronizadas a través de un registro de cola de sincronización que delimita la trama FEC, el cual es insertado por el codificador y detectado en el decodificador.

El tren de transporte MPEG-2 está codificado en Reed-Solomon usando un código (128,122) el cual indica que por cada 128

símbolos transmitidos, seis son de overhead y que además tiene la capacidad de corregir hasta $t=3$ errores de símbolo por bloque RS.

La intercalación se encarga de dispersar uniformemente los símbolos, protegiéndolos en el envío al decodificador Reed-Solomon de una ráfaga de errores de símbolo.

La aleatorización, se encarga de aleatorizar los datos en el canal para permitir una sincronización eficaz del demodulador QAM.

2.7. Canal Upstream

DOCSIS usa en el canal upstream tanto FDMA como TDMA. FDMA es usado para dividir el espectro asignado en múltiples canales upstream manteniendo múltiples CMs. TDMA es usado para la división del canal upstream, el mismo que es dividido en segmentos de tiempos iguales llamados mini-slots, los mismos que representan el tiempo necesitado para la transmisión de un número fijo de bytes.

El envío de datos en la dirección upstream es más propenso a tener problemas que en la dirección downstream, debido a que su frecuencia de transmisión es de 5 a 42 MHz, y puede ocasionar que algún ruido externo entre al canal en la

terminal del usuario o en la acometida de abonado y este va a ser amplificado hasta llegar al head-end ocasionando que la relación portadora a ruido disminuya. Por esta razón los formatos de modulación usados son QPSK y 16QAM, los cuales son más robustos contra el ruido.

Entre los parámetros que más degradan la señal del canal upstream se encuentran: El nivel de ruido (producido por la distorsión lineal, intermodulación, ruido impulsivo, corrientes inducidas, etc.) y la interferencia introducida en el canal de retorno por la radiación generada en otros sistemas electrónicos, tales como señales de radio, motores eléctricos, teléfonos móviles, red eléctrica del usuario, entre otros. Este efecto es acumulativo con el nivel del ruido, lo cual degrada la señal siendo a la vez muy difícil de eliminar.

Las señales generadas en el canal upstream por cada usuario junto con el ruido de los elementos de la red que pertenecen al dominio del cable coaxial que atraviesa amplificadores, conectores, etc., se van sumando y acaban convergiendo en el nodo óptico produciendo un efecto embudo, que aumenta en función de la cantidad de usuarios, ya que el ruido generado en cualquier punto afecta a todos los abonados del sector. Los nodos ópticos se ven limitados en su tamaño, debido al ruido generado por los usuarios residenciales al poseer un gran número de electrodomésticos, junto con los ruidos propios del cable.

La planta HFC mitiga este problema eliminando amplificadores análogos encontrados en la tradicional planta de cable, teniendo a cada rama del sistema sirviendo a pocos usuarios, y evitando que el canal upstream esté por debajo de la banda de 20 MHz, para evitar el ingreso de ruido e interferencia con otros usos como emisoras de banda ciudadana y radioaficionados.

Además de padecer deterioros de la señal por causa del ruido, las transmisiones upstream están caracterizadas por su espectro de frecuencia limitado, ya que sólo tienen 37 MHz (5 – 42 MHz) del mismo. Y con el incremento de penetración de servicios simétricos que requieren capacidad bi-direccional – telefonía IP, redes privadas y videoconferencia – los operadores de cable deben tener en cuenta la capacidad del espectro RF para transmisiones upstream.

2.7.1. Factores a tener en cuenta para la configuración del canal upstream

La configuración de los parámetros del canal upstream en un sistema de Cable Modem tiene un rol muy importante para el buen desempeño del mismo, puesto que se tiene que establecer los niveles de combinación del nodo, tasa de símbolo y formato de modulación, entre los principales, los cuales deben ser balanceados para el óptimo rendimiento de la red. Estos parámetros van de acuerdo a los requerimientos de servicios de datos, el número de suscriptores, estadísticas de uso de los suscriptores, y futuros

planes de expansión del servicio. Tales parámetros pueden ser configurados en diferentes niveles y en distintas combinaciones, y alcanzar la misma capacidad de servicio y nivel de rendimiento.

Dado que los formatos de modulación (QPSK y 16QAM) se pueden combinar con cualquier tasa de símbolo (160, 320, 640, 1.280, y 2.560 Ksym/seg), podemos hacer algunas comparaciones:

- Puesto que 16 QAM codifica cuatro bits/símbolo versus dos bits/símbolo de QPSK, el formato 16 QAM tendrá tasas de datos más altas que QPSK para todas las tasas de símbolos, ya que:
$$\text{bits/seg} = \text{símbolo/seg} * \text{bits/símbolo}.$$
- A la misma tasa de datos, el ancho del canal ocupado por el formato 16 QAM es la mitad de lo que ocupa el formato QPSK, debido a que la codificación de bits por símbolo de 16 QAM es dos veces más que QPSK.
- En el formato 16 QAM la separación de fase y magnitud de sus símbolos son menores que en QPSK, a la misma tasa de símbolo y para el mismo BER (número de bits erróneos en el canal), los

requerimientos de SNR del formato 16 QAM son mayores que el de QPSK.

Tasa de símbolo (Ksym/seg)	Ancho del canal (MHz)	Tasa de bits QPSK (Mbps)	Tasa de bits 16 QAM (Mbps)
160	0,2	0,32	0,64
320	0,4	0,64	1,28
640	0,8	1,28	2,56
1.280	1,6	2,56	5,12
2.560	3,2	5,12	10,24

Tabla V. Parámetros de configuración del canal upstream

En comparación a QPSK el formato 16 QAM presenta mayor eficiencia espectral y mayor eficiencia de datos, pero requiere una mayor CNR. Para escoger los apropiados parámetros de formato de modulación y tasa de símbolo, el operador necesita considerar:

- Si tiene disponible suficiente espectro upstream, le resulta más conveniente utilizar el formato QPSK que 16 QAM ya que es más robusto en la presencia de ruido porque presenta requerimientos de CNR más bajos y además puede alcanzar tasas de bits similares a las de 16 QAM.
- Si el espectro upstream es escaso, y se necesita una mayor tasa de bits debido a la demanda de capacidad por parte de los usuarios

pertenecientes a un canal upstream, 16 QAM proporcionará una mejor eficiencia espectral pero tendrá requerimientos de SNR más altos¹.

- Si los niveles de ingreso de ruido en la red varían significativamente o son altos, la mejor elección será el formato QPSK, por sus requerimientos de SNR más bajos.
- Se tiene que tener en cuenta la estimación de la demanda de capacidad de los usuarios pertenecientes a un canal upstream, ya que de acuerdo a esto se debe establecer la tasa de datos que será compartida por todos ellos, escogiendo la correcta combinación de formato de modulación y tasa de símbolo.

Además de establecer la combinación apropiada de formato de modulación y tasa de símbolo, se tiene que determinar el número de canales upstream que cubrirán un nodo óptico y que compartirán un canal downstream, basándose en la cantidad de usuarios por nodo, capacidad (tasa de bits) de los canales upstream y downstream, la cantidad de ancho de banda upstream y downstream contratada por cada usuario, y futuros planes de expansión del servicio en el sector.

¹ 16 QAM tendrá un requerimiento alrededor de 7 dB más de SNR que QPSK a una tasa de BER de 10^{-6} .

2.8. Canal downstream

El ancho del canal downstream¹ es de 6 MHz, el mismo que transporta datos - información, señalización y control - desde el head-end hasta los abonados, mediante esquemas de modulación con eficiencias espectrales altas que a la vez requieren mayores niveles² de SNR, como son 64 y 256 QAM. A la vez estos esquemas de modulación proveen altas tasas de datos que en conjunto con la baja tasa de errores debido a que en el canal downstream se dispone de niveles de SNR más elevados que en el upstream, proporcionan un mecanismo eficiente para la entrega de ancho de banda en el canal downstream.

2.9. Formatos de modulación

Los formatos de modulación definidos en DOCSIS 1.1 para transmisiones downstream, son: 64 y 256 QAM. En cambio para transmisiones upstream, se usan: QPSK y 16 QAM. Esto se debe a que existen diferentes niveles de ruido en los rangos de frecuencia asignados para tales transmisiones.

¹ De acuerdo a DOCSIS se puede ocupar cualquier canal de 6 MHz con frecuencia central entre 91 y 857 MHz.

² 256 QAM tiene un requerimiento alrededor de 6 dB más de SNR que 64 QAM a una tasa de BER de 10^{-6} .

Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura (QPSK)

Es una técnica de modulación digital en la que la información se va a modular en fase dependiendo de los valores de la entrada digital. La señal analógica modulada tiene 4 fases de salida diferentes para una misma frecuencia de portadora, manteniendo una amplitud constante. Los datos de entrada binarios están compuestos por grupos de dos bits que producen 4 posibles combinaciones: 00, 01, 10 y 11. Entonces lo que se hace es convertir grupos de dos bits de información en una señal analógica de amplitud constante y con cuatro fases posibles.

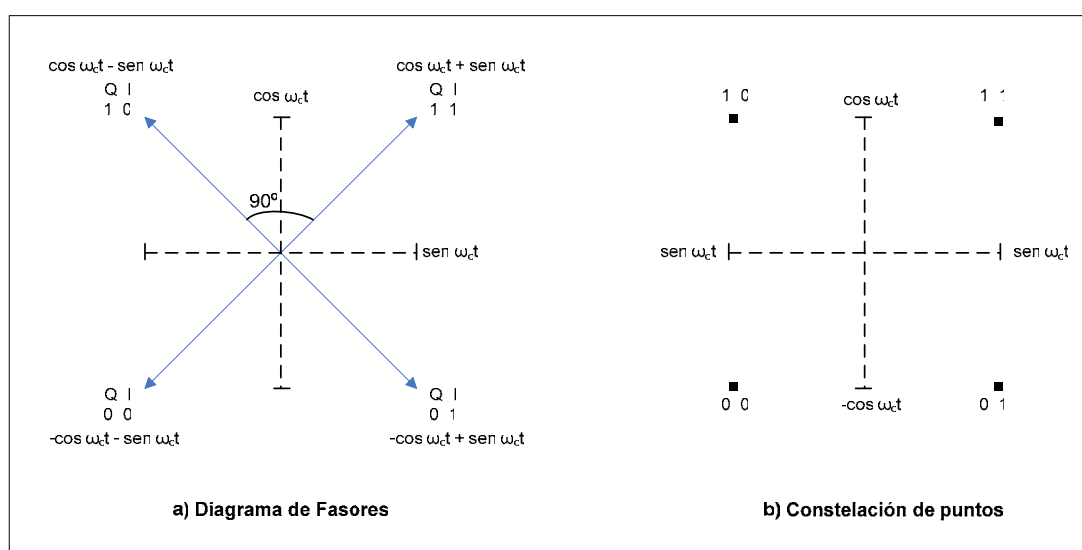


Figura 12. Diagrama de fasores y constelación de puntos - QPSK

Consideraciones sobre QPSK

La modulación QPSK consigue una buena inmunidad contra el ruido ya que la separación angular entre fases de salida adyacentes es de 90° , por lo que la señal modulada puede experimentar un desplazamiento de fase debido al ruido de casi $\pm 45^\circ$ durante la transmisión, y todavía guardar la integridad de la información. Entonces, cuanto menor sea la separación entre fases de salida adyacentes, menor será el margen de confianza y por tanto menos inmune al ruido.

Conviene señalar que si los códigos de 2 bits, de dos fases de salida adyacentes difieren entre sí en un solo bit, disminuye el número de errores en la transmisión, puesto que si una señal experimenta un desplazamiento de fase durante la transmisión –debido al ruido- hasta una fase adyacente, el error se produciría en solo uno de los bits recibidos. Este tipo de código recibe el nombre de Código de Gray o Código de Distancia Máxima.

Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM)

QAM es una técnica de modulación digital en la que la información va a ser modulada tanto en la amplitud como en fase. Es decir, la señal portadora va a ser modificada en amplitud y fase, para dar lugar a la salida analógica QAM. QAM

es un tipo de modulación M-aria en la que para grupos de k bits, podemos obtener $M=2^k$ salidas diferentes.

16QAM

Es un tipo de modulación QAM en la que $M=16$ y por consiguiente $k=4$ ($16=2^4$).

Entonces en 16 QAM, los datos de entrada binarios están compuestos por grupos de 4 bits.

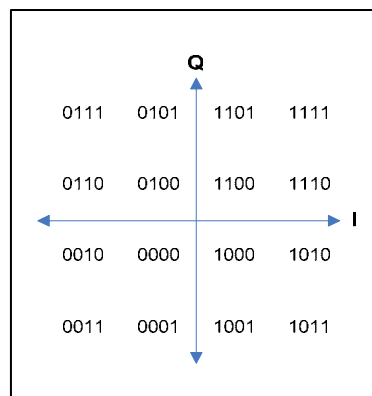


Figura 13. Constelación de puntos – 16QAM

64QAM

Es un tipo de modulación QAM en la que $M=64$ y por consiguiente $k=6$ ($64=2^6$).

Entonces en 64 QAM, los datos de entrada binarios están compuestos por grupos de 6 bits.

256QAM

Es un tipo de modulación QAM en la que $M=256$ y por consiguiente $k=8$ ($256=2^8$). Entonces en 256 QAM, los datos de entrada binarios están compuestos por grupos de 8 bits.

Consideraciones sobre QAM

En DOCSIS 1.1 las técnicas de modulación QAM usan el Código de Gray, por lo que disminuye sus probabilidades de bits erróneos durante la transmisión.

Comparando entre sí los distintos sistemas QAM se tiene que cuanto menor es M , la separación entre fases adyacentes es mayor y por tanto mejor comportamiento frente al ruido presenta la señal.

2.10. Niveles de señal requeridos en el head-end

Los niveles de poder de señal requeridos en el head-end varían de acuerdo a la transmisión que se realice, ciertos niveles para la entrada del demodulador upstream y otros para el modulador downstream.

Para la entrada del demodulador upstream el poder total máximo no excederá los 35 dBmV en el rango de frecuencia de operación de 5 – 42 MHz. Esto es, para que el nivel máximo a la entrada del demodulador upstream sea 35 dBmV, un voltaje máximo aproximado de 56 mV debe estar presente a través de la entrada de 75 ohm.

A continuación se detalla el máximo rango de poder nominal a recibir en cada portadora en la entrada del demodulador upstream, el cual varía de acuerdo a la tasa de símbolo usada:

Tasa de símbolo (Ksym/seg)	Rango máximo (dBmV)	Rango máximo apropiado en mV que debe estar presente a través de la entrada de 75 ohm
160	-16 a +14	0,158 a 5,012
320	-13 a +17	0,224 a 7,079
640	-10 a +20	0,316 a 10
1.280	-7 a +23	0,447 a 14,125
2.560	-4 a +26	0,631 a 19,953

Tabla VI. Niveles de poder en la entrada del demodulador upstream

La señal RF a la salida del modulador downstream del CMTS, es ajustable en el rango de 50 a 61 dBmV. Esto es, para que un nivel en el rango de 50 a 61 dBmV esté presente a la salida downstream del CMTS, debe estar presente a través de la salida de 75 ohm aproximadamente un voltaje en el rango de 316 a 1.122 mV.

Si el nivel de poder en la entrada del demodulador upstream es incrementado, entonces los CMs en la red HFC incrementarán su nivel de poder en la transmisión upstream. Esto incrementa la CNR superando el ruido en la planta RF.

Otro parámetro importante a considerar es la relación portadora a ruido, que se refiere a la razón expresada en decibeles, entre el nivel de la portadora de la señal y el nivel del ruido. DOCSIS indica que esta relación no deberá ser menor a 35 dB para la transmisión downstream.

2.11. Niveles de señal requeridos en el usuario

El nivel de poder nominal de la señal upstream del CM será tan baja como sea posible para lograr estar por encima de los márgenes requeridos de ruido e interferencia.

La señal modulada RF a la salida upstream del CM es:

Formato de modulación	Rango (un canal) -dBmV-	Rango máximo apropiado en mV que debe estar presente a través de la salida de 75 ohm
16 QAM	+8 a +55	2,511 a 562,341
QPSK	+8 a +58	2,511 a 794,328

Tabla VII. Niveles de poder a la salida del modulador upstream

La señal downstream a la entrada del CM está en el rango (un canal) de -15 dB mV a $+15$ dBmV. Esto es, para que un nivel en el rango de -15 a $+15$ dBmV de la señal downstream esté presente en la entrada del CM, debe estar presente a través de la entrada de 75 ohm aproximadamente un voltaje en el rango de 0.178 a 5.623 mV. El poder de entrada total (40-900MHz) es menor a 30 dBmV, es decir el voltaje de la entrada de 75 ohm será menor a 31.622 mV.

Se ha mencionado las características de nivel eléctrico a la entrada y salida del CM. Otras características importantes para transmisiones upstream, son la relación portadora a ruido que no deberá ser menor a 25 dB, y el retraso entre el CM más alejado y el CMTS, no podrá exceder 800 ms.

2.12. Autenticación y Seguridad

Uno de los objetivos del sistema de datos sobre cable es proveer una conexión segura desde la ubicación del usuario hasta el head-end del operador, es decir, otorgar privacidad al tráfico que fluye por la red de tal manera que los datos enviados o solicitados por un usuario no puedan ser copiados o sustraídos por otro. Además tiene que proteger al operador de que usuarios no autorizados hagan uso del servicio, otorgando seguridades al acceso de la red.

Cabe mencionar que el CM está diseñado para recibir/demodular en un rango de frecuencias (50 – 850 MHz), así mismo está diseñado para enviar/modular en otro rango de frecuencias (5 – 42 MHz). En consecuencia, todos los usuarios de Cable Modem en esta red compartida no tienen manera de demodular los datos del canal upstream porque el circuito demodulador de ellos es estrictamente para frecuencias de downstream. En otras palabras no hay forma de que un usuario de la red pueda demodular datos enviados por otro, siendo el CMTS el único equipo de la red que puede demodular los datos enviados por los CMs.

Otro punto importante a mencionar es que el CPE siempre está unido a la red de cable y a su vez a la Internet por medio del CM, por tanto podría decirse que está vulnerable a los ataques de hackers y/o crackers así el usuario no esté navegando en Internet; pero este problema ha sido resuelto por algunos de los fabricantes de CMs, los cuales tienen la funcionalidad para desconectarse del CPE sin desconectar al CM de la red RF, proporcionando flexibilidad y seguridad al usuario.

Al culminar la fase de registro cuando un CM inicia su operación, debe cargar códigos para que puedan ser validadas sus transmisiones dentro de la red, y de esta forma esté apto para transmitir datos sobre la misma.

La especificación de seguridad en DOCSIS 1.1 es BPI+, la misma que se compone de dos protocolos:

- 1) Un protocolo de encapsulación para encriptar los paquetes de datos a través de la red de cable. Este protocolo define: el formato del frame para llevar el paquete encriptado de datos dentro del frame MAC DOCSIS, algoritmos de autenticación y encriptación, y las reglas para aplicar esos algoritmos al frame MAC DOCSIS.
- 2) Y el protocolo BPKM, el cual provee la distribución segura de las llaves de datos desde el CMTS a los CMs sincronizando los datos codificados entre los mismos, además el CMTS usa este protocolo para imponer las condiciones de acceso a la red.

DOCSIS para encriptación de paquetes de datos emplea el Modo CBC del algoritmo DES. El header del frame MAC DOCSIS no es encriptado, ni los mensajes de administración MAC, puesto que estos últimos deben facilitar la operación normal de la subcapa MAC DOCSIS.

El protocolo BPKM usa el certificado digital X.509 para permitir al CMTS verificar la relación entre la identidad de un CM y su llave pública, el algoritmo para encriptar llaves públicas RSA y el Estándar para Encriptación de Datos

triple (3DES) para asegurar el intercambio de llaves entre el CM y el CMTS. Un CMTS autentica a un CM durante el intercambio inicial de autorización. Cada CM lleva un certificado digital X.509 único emitido por el fabricante de CM, este certificado digital contiene la codificación pública del CM junto a otra información de identificación, como por ejemplo, dirección MAC del CM, identificación del fabricante y número de serie. Cuando se requiere una llave de autorización, un CM presenta su certificado digital al CMTS; éste verifica el certificado digital, y entonces usa la codificación pública verificada para encriptar una llave de autorización¹, que el CMTS envía de regreso al requerimiento del CM.

Con el intercambio de llaves de autorización, el CMTS establece la autenticación de identidad de un usuario de CM, y los servicios que el CM está autorizado a acceder. El uso del certificado X.509 previene que los CMs clonados pasen credenciales falsas al CMTS.

Después de completar exitosamente la autenticación y autorización, el CM y el CMTS derivan de la llave de autorización, las llaves necesitadas para asegurar las peticiones subsecuentes del CM para llaves de encriptación de tráfico² y las

¹ El tiempo de duración recomendado por DOCSIS para esta llave de autorización, es como mínimo 1 día (86400 seg.) y máximo 70 días (6'048000 seg.), teniendo un valor por default de 7 días (604800 seg.).

² El tiempo de duración recomendado por DOCSIS para llaves de encriptación de tráfico, es como mínimo 30 minutos (1800 seg.) y máximo 7 días (604800 seg.), teniendo un valor por default de 12 horas (43200 seg.).

respuestas del CMTS para esas peticiones. Esta fase finaliza cuando el CMTS envía el mensaje de respuesta al CM con dichas llaves.

Asociaciones de Seguridad: Una asociación de seguridad (SA) es un conjunto de información de seguridad compartida entre el CMTS y uno o más de sus clientes CMs, que sirven para mantener comunicaciones seguras a través de la red de cable. La información de seguridad compartida incluye llaves de encriptación de tráfico, vectores de inicialización¹ CBC, y el identificador de asociación de seguridad (SAID, por sus siglas en inglés).

Luego de completar la fase de registro por parte del CM, se establece una asociación de seguridad primaria la cual está ligada a un solo CM, a la vez que también pueden existir asociaciones de seguridad dinámicas que son establecidas y eliminadas rápidamente en respuesta al inicio o fin de un flujo de tráfico downstream específico. pero que actualmente sólo son usadas para servicios de administración IP multicast DOCSIS.

Todo el tráfico upstream, así como los frames downstream que son paquetes unicast dirigidos a un dispositivo CPE serán encriptados bajo la asociación de seguridad primaria.

¹ Conjunto de bits aleatorios utilizados en modos de operación retro-alimentados de forma tal que un mismo mensaje se encripte siempre distinto. Estos vectores no tienen que permanecer secretos y pueden ser transmitidos junto con el mensaje cifrado.

La identificación de asociación de seguridad en combinación con otros campos del frame MAC DOCSIS en la dirección downstream otorgan al módem receptor un conjunto de material de codificación requerido para descifrar el frame MAC DOCSIS.

Por tanto podemos decir que BPI+ proporciona un buen nivel de privacidad de datos a través del medio compartido de la red de cable. BPI+ fue diseñado para ir de la mano con los nuevos servicios ofrecidos por DOCSIS 1.1, ya que suma autenticación al sistema de cable basado en certificados digitales, la misma que provee fuerte seguridad en contra de módems clonados y robo de servicio. Además el fabricante puede sumar mecanismos de seguridad y/o privacidad a los descritos por DOCSIS, ya que estos son los básicos a implementar en una red de datos sobre cable.

2.13. Calidad de Servicio

La implementación de calidad de servicio en una red de cable es compleja porque los recursos en la red son compartidos por diferentes aplicaciones que tienen diferentes necesidades de rendimiento. Así las aplicaciones en tiempo real como el servicio de telefonía requerirá mejores características de rendimiento de la red que el servicio de Internet.

La forma en que se mejora la Calidad de Servicio en DOCSIS 1.1 es por medio de la clasificación de paquetes que atraviesan la interfaz MAC RF en un Flujo de Servicio, así como también mediante la fragmentación y concatenación.

Un Flujo de Servicio es un servicio de transporte de capa MAC que proporciona transporte unidireccional de paquetes, ya sean en la dirección upstream o downstream; está caracterizado por un conjunto de parámetros de calidad de servicio como latencia, jitter, tamaño del paquete, y ancho de banda.

Fragmentación consiste en enviar una porción de un frame durante un intervalo de tiempo reservado (reduce jitter). La fragmentación es iniciada por el CMTS cuando otorga ancho de banda a un CM en particular con un tamaño de intervalo que es más pequeño que el correspondiente ancho de banda requerido por el CM. Esto es conocido como Slot Parcial.

La concatenación se refiere a enviar más de un frame durante una oportunidad de transmisión, esto permite al CM enviar varios paquetes en un gran burst en la transmisión upstream.

En cada archivo de configuración se definen por lo menos dos flujos de servicio: un flujo de servicio upstream primario y un flujo de servicio downstream primario, y es el flujo de servicio por default usado por el tráfico

no clasificado, incluyendo los mensajes de administración MAC. Los flujos de servicios adicionales definidos en el archivo de configuración crean flujos de servicios que están proporcionando servicios con parámetros de QoS.

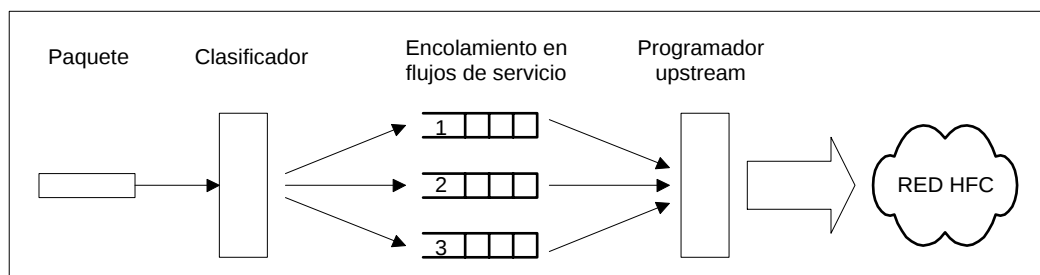


Figura 14. Flujos de servicio

Un Clasificador es un conjunto de criterios de comparación aplicados a cada paquete que entra a la red de cable, puede examinar el header LLC, el header IP/TCP/UDP, o alguna combinación de ellos. Está formado por criterios de comparación (ej: dirección IP, dirección MAC, etc.), la prioridad del clasificador, y una referencia para un flujo de servicio. Si un paquete iguala algún criterio de comparación, entonces es entregado al flujo de servicio que pertenece la referencia. La prioridad del Clasificador indica el orden de búsqueda del mismo, el que tiene prioridad más alta será aplicado primero. Si un paquete no iguala algún Clasificador, entonces será enviado al Flujo de Servicio Primario.

Los Clasificadores asocian los paquetes a un solo Flujo de Servicio. El Flujo de Servicio proporciona los parámetros de QoS para el tratamiento de esos paquetes en la interfaz RF, ya sea tráfico upstream o downstream.

Los atributos de QoS de un Flujo de Servicio pueden ser especificados en dos maneras: definiendo explícitamente todos los atributos, o implícitamente especificando un nombre de Clase de Servicio. Un nombre de Clase de Servicio es un flujo que el CMTS asocia con un conjunto de parámetros de QoS.

2.13.1. Flujos de Servicio

Como se mencionó en la sección anterior, un flujo de servicio es un servicio de transporte de capa MAC que proporciona transporte unidireccional de paquetes, sean éstos paquetes upstream transmitidos por el CM o paquetes downstream transmitidos por el CMTS. El CM y el CMTS priorizan el tráfico acorde al conjunto de parámetros de QoS definidos para el flujo de servicio.

Los servicios programables son diseñados para mejorar la eficiencia del acceso al medio compartido. Especificando un servicio programable y sus parámetros asociados de QoS, el CMTS puede anticipar el

rendimiento y latencia necesitada del tráfico upstream para otorgar oportunidades de transmisión a tiempos apropiados.

Los servicios programables upstream pueden ser uno de los siguientes:

Servicio de Slots no solicitados (UGS, por sus siglas en inglés): está diseñado para mantener flujos de servicios en tiempo real que generan paquetes de datos de tamaños fijos en intervalos periódicos, como VoIP, elimina el overhead y latencia de las peticiones de un CM y asegura que los intervalos estarán disponibles para mantener las necesidades de tiempo real del flujo. El CM no puede hacer peticiones en intervalos en disputas y el CMTS no debe proveer oportunidades de datos unicast. Peticiones piggyback también están prohibidas. Los parámetros de servicio son: Unsolicited Grant Size, Grants Per Interval, Nominal Grant Interval, Tolerated Grant Jitter.

Servicio de chequeo en tiempo real (rtPS, por sus siglas en inglés): está diseñado para soportar flujos de servicio en tiempo real que generan paquetes de datos de tamaño variable en intervalos periódicos, como video MPEG. El servicio ofrece tiempo real, periódico, oportunidades de petición unicast, que mantienen las necesidades de tiempo real del flujo y permiten al CM especificar el tamaño del intervalo deseado. Este servicio

requiere más overhead que UGS, pero soporta tamaños de intervalos variables optimizando la eficiencia en el transporte de datos. Cuando la fuente está inactiva, las reservaciones de transmisión son liberadas a otros flujos. El CM no puede hacer peticiones en intervalos en disputas, ni peticiones piggyback. El CM sólo usa oportunidades de petición unicast para obtener oportunidades de transmisión upstream. Los parámetros de servicio son: Nominal Polling Interval, y Tolerated Poll Jitter.

Servicio de Slots no solicitados con detección de actividad (UGS/AD, por sus siglas en inglés): está diseñado para mantener flujos UGS que pueden pasar a inactivos durante cierto tiempo (decenas de milisegundos o más), como VoIP con supresión de silencio. El servicio proporciona intervalos no solicitados periódicos cuando el flujo está activo y provee oportunidades de petición unicast cuando el flujo está inactivo. Esto combina el bajo overhead y baja latencia de UGS con la eficiencia de rtPS. Es decir UGS/AD combina UGS y rtPS, y sólo un servicio de programación está activo a la vez. EL CM no puede hacer peticiones en intervalos en disputas, ni peticiones piggyback. Los parámetros de servicio son: Nominal Polling Interval, Tolerated Poll Jitter, Nominal Grant Interval, Tolerated Grant Jitter, y Unsolicited Grant Size.

Servicio de chequeo en tiempo no real (nrtPS, por sus siglas en inglés): está diseñado para soportar flujos en tiempo no real que requieren periódicamente intervalos de datos de tamaño variable, como gran capacidad de ancho de banda FTP. El servicio ofrece oportunidades de petición unicast en intervalos periódicos, que asegura que el flujo recibe oportunidades de petición incluso durante congestión de red. El CMTS provee oportunidades de petición unicast. El CM puede usar las oportunidades de peticiones en intervalos en disputas así como oportunidades de petición unicast. Los parámetros de servicios son: Nominal Polling Interval y Traffic Priority.

Servicio de mejor esfuerzo (BE, por sus siglas en inglés): proporciona al tráfico servicios de mejor esfuerzo¹. El CM puede usar las oportunidades de peticiones en intervalos en disputas, unicast, así como también peticiones piggyback. Los parámetros de servicio son: Traffic Priority, Tasa de tráfico mínima reservada y Tasa de tráfico máxima sostenida.

¹ Sin garantías de QoS

2.13.2. Parámetros de Servicio

Nominal Polling Interval: especifica el intervalo nominal entre sucesivas oportunidades de petición unicast. Este parámetro es usado en rtPS y nrtPS.

Tolerated Poll Jitter: especifica la máxima cantidad de tiempo que el intervalo de petición unicast puede retrasarse con respecto al programado.

Unsolicited Grant Size: usado por el CMTS para computar el tamaño (bytes) del intervalo no solicitado en unidades de mini-slots.

Nominal Grant Interval: especifica el intervalo nominal (en unidades de microsegundos) entre sucesivas oportunidades otorgadas de datos. Este parámetro es requerido para UGS y UGS/AD.

Tolerated Grant Jitter: especifica la máxima cantidad de tiempo que las oportunidades de transmisión se pueden retrasar del intervalo nominal programado (medido en microsegundos).

Grants per Interval: para UGS, el valor de este parámetro indica el número actual de datos otorgados por intervalo. Para UGS/AD, el valor de este parámetro indica el máximo número de datos otorgados activos por intervalo.

Traffic Priority: especifica la prioridad asignada a un flujo de servicio, el rango válido es: 0-7.

Tasa de tráfico mínima reservada: especifica la tasa mínima en bits por segundo, reservada para este flujo de servicio.

Tasa de tráfico máxima sostenida: representa la tasa máxima que puede ser enviada durante este flujo de servicio.

2.14. Tráfico esperado

El rendimiento efectivo disponible para los suscriptores de un servicio siempre será menor que el máximo teórico, y es el que se tratará de calcular.

La red dentro de un sector puede tener bajo rendimiento, puesto que los datos tienen que pasar a través del cable coaxial, taps y amplificadores. Si esos componentes de red están deteriorados, ellos pueden afectar la transferencia de

datos. En muchos casos los proveedores reemplazan en la acometida del abonado el tradicional estándar coaxial RG-59 con otro que tenga mayores protecciones¹, y algunas veces suman filtros antes de la introducción del servicio de datos. El rendimiento también se puede ver afectado por el número de usuarios de Cable Modem en un sector dado y los requerimientos de red de las distintas actividades que esos usuarios estén realizando, ya que la tecnología de Cable Modem utiliza un medio compartido en el que todos los usuarios servidos por un nodo comparten ancho de banda.

En Internet es imposible asegurar una velocidad de transferencia, ya que esto depende del camino que recorre la información y del tipo de conexión a Internet que tiene el servidor con el cual se está transfiriendo información.

Existen diferentes factores que inciden en el rendimiento de la conexión, por lo cual no podríamos hablar de una velocidad constante. Si el contenido que está accediendo un usuario en Internet no está en el servidor caché del head-end del proveedor, entonces la petición de acceso debe viajar más allá de la red de Cable Modem, es decir a la tradicional Internet. No importa si la conexión es dial-up, Cable Modem, ADSL, o cualquier otra, se someterá a las velocidades en la Internet, que incluye routers lentos y congestionados, servidores, líneas T1, E1, etc. Cable Modem no hace que la Internet sea una red más rápida, lo

¹ Cable coaxial que presenta mejores características contra el ruido, como por ejemplo triple amallado.

que hace simplemente es que la conexión entre el CPE del usuario y el backbone del operador sea más rápida. Otro de los factores que afectan el rendimiento de la conexión son el rendimiento de los servidores a los cuales se está conectando:

- Algunos servidores son consultados al mismo tiempo por gran cantidad de personas y esto hace que se vuelvan lentos en responder solicitudes.
- La hora a la cual se conecta: ciertas horas del día son más congestionadas que otras.
- Los recursos con los cuales cuenta el computador: memoria ram, procesador, etc.

Por estas razones es posible que se pueda conectar o bajar archivos más rápido en algunos servidores a diferencia de otros.

2.14.1. Downstream

Si se usa el esquema de modulación 64-QAM, en el cual se codifican 6 bits por símbolo, con una tasa de modulación de 5,057 Msym/seg, tendríamos una tasa de bits de $5,057 * 6 = 30,342$ Mpbs.

Dado que se usa FEC Reed-Solomon con un código 128/122, lo cual indica que existen 6 símbolos de overhead por cada 128 símbolos, que significan $6/128 = 4,7 \%$. MPEG-2 tiene paquetes de 188 bytes con 4 bytes de overhead, algunas veces 5, lo cual resulta $4.5/188 = 2,4 \%$. A esto hay que sumar aproximadamente el 4% de overhead producido por el tráfico MAP de DOCSIS. Lo que nos da una tasa de bits efectiva aproximadamente de 27 Mbps por canal downstream. Cabe mencionar que el paquete ethernet tiene 6 bytes de overhead DOCSIS, 18 bytes de la trama ethernet y también overhead IP. Lo que ocasionaría un overhead aproximado de 1,5% para cada usuario en una transmisión downstream.

El rendimiento del canal downstream como se mencionó anteriormente es reducido por la transmisión de mensajes MAP enviados por el CMTS. El tamaño del MAP depende del algoritmo de asignación de cada fabricante, el cual puede variar el tamaño del mismo para proveer un balance en la utilización de la red y bajar el retardo, pudiendo fácilmente influir con el 3 – 10% de overhead. Si asumimos que un MAP es enviado cada 4 ms, quiere decir que en un segundo se transmitirán 250 MAP en cada canal upstream, y si el MAP tiene 66 bytes, resultaría $66 \text{ bytes} * 8 \text{ bits/byte} * 250 \text{ MAP/seg} = 132000 \text{ bps}$. Si se tienen 8 puertos upstream compartiendo un puerto downstream por cada tarjeta del CMTS,

tendríamos $8 * 132000 = \sim 1$ Mbps de la capacidad del canal downstream siendo usado para soportar todos los mensajes MAP¹.

Hay otros mensajes de mantenimiento del sistema que son transmitidos en el canal downstream, los cuales incrementan el overhead, pero su efecto en el rendimiento del canal downstream no es apreciable.

Por lo tanto, cada canal downstream tiene una tasa de bits efectiva aproximadamente de 27 Mbps, la misma que debe ser correctamente dimensionada por el operador de acuerdo a los requerimientos de los usuarios que compartan el canal.

2.14.2. Upstream

Si el esquema de modulación usado en el canal upstream es QPSK, el cual tiene 2 bits/sym, a una tasa de 2560 Ksym/seg, resulta una tasa de bits de 5,12 Mbps. El overhead de la trama MAC junto con el de la subcapa PMD en el canal upstream ocuparían alrededor del 9% del ancho de banda del canal, el overhead por mantenimiento, y acknowledgments es aproximadamente el 10%, quedando una tasa de bits efectiva

¹ Se asume que se envían 5 elementos de información -request, initial maintenance, station maintenance, long data grant, y null- en cada MAP.

aproximadamente de 4,2 Mbps, que es compartida por todos los usuarios que pertenecen al canal upstream.

Antes de presentar las tramas MAC en el medio coaxial estas deben ser procesadas por el nivel PMD, donde se le aplica la modulación y comprobación de errores. La subcapa PMD añade una cabecera indicando el comienzo, y bytes de paridad FEC al final de la trama MAC, además de los bits de tiempo de guardia que existen entre los burst transmitidos. La trama MAC posee 18 bytes de header de la trama IEEE 802.3, 6 bytes del header MAC y alrededor de 128 bytes de overhead PMD. Lo que puede ocasionar un overhead alrededor del $(152/1652)$ 9%.

Entre los mensajes que intervienen en el overhead del canal upstream se encuentran: frame de petición de ancho de banda, así como sus retransmisiones cuando existan colisiones, ranging request, y acknowledgment.

Dado que el CM debe primero pedir permiso al CMTS para transmitir datos, éste sirve esos requerimientos verificando la disponibilidad del programador MAP y encolando para la siguiente oportunidad de transmisión unicast, lo que produce latencia en las transmisiones upstream. Si es disminuido el tiempo del MAP, habrá más mensajes

MAP, por lo tanto existirán más oportunidades de transmisión upstream, así como también más overhead downstream.

Disminuyendo el número de casas servidas por cada puerto del CMTS costará más dinero, pero aliviará los cuellos de botella que podrían producirse en la red.

2.14.3. Razones para el bajo rendimiento de la red

Entre las principales razones para bajo rendimiento del acceso a Internet por medio del sistema de cable, se encuentran factores internos y externos a la red:

- Ruido y errores en la planta de cable.
- Congestión del canal upstream y downstream.
- Uso del CPU en el CMTS.
- Bajo rendimiento del CPE
- Congestión de servidores en Internet.

Cada uno de estos puntos, individualmente o en combinación puede afectar el rendimiento en una red de cable.

Ruido y errores en la planta de cable

Si hay una excesiva cantidad de ruido o ingreso del mismo en un sistema de cable, entonces los paquetes entre los CMs y el CMTS serán corruptos o perdidos, así como también existirá una pobre conectividad del CM.

Algunos de los primeros indicadores de ruido o problemas RF incluyen:

- Bajos niveles de CNR que pueden afectar la continua operación upstream y downstream. La especificación DOCSIS recomienda un CNR de al menos 25 dB para todas las señales upstream, y arriba de 35 dB en el downstream.
- Que el CM esporádicamente pierda conectividad, puesto que luego de que esté conectado y operacional, para permanecer online tiene que cumplir los siguientes requisitos:

- o Recibir oportunidades de transmisión unicast por parte del CMTS como máximo durante cada 35 segundos. Hay oportunidades de transmisión unicast para el SID asignado al CM, en el que este puede enviar un RNG-REQ al CMTS. Si el CM no recibe una oportunidad de transmisión unicast dentro de 35 segundos tiene que salir de la red y reiniciarse. Si hay un problema (RF) en el downstream, el CM quizá no vea esta oportunidad de transmisión unicast y por tanto, pierda conectividad con la red.
 - o Si el CMTS no recibe una respuesta por parte del CM de la oportunidad de transmisión unicast, intentará informar al mismo hasta que reciba una respuesta o hasta que el máximo número de intentos (default es 16) sea alcanzado. Una vez llegado al máximo número de intentos, el CMTS en caso de no obtener una respuesta por parte del CM lo considerará fuera de la red.
 - o Si el CM no recibe un mensaje SYNC por parte del CMTS como máximo durante cada 600 mseg., el CM se reiniciará.
- Niveles de poder variando rápidamente en el CM indican una pobre conexión a la planta de cable, una falla en el amplificador del camino

upstream, o cambios constantes en la atenuación de la planta de cable debido a la temperatura u otros efectos del ambiente.

- Un rápido incremento en el número de FEC. Existen errores Corr FEC que indican que el dato fue corrupto por ruido upstream pero pudo ser recuperado. Errores Uncorr FEC indican que el dato fue corrupto por ruido upstream y no pudo ser recuperado, resultando en pérdida de datos.

Congestión del canal upstream y downstream

En el sistema de datos sobre cable generalmente se emplea el formato de modulación QPSK y 64 QAM, para transmisiones upstream y downstream respectivamente.

Es importante asegurar que la capacidad del canal upstream y downstream no comience a ser congestionado, caso contrario los usuarios en ese segmento sufrirán un bajo rendimiento.

Maneras de evitar la congestión:

- Reduciendo el número de CMs por canal.

- Cambiando el esquema de modulación digital.
- Reduciendo la tasa upstream permitida por cada CM.

Se puede incrementar la capacidad del canal upstream y downstream para permitir que más módems transmitan en el canal cambiando los esquemas de modulación a 16 QAM y 256 QAM respectivamente, sin embargo, antes de hacerlo se debe realizar un análisis exhaustivo del espectro upstream y downstream para verificar que en la banda de frecuencia donde se encuentran disponibles soporten tales esquemas de modulación, ya que necesitan niveles de CNR más altos.

Se puede también emplear una tasa de 2560 Ksym/seg en el canal upstream, en el caso de que se esté usando una tasa menor.

Uso del CPU en el CMTS

En algunas circunstancias la capacidad de procesamiento del CMTS puede comenzar a sobrecargarse debido a la gran cantidad de paquetes que están siendo ruteados por él.

Bajo rendimiento del CPE

En algunos casos, la causa del acceso lento a la red de cable es un problema debido al equipo CPE que se encuentra donde el usuario. Si sólo uno o un grupo de usuarios están experimentando lentitud en el acceso a Internet, y el resto de usuarios no experimentan problema, entonces esto es un indicio de que el problema está ubicado en el ambiente del usuario. Puede ser que el CPE tenga virus, esté ejecutando algún firewall, u otro software similar, los cuales pueden tener un impacto negativo en el rendimiento.

Congestión de servidores en Internet

Problemas del rendimiento pueden no ser debido a problemas en la planta de cable o en el CMTS, sino a servidores congestionados en la Internet. Pero puede estar relacionado con la congestión o problemas en la red que el CMTS usa para conectarse al Internet.

2.15. Voz sobre IP

VoIP surge como una tecnología de alta calidad, confiable y escalable, ofreciendo beneficios tanto para los usuarios como para los operadores de red y

proveedores. La tecnología de VoIP resulta muy atractiva para los operadores de red porque los costos de equipo son relativamente bajos en relación a los usados para conmutación de circuitos empleada en la telefonía convencional, integra aplicaciones de voz y datos, tiene menores requerimientos de ancho de banda, y se fundamenta en un protocolo mundialmente aceptado como lo es IP.

Las redes telefónicas convencionales evitan retardos estableciendo circuitos dedicados entre los puntos finales de una llamada. En una red digital de telecomunicaciones cada circuito requiere 64 Kbps. Sin embargo el control ofrecido por conmutación de circuitos viene con el precio de desperdiciar ancho de banda, ya que en períodos de silencio o en numerosas pausas durante una conversación telefónica se hace el uso total de los 64 Kbps.

Redes de paquetes de datos no orientadas a conexión tienen características opuestas. Los recursos de la red son compartidos y solamente usados cuando los datos en la red son enviados o recibidos. Usando algoritmos de compresión, las llamadas telefónicas pueden ser entregadas a tasas de 11,8 Kbps¹ en formato de paquete, ofreciendo más eficiencia de ancho de banda. El problema es que la red de datos compartida puede estar sujeta a niveles de retardo que dañan la calidad de la llamada.

¹ Para alcanzar una compresión a 11,8 Kbps se usa el CODEC G.729E, cabe recordar que a medida que el ancho de banda disminuye, la calidad de la voz se ve afectada. Es por esto que elegir el CODEC apropiado es muy importante para el operador, ya que se verá reflejado en la satisfacción de los usuarios.

Los paquetes de voz deben tener prioridad sobre los paquetes de datos, por tanto, estrictos esquemas de QoS y priorización son requeridos para asegurar que los paquetes de voz alcancen su destino dentro de un retardo máximo. De otra manera puede ocurrir jitter causando distorsión y pausas inaceptables durante una llamada. Entre los más significantes factores de QoS se encuentran: latencia, ecos, jitter y pérdida de paquetes.

Latencia.- o delay, causa dos problemas: el eco y la superposición de llamadas. El eco¹ comienza a ser un problema significante cuando el delay es mayor que 50 milisegundos, la superposición de llamadas comienza a ser significante si el delay es mayor que 250 milisegundos. Entre los factores que intervienen en el delay de una transmisión, se encuentran: retardo de procesamiento por parte del hardware empleado para la transmisión, retardo causado por la red, y el tiempo necesario para obtener una oportunidad de transmisión (necesitado en el canal upstream).

Eco.- el eco es generado hacia la red desde el teléfono. El cancelador de eco compara los datos de voz recibidos de la red con los datos de voz que están siendo transmitidos a la red. El eco en el teléfono es removido por un filtro digital en el camino de transmisión hacia la red.

¹ Los fabricantes de equipos son quienes implementan canceladores de ecos.

Jitter.- es la variación del tiempo de arribo de los paquetes, debido a que no todos los paquetes atraviesan la red a la misma velocidad. La remoción de jitter implica el almacenamiento de paquetes un tiempo suficiente de tal forma que permita a los paquetes más lentos llegar y ser ubicados en la secuencia correcta, lo que causaría mayor delay. La meta es minimizar el delay y eliminar el jitter haciendo un buen dimensionamiento del buffer. Una manera es contando el número de paquetes que llegan retrasados y crear una relación de esos paquetes con el número de paquetes que son exitosamente procesados.

Una persona podría acostumbrarse a un cierto tiempo de retraso en la conversación, si el mismo es constante; pero si el retraso es variable le será muy difícil llevar una conversación coherente.

Pérdida de paquetes.- la pérdida de paquetes puede ser debido a que existe congestión en el nodo o por ingreso de ruido, éste último se da principalmente en el canal upstream. Si el porcentaje de paquetes perdidos en una conversación es muy pequeño, no sería perceptible para las personas involucradas en ella, por lo que para la transmisión de voz se considera aceptable una pérdida de paquetes menor al 3%, aunque lo ideal es mantenerse por debajo del 0.1%.

Cabe mencionar que los paquetes de voz no pueden ser corregidos mediante retransmisiones como son los paquetes de datos.

2.15.1. Voz sobre cable

Voz sobre cable es un esquema que dinámicamente asigna recursos como se los necesita haciendo mucho mejor el uso de los mismos, ya que los usuarios tienen diferentes necesidades que varían con el tiempo, haciéndolo diferente a un sistema de comunicación convencional, donde se dedica un alambre de par trenzado desde la central para cada usuario.

Telefonía IP sobre cable consolida los servicios de comunicaciones provistos por el operador, puesto que ya ha realizado cambios técnicos en la red para proveer el servicio de Internet, y ahora los operadores de cable están llevando sus esfuerzos para entregar el servicio de voz e Internet usando el mismo espectro de cable.

Hasta ahora, los operadores de televisión por cable estaban acostumbrados a ofrecer un cierto número de canales de televisión y cobrar por esto una cantidad fija al mes. Incluso el servicio de Internet puede cobrarse de esta manera. El servicio telefónico, al contrario, se ha de cobrar en función del uso que cada abonado haga de él o si el operador lo considera oportuno puede asignar una tarifa plana a la cual le incrementaría el costo de interconexión para las llamadas que terminen en redes de otras operadoras.

La mejor opción tecnológica a ser usada por el operador de cable es llevar la señal RF hasta el hogar, puesto que representa menos costos y mejores opciones de operación. De este modo todas las señales comparten el espectro RF de la red HFC. Las señales telefónicas se convierten a banda base en el hogar del abonado, donde está ubicado un equipo que sirve de interfaz entre la red HFC y el teléfono.

En la transmisión de voz sobre una red de cable se asignarán flujos de servicio por cada abonado que ingrese a la red, los mismos que compartirán la capacidad del canal upstream y downstream al que pertenecen.

Con la entrega de servicios de voz basado en paquetes sobre redes de cable, el operador crea nuevos flujos de ingresos, pasando a compartir el mercado con las operadoras telefónicas, a la vez que amortiza la inversión de la red HFC sobre un amplio rango de servicios. Los operadores que buscan capturar ingresos pueden desarrollar soluciones PacketCable que aseguran la interoperabilidad y a la vez proveen las capacidades de tiempo real necesitadas para servicios de telefonía.

Las características de seguridad y QoS que presenta DOCSIS 1.1 son necesarias pero no suficientes para comunicaciones de voz. Para llenar el

vacío dejado por DOCSIS, CableLabs creó la especificación PacketCable conocida como el protocolo para Señalización de LLamadas de Voz Sobre Redes de Cable (NCS, por sus siglas en inglés).

2.15.1.1. Packet Cable

PacketCable es una especificación creada por CableLabs para definir una plataforma común para la entrega de servicios en tiempo real sobre un sistema de cable. PacketCable necesita DOCSIS 1.1 para sus rasgos de QoS, para que las llamadas que van sobre el camino de cable (hoy en día el camino de Cable Modem) sean claras y sincronizadas, y el grado de servicio sea paralelo al actualmente ofrecido por una PSTN. PacketCable y DOCSIS 1.1 proveen una solución integrada que permite alta calidad de voz y servicios de datos a ser entregados sobre la misma red HFC de dos vías.

Soporta varias funciones fin-a-fin, que incluyen señalización para servicios, medio de transporte a niveles variables de QoS, seguridad, facturación, y otras funciones de administración de la red.

El operador al construir su propia infraestructura telefónica, ganará control sobre el flujo de llamadas y puede asegurar que las políticas de QoS están aplicadas a través de toda la infraestructura. Una función importante en la entrega de servicio es la facturación, la arquitectura está diseñada para mantener mecanismos que rastreen y registren la información del uso del acceso a los recursos de la red, que finalmente genera el rédito para el operador de cable.

El modelo de PacketCable tiene varios componentes, como son:

- MTA.- encargado de convertir la voz analógica en paquetes IP y viceversa.
- CMTS.- es el responsable de gestionar los recursos en la red HFC para que sean permitidas las comunicaciones de voz.
- CA (Call Agent).- controla al MTA y maneja los estados de la comunicación.

- GC (Gate Controller).- controla la operación de los Gates¹ implementados en el CMTS, lo que permite habilitar la calidad de servicio dinámica definida en el estándar.
- MGC (Media Gateway Controller).- administra la información de señalización de llamadas entre PacketCable y la PSTN.
- MG (Media Gateway).- proporciona la interfaz de circuitos que permiten la interconexión de la red de telefonía IP a la PSTN.
- SG (Signaling Gateway).- adapta mensajes de señalización entre el sistema IP y el SS7.
- RKS (Record Keeping Server).- su función principal es la de facturación. Recibe información de otros elementos de PacketCable -CA, GC, CMTS, MGC- con lo cual puede generar los denominados Call Detail Records que son los que permiten el detalle de las llamadas de los clientes.

¹ Es una entidad lógica que reside en un CMTS. Actúa de forma unidireccional como entidad de control de recursos de QoS entre la red de acceso y el backbone del operador.

Por lo general estos componentes vienen integrados en un solo dispositivo conocido como Softswitch.

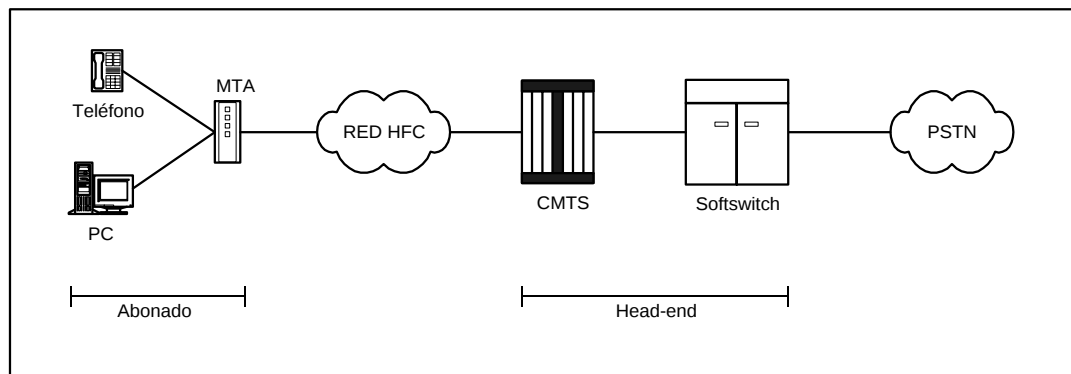


Figura 15. Voz sobre cable

La llamada de voz es conectada a través de un MTA en la ubicación del suscriptor. Una vez que el teléfono está enganchado, el MTA indica al CMTS que necesita tratamiento de prioridad para una llamada de voz, y entonces el CMTS prepara un flujo de servicio y establece un UGS que le da al MTA una oportunidad para transmitir flujos cada cierto tiempo sin la necesidad de solicitar o disputar ancho de banda con el tráfico de datos best-effort.

Los flujos de voz son transmitidos al hub de distribución usando las especificaciones DOCSIS 1.1 y PacketCable. Las llamadas entre los suscriptores del operador de cable son ruteadas dentro

de la red del operador, y todas las otras llamadas son conmutadas a la PSTN.

2.15.1.2. Factores a considerar en la red de cable al entregar el servicio de telefonía

El servicio de telefonía requiere un alto grado de confiabilidad de la red HFC, y debe tratar de igualar el rendimiento de la PSTN. En una red HFC existen numerosos elementos susceptibles a fallar: derivadores, amplificadores, transmisores y receptores ópticos, servidores en la cabecera, cable y elementos pasivos de la red de fibra óptica, acometida de abonado, cable coaxial, sistema de alimentación, y otros. De todos ellos, los tres últimos son los que en mayor medida contribuyen con sus fallos al tiempo total de no-disponibilidad de la red.

La acometida al hogar del abonado es uno de los puntos más problemáticos de la red coaxial debido básicamente a los conectores tipo F, que en ocasiones no están bien montados o simplemente están mal conectados. Por otra parte, la prioridad que se daba a las averías en las acometidas de los abonados individuales antes de la llegada de los nuevos servicios era

relativamente baja, por lo que un abonado podía permanecer desconectado o con problemas en su servicio de televisión por cable durante algún tiempo considerable. La nueva concepción de la red HFC como red de telecomunicaciones de banda ancha y los problemas asociados a las comunicaciones por el canal de retorno que provocan estas averías individuales obligan a que el operador reconsidere estas prioridades de reparación.

Como se sabe, cuando se produce un fallo en el suministro eléctrico el teléfono sigue funcionando con normalidad, ya que recibe la alimentación desde la central telefónica. Esto es bueno desde el punto de vista de la percepción que el abonado tiene de la fiabilidad de la red telefónica. En una red HFC, proporcionar una calidad de servicio comparable a la de la PSTN supone llevar la alimentación -por el propio cable coaxial- desde el nodo óptico hasta el equipo que hace de interfaz entre el teléfono del abonado y la red de cable, Para ello, es necesario dotar a los nodos de fuentes de poder de back-up, o UPS basados en baterías.

Si la alimentación de energía no es llevada por el cable coaxial, sino que la fuente de poder de la red y la interfaz -MTA- entre el

teléfono del abonado y la red de cable son independientes, el usuario también tendría que agregarle una fuente de poder de back-up a dicho equipo.

Para ofrecer el servicio de telefonía sobre la red de cable, a más de realizar las adiciones en cuanto a equipos se refiere, se necesita también tener en cuenta lo siguiente: parámetros de configuración del MTA, tamaño de los nodos ópticos, y parámetros de configuración del CMTS.

- Entre los principales parámetros de configuración del MTA se encuentran: CODEC de VoIP, período de empaquetamiento, estado de detección de actividad de voz y el tamaño del buffer.
 - CODEC¹ VoIP: define la tasa de bits de transmisión. Usando el CODEC que posea la más baja tasa de bits permitirá usar mejor la capacidad del canal, pero se degradará la calidad de la voz, y también se necesitará más capacidad de procesamiento del MTA y del Softswitch.

¹ PacketCable 1.0 incluye opciones de CODEC: G.711=64 Kbps, G.728=16 Kbps, y G.729E=11,8Kbps.

- Período de empaquetamiento: es el período en el que los bits de voz codificados son encapsulados en paquetes. Menor overhead en la transmisión resultará si se usan mayores períodos de empaquetamiento, con la consecuencia de obtener mayor delay en la transmisión debido a que los paquetes tienen más datos de carga útil.
- Estado de detección de actividad de voz: se refiere a si los paquetes son transmitidos durante todo el tiempo a pesar de que existan períodos de silencio. Si este parámetro está activado se hará un mejor uso de la carga del canal, pero se degradará la calidad de la voz debido a que al comienzo de cada período de conversación el MTA tendrá que pedir oportunidades de transmisión al CMTS. Por esta razón sería recomendable evitar el uso de detección de actividad de voz.
- Tamaño del buffer: es el número de paquetes que serán mantenidos un tiempo suficiente para permitir que los paquetes más lentos lleguen y sean ubicados en la secuencia correcta. Una forma de dimensionar el buffer es contar el número de paquetes que llegan retrasados y

crear una relación de esos paquetes con el número de paquetes que son exitosamente procesados.

- Tamaño de los nodos ópticos:
 - Número de casas servidas por un nodo óptico: mientras más grande sea el tamaño de los nodos se tendrán menos requerimientos de fibra y equipamiento de nodos, y por lo tanto menos nodos ópticos serán necesarios para cubrir la red, con el costo de tener mayores ingresos de ruido en el canal upstream, mayor número de colisiones, y más usuarios compartiendo el mismo canal. La fiabilidad aumenta notablemente reduciendo este tamaño alrededor de 500 hogares pasados o menos, ya que de esta manera se reduce el número de elementos en serie, como por ejemplo, cascadas de amplificadores en la red de distribución, la longitud de los tendidos de cable coaxial, el número de equipos de alimentación, etc., pero tienes mayores costos económicos, puesto que se necesita un hilo de fibra óptica adicional y su equipamiento respectivo (convertidores, amplificadores,

etc.)¹ ya que se deben reagrupar las ramas de la red coaxial.

- Máximo número de nodos conectados a un receptor del CMTS: dependerá de la cantidad de usuarios en cada uno de ellos.
- Parámetros de configuración del CMTS: a más de los parámetros analizados en la sección 2.7.1, hay que tener en cuenta los siguientes:
 - PHS: si este parámetro es habilitado se reduce el overhead de VoIP, su beneficio es más significativo a tasas de codificación más bajas.
 - FEC: si es incrementado la cantidad de FEC upstream aumentará el overhead de VoIP, pero existirá más robustez contra interferencia y ruido en el canal upstream.

¹ Sólo un hilo de fibra óptica debido a que se pretende disminuir el número de usuarios pertenecientes a un canal upstream, compartiendo el mismo downstream.

2.16. Aplicaciones de Cable Modem

Entre las principales aplicaciones que el operador de cable puede realizar usando la tecnología de Cable Modem, tenemos:

- **Internet.-** es el servicio más usado debido a la popularidad del mismo, soporta aplicaciones de correo electrónico, web browsing, chat, transferencia de archivos, video conferencia, juegos, entre otros. Este servicio es el primero a ofrecer por el operador puesto que es el más apreciado por los usuarios.

El operador para custodiar la capacidad en su red puede asignar direcciones IP de manera dinámica para planes no corporativos lo cual imposibilita que el usuario tenga servidores, dado que es un producto residencial. Si el usuario desea una dirección IP fija deberá contratar un plan corporativo.

- **Telefonía IP.-** soporta comunicaciones de voz y fax, los mismos que no requieren una gran cantidad de ancho de banda pero si tiene varios requerimientos en relación al rendimiento de la red¹.

¹ Tales requerimientos fueron analizados en la sección 2.15

En nuestro país, para ofrecer el servicio de telefonía se necesita un título habilitante¹ otorgado por la SENATEL quien representa al estado ecuatoriano, es decir, el operador de cable tiene que poseer un contrato de concesión de tal servicio.

- **Redes Privadas.-** puesto que un sistema de cable es un medio compartido, los operadores están en la capacidad de enlazar redes privadas que estén dentro o fuera de la cobertura de la red HFC. Las redes pueden ser construidas como un ambiente completamente cerrado o permitiendo a los usuarios acceder al Internet.

2.17. Esquema de red de la infraestructura actualmente en uso

En el gráfico siguiente se muestra el esquema de red implementado por el operador, las funciones realizadas por cada elemento han sido analizadas en secciones anteriores, a lo cual podemos agregar lo siguiente:

- Al realizar una nueva instalación, en la ubicación del usuario se debe agregar un splitter y un CM.

¹ Debido a que el Grupo TVCable obtuvo el título habilitante para prestar el servicio de telefonía local y de larga distancia nacional, espera ofrecer a todos los hogares cubiertos por su red HFC la posibilidad de contratar servicios de telefonía, a un precio que entre en competencia con las tarifas actuales de los operadores incumbentes, ya que reduce significativamente la inversión requerida en infraestructura.

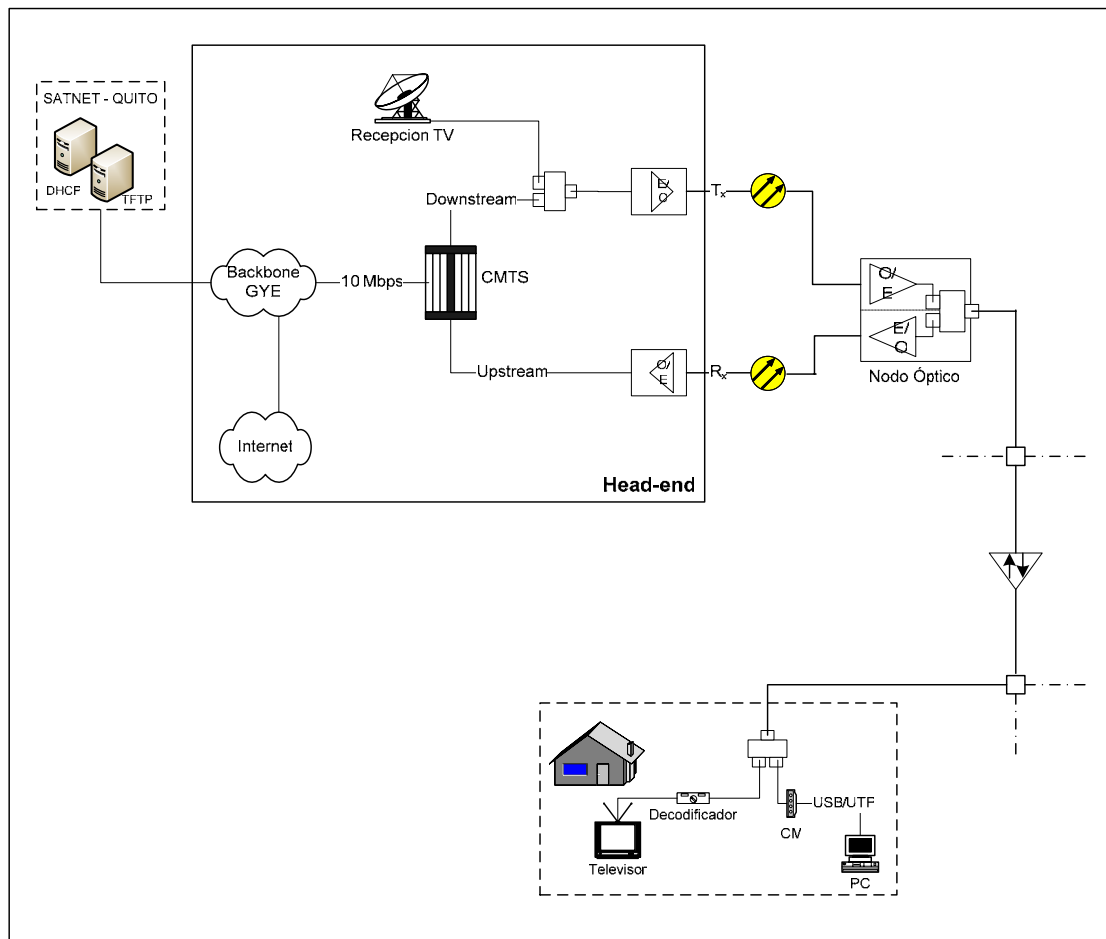


Figura 16. Esquema de red implementado

- El CM opera como bridge, se le asigna una IP privada para que puedan ser gestionados remotamente por medio de SNMP y de esta forma puedan realizar los pasos necesarios para iniciar su operación.
- Debido a que el CM funciona como bridge, al CPE del usuario se le asigna una IP pública estática o dinámica donde el gateway es el CMTS.

- Los servidores DHCP y TFTP se encuentran ubicados en SATNET Quito, por lo que los requerimientos realizados a tales servidores, deberán viajar a más de la red HFC por medio del backbone Guayaquil-Quito de SATNET.
- La salida a Internet es por medio del backbone de Guayaquil.

2.17.1. Capacidad medida en la actual red

La tasa de bits de los canales upstream y downstream es compartida por un número determinado de usuarios, por tanto su uso es más eficiente que en un enlace dedicado punto a punto; puesto que no todos los usuarios se encuentran activos al mismo tiempo y el ancho de banda de los usuarios inactivos es ocupado por los activos.

Mediante una adecuada planeación de la capacidad del sistema, el operador puede asegurar que los cuellos de botella en la red no ocurran durante las horas pico, ya que se va a tener una cantidad considerable de usuarios asignados a cada canal upstream y downstream con acceso ilimitado al Internet, pudiendo congestionar la red haciendo que la tasa de bits de cada usuario sea más baja que lo permisible.

Cada canal de la señal análoga de televisión NTSC ocupa 6 MHz del espectro de cable en el rango de frecuencias de transmisiones downstream. Un canal downstream para transmisión de datos ocupa 6 MHz, en cambio un canal upstream ocupa 1,6 o 3,2 MHz dependiendo del número de usuarios que posea cada nodo.

Servicio	Ancho del canal (MHz)	Número de canales	Total requerido (MHz)	Transmisión
TV	6	86	516	Downstream
Cable Modem	6	1	6	Downstream
Cable Modem	1,6 o 3,2	1 o 2	3,2 o 6,4	Upstream

Tabla VIII. Espectro usado en cada nodo

La frecuencia central usada para Cable Modem en los canales upstream y downstream es 29,7¹ y 597 MHz respectivamente.

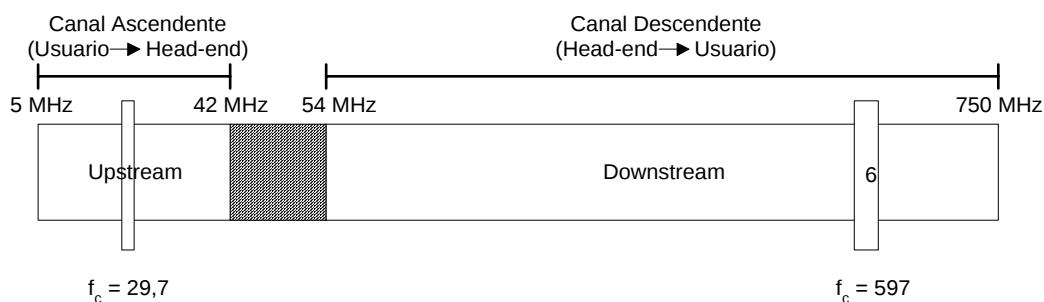


Figura 17. Distribución de frecuencias

¹ El canal upstream tiene la posibilidad de ubicarse en tres distintas frecuencias cuando exista la degradación en alguna de ellas, siendo la frecuencia central principal de 29,7 MHz. Esto es gracias a la gestión avanzada del espectro que posee el CMTS.

2.17.2. Equipos usados

Los equipos usados por el Grupo TVCable para la implementación del sistema de Cable Modem son de marca Motorola, tanto el CMTS como los CMs. El CMTS usado es el modelo BSR 64000, y los distintos CMs son: SURFboard 4100, 4105 y 5100.

CMTS:

El BSR 64000 de Motorola, es un router y CMTS de servicios de banda ancha diseñado para el despliegue a gran escala de servicios y aplicaciones basados en los estándares DOCSIS 1.1 y Euro DOCSIS 1.1 .

Las características del BSR 64000 son:

- Interoperable con los estándares DOCSIS 1.1, EuroDOCSIS 1.1 y PacketCable 1.0. Siendo a la vez compatible con los estándares DOCSIS 2.0 y EuroDOCSIS 2.0.



Figura 18. CMTS

- Arquitectura de Procesador Distribuido: procesamiento de paquetes basado en hardware por lo que puede soportar grandes poblaciones de módems y servicios múltiples a través de su tratamiento en tiempo real ya que elimina los potenciales cuellos de botella y asegura un excelente rendimiento.
- Es un router de alto rendimiento, completamente equipado.
- Posee un robusto y escalable soporte para los principales protocolos de enrutamiento, que asegura bajos niveles de latencia y una alta seguridad en el filtrado y envío de paquetes.

- Gestión avanzada del espectro: capacidad de detectar la degradación de un canal y de forma inteligente cambiar a un mejor espectro de RF o cambiar las características del canal para asegurar la continuidad del servicio.
- QoS: asegura que el tráfico de mayor prioridad recibe preferencia y que el tráfico con igual prioridad comparte equitativamente el ancho de banda disponible.
- Alta disponibilidad: el BSR 64000 está construido para ofrecer una disponibilidad del 99.999%, proporcionando la detección de fallos y conmutación requeridos para los servicios de alta disponibilidad.
- Ofrece los beneficios de una configuración simple con la apariencia de un router.
- Desempeño escalable, cada tarjeta adicional tiene capacidad de forwarding individual.
- Bajo costo inicial, el operador sólo necesita comprar la capacidad requerida, puesto que se pueden adicionar tarjetas a medida que la demanda crezca.

- A continuación, se describen las características de los módulos que pueden ser instalados:
 - Módulos de Supervisión de Enrutamiento: actúan como un sistema de control centralizado lo que les permite administrar los otros módulos en el chasis. El CMTS del Grupo TVCable tiene dos tarjetas instaladas de forma redundante.
 - Módulos de Interfaz de Red: se encargan de clasificar paquetes, aplicar políticas de QoS, siendo además las tarjetas que se comunican con la red de datos. El CMTS del Grupo TVCable tiene una tarjeta instalada de 8 puertos 10/100Base-T Ethernet.
 - Módulos DOCSIS: son los encargados de implementar clasificación de paquetes por flujo, aplicar las políticas de QoS, y desarrollar enrutamiento distribuido. Estas tarjetas se comunican con la red HFC y tienen 1 o 2 canales downstream y 8 canales upstream. El CMTS del Grupo TVCable tiene instalado 6 tarjetas DOCSIS 1.1 y 2 tarjetas DOCSIS 2.0.

CM:

El CM se conecta a la red HFC mediante un conector de cable coaxial hembra tipo F, y al CPE a través de una interfaz Ethernet 10/100Base-T o USB.



Figura 19. CM

El operador usa distintos modelos de CM, entre los que podemos mencionar: Ericsson Piperider, Motorola SURFboard 4100, 4105 y 5100.

A pesar de que se usan diferentes modelos de CM, a continuación se describen las características del CM Surfboard 5100, ya que la fabricación de los otros modelos de Motorola ha sido descontinuada y los CMs Ericsson Piperider se encuentran instalados en pocos suscriptores:

- Obedece las especificaciones DOCSIS 1.1 y DOCSIS 2.0.
- Puede ser conectado a la red local del usuario por medio de USB o Ethernet.
- Ethernet 10/100Base-T (auto sensing).
- Soporta hasta 32 usuarios (1 vía USB y hasta 31 vía Ethernet o 32 usuarios en Ethernet).
- Administración remota por medio de SNMP.
- Posee un switch, el cual sirve para desconectar la conexión local del usuario sin desconectar al CM de la red HFC, lo cual evita que el usuario cada vez que quiera conectarse a Internet tenga que encender el CM y éste a su vez deba realizar todos los pasos necesarios de sincronización con el CMTS para iniciar su operación.
- Diseño vertical el cual permite ahorrar espacio.
- En el panel frontal posee indicadores (LEDs) los cuales facilitan un rápido diagnóstico.

2.17.3. Distribución de canales upstream y downstream

El Grupo TVCable posee 70 nodos ópticos en la ciudad de Guayaquil aptos para proveer el servicio de Cable Modem, estos nodos poseen distinta cantidad de usuarios dependiendo del sector que cubren cada uno de ellos.

Se tienen en producción 6 tarjetas DOCSIS 1.1 que poseen 1 downstream y 8 upstream, y una tarjeta DOCSIS 2.0 que tiene 2 downstream y 8 upstream, de los cuales se usan 55 canales upstream y 7 downstream.

El número de nodos que compartirán un mismo canal upstream y downstream dependerá de la cantidad de suscriptores que posean. Un canal downstream como máximo cubre 8 puertos upstream, los cuales a su vez sirven uno o dos nodos dependiendo del número de usuarios que éstos posean. El operador ha balanceado la carga de cada canal downstream, por lo que en promedio poseen 1000 usuarios, y sirven como máximo 15 nodos.

2.17.4. Usuarios por canal

Se debe tratar de distribuir uniformemente el número de usuarios pertenecientes a un canal upstream o downstream en relación a los que están operativos en el CMTS. Para de esta forma no sobrecargar o mal utilizar la capacidad de alguno de ellos.

El número de usuarios que actualmente posee el operador en cada canal upstream va desde 2 hasta 527, es decir hay puertos upstream del CMTS que tienen muy pocos usuarios y otros que comienzan a sobrecargarse¹.

El número de usuarios que comparten un canal downstream va desde 973 a 1511, por lo que podemos decir que la capacidad de ellos está sin problemas de saturación, debido a que el downstream tiene una capacidad promedio de 2000 usuarios.

2.17.5. Quality of Service

En esta sección se enunciarán características de QoS aplicadas al sistema de Cable Modem implementado, siendo el equipo indicado para esto el CMTS. Las características de Smartflow del BSR 64000 permite al

¹ Para quitar carga a este canal upstream se debería habilitar otro canal upstream en ese nodo.

operador clasificar paquetes en flujos basándose en el contenido de ellos, a la vez que proporciona el tratamiento apropiado para cada flujo usando DOCSIS para la transmisión upstream en la red HFC, encolamiento jerárquico por flujo para transmisión downstream en la red HFC, y Diffserv o MPLS para la red núcleo o metropolitana. Esto permitirá ofrecer garantizados acuerdos de nivel de servicio.

- **Asignación de ancho de banda upstream**

Existen parámetros que son necesarios para el correcto funcionamiento del canal upstream y que son establecidos por el algoritmo de asignación de ancho de banda¹, el mismo que establece los parámetros de transmisión por medio de los mensajes de administración MAP, entre los que podemos mencionar:

Valor inicial de la ventana de back-off

Valor final de la ventana de back-off

Longitud del MAP

¹ Existe muy poca información del algoritmo de asignación de ancho de banda upstream, ya que es propietario del fabricante, en este caso Motorola.

El número de bytes por mini-slot

Número de mini-slot en disputas

Si el valor inicial de la ventana de back-off es muy pequeño, las probabilidades de colisiones aumentan y por ende el retardo, ya que las peticiones de oportunidades de transmisión upstream no pueden ser enviadas por el CM, en cambio, si este valor es muy alto el retardo podría ser de la misma o mayor magnitud al analizado anteriormente, debido a que el CM tendrá que diferir mayor cantidad de mini-slots para realizar su petición de ancho de banda upstream, pero las colisiones disminuirían considerablemente porque el intervalo de mini-slots que puede diferir el CM es mayor. Debido a esto, el valor inicial de la ventana de back-off¹ debe ser correctamente dimensionado para balancear apropiadamente colisiones y retardo.

Se asume que el CMTS envía mensajes MAP cada 4 mseg. para cada canal upstream por separado, los mismos que son de longitud variable e indican el tiempo upstream que es asignado a los CMs que típicamente es entre 5 y 15 mseg. La longitud dependerá del número

¹ El rango de la ventana de back-off es de 0 a 15.

de mini-slots que sean usados para peticiones en disputas por todos los CMs, y de la cantidad de mini-slots otorgados para transmisiones upstream a los mismos.

Como se mencionó en secciones anteriores un mini-slot es un múltiplo de 2 de 6,25 μ s, que es la referencia para tiempo de transmisión upstream llamada tick. Asumiendo que para nuestro caso un mini-slot sea igual a 8 ticks, y dado que se usa el formato de modulación QPSK y tasas de símbolo de 1280 y 2560 Ksym/seg en los canales upstream, tenemos:

$$\text{Time tick} = 6,25 \mu\text{s}$$

$$\text{Time tick} / \text{mini-slot} = 8$$

$$\mu\text{s} / \text{mini-slot} = 50$$

$$\text{mini-slot} / \text{seg} = 20000$$

$$\text{símbolos} / \text{seg} = 2560000$$

$$\text{símbolos} / \text{mini-slot} = 128$$

$$\text{símbolos / byte} = 4$$

$$\text{bytes / mini-slot} = 32$$

En los canales upstream que usan tasas de símbolo de 1280 Ksym/seg, tenemos:

$$\text{símbolos / seg} = 1280000$$

$$\text{símbolos / mini-slot} = 64$$

$$\text{símbolos / byte} = 4$$

$$\text{bytes / mini-slot} = 16$$

Como se ha visto, la cantidad de bytes/mini-slot es directamente proporcional a la tasa de símbolo y a la duración del mini-slot, e inversamente proporcional al número de símbolos/byte, el cual dependerá del formato de modulación usado. Debido a que la duración del mini-slot es fija, ya que es dada por el algoritmo de asignación de ancho de banda upstream y por ende no puede ser

modificada por el operador, la cantidad de información transmitida en cierta unidad de tiempo dependerá de parámetros que pueden ser modificados como son la tasa de símbolo y el formato de modulación.

- **Internet**

El tráfico generado por el servicio de Internet en la dirección upstream hace uso del servicio best-effort, el cual hace entrega de los paquetes sin aplicar políticas de QoS. Los parámetros de servicio usados son: prioridad de tráfico, tasa de tráfico mínima reservada y tasa de tráfico máxima sostenida. Los dos últimos parámetros son dependientes entre sí, ya que por ejemplo, si un usuario contrata un plan de 64 Kbps, el CMTS enviará en el archivo de configuración valores de 16 Kbps para la tasa mínima y 64 Kbps para la tasa máxima, puesto que el operador ofrece un nivel de servicio de 4:1. En cuanto a la prioridad de tráfico, todos los usuarios en un mismo puerto upstream poseen la misma prioridad.

- **VoIP**

Con respecto al servicio de telefonía, cuando se origina una llamada de voz, se crea un flujo de servicio UGS dinámicamente¹ vía el mensaje DSA y los recursos son admitidos, es decir, a pesar de que el flujo no está activo se reservan los recursos. Luego de que el destinatario de la llamada contesta se activan los recursos por medio del DSC y la llamada entra en progreso. Cuando la llamada termina, el flujo de servicio es anulado vía DSD.

Suprimir campos de overhead que son repetidos durante la transmisión (PHS) es de gran utilidad en VoIP, puesto que en transmisiones upstream puede suprimir los 42 bytes pertenecientes a los header UDP, IP y 14 bytes de Ethernet a la vez, produciendo una reducción de 42 bytes. Los campos que han sido suprimidos son los que permanecen constantes de paquete a paquete, comenzando con el primer byte después del HCS del header MAC

¹ Los flujos de servicios dinámicos son creados basados en la demanda, usando los mensajes de administración MAC: Dynamic Service Add (DSA), Dynamic Service Change (DSC), y Dynamic Service Delete (DSD), los cuales pueden ser creados por el CM o el CMTS.

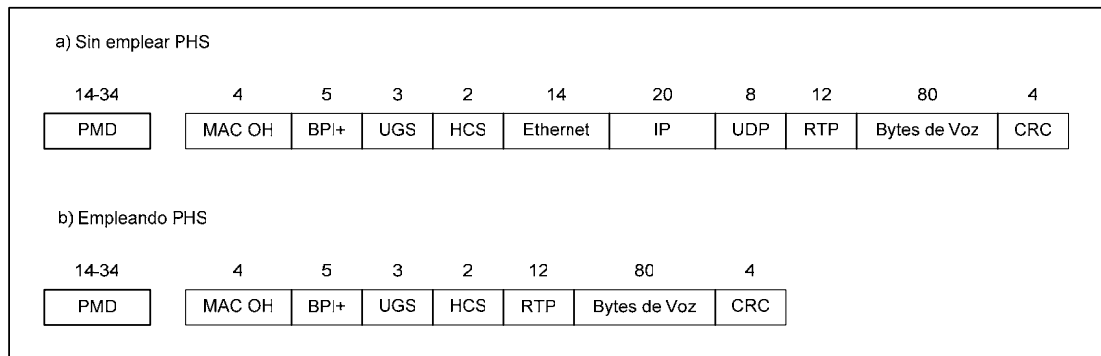


Figura 20. Paquete de voz en transmisiones upstream

No se incrementa los 2 bytes de PHS, debido a que esta funcionalidad se encuentra dentro del campo EHDR que identifica el flujo UGS, el cual es de 3 bytes.

En transmisiones downstream se suprimen 30 bytes: 8 bytes header UDP, 20 bytes header IP, y 2 bytes del header Ethernet comenzando desde el treceavo byte después del HCS.

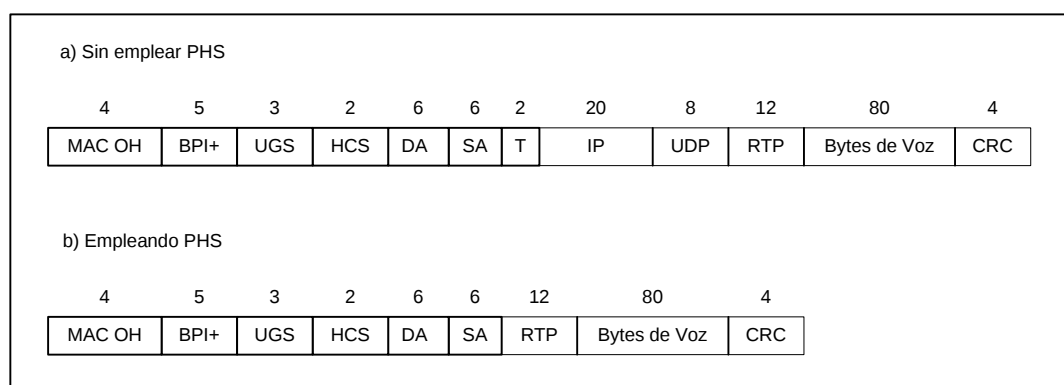


Figura 21. Paquete de voz en transmisiones downstream

El CODEC a implementar en el servicio de telefonía es G.711 PCM, el mismo que emplea una tasa de bits de 64 Kbps y si es aplicado un período de paquetización de 10 mseg., se tiene lo siguiente:

$$\text{Bytes} / 10 \text{ mseg} = 80$$

$$\text{frames} / \text{paquete} = 1$$

$$\text{bytes} / \text{paquete}^1 = 144$$

$$\text{paquetes} / \text{seg} = 100$$

$$\text{bytes} / \text{seg} = 14.400$$

$$\text{bits} / \text{seg} = 115.200$$

Es decir, la tasa del flujo upstream generada por el servicio de VoIP es aproximadamente 115200 bits/seg. En cambio para la transmisión downstream:

$$\text{Bytes} / 10 \text{ mseg} = 80$$

¹ Se utiliza DOCSIS BPI+, PHS, UGS, FEC, e incluye el overhead de RTP, UDP, IP, Ethernet y DOCSIS.

$$\text{frames / paquete} = 1$$

$$\text{bytes / paquete} = 122$$

$$\text{paquetes /seg} = 100$$

$$\text{bytes / seg} = 12.200$$

$$\text{bits / seg} = 97.600$$

Con lo que podemos concluir que la tasa de flujo downstream es aproximadamente 97.600 bits/seg.

Para la transmisión upstream del servicio de VoIP se usan flujos UGS, el cual otorga oportunidades de transmisión upstream de tamaño constante a intervalos periódicos. Los parámetros de servicio usados en este flujo son:

- a) Unsolicited Grant Size.- es la cantidad de bytes que serán enviados por el CM en una oportunidad de transmisión y que será empleada por el CMTS para calcular el número de mini-

slots que serán otorgados. La cantidad de bytes por paquete a transmitir es de 144 bytes.

- b) Nominal Grant Interval.- es igual al período de paquetización, es decir, 10.000 μ s.
- c) Tolerated Grant Jitter.- este valor depende del retardo que exista entre los puntos finales de una llamada en particular, como el retardo de propagación hacia el destino, por lo que el Call Management Server puede especificar el valor basándose en información de enrutamiento. El valor de este parámetro no puede ser mayor a dos veces el período de paquetización, es decir, 20.000 μ s.
- d) Grants Per Interval.- es igual al número de paquetes transmitidos en un intervalo, es decir 1 paquete/intervalo.

2.17.6. Servicios adicionales que se pueden ofrecer con el esquema de red implementado

Como se ha podido mostrar las redes HFC son capaces de suministrar una amplia gama de servicios y aplicaciones de telecomunicaciones, de las cuales actualmente el operador provee las siguientes:

- Distribución de señales de televisión analógicas.
- Servicios de pago por visión.
- Acceso a Internet mediante Cable Modem.

El operador no tiene en sus objetivos¹ comercializar el servicio de redes privadas mediante Cable Modem, sino más bien vender el acceso al servicio de Internet a usuarios corporativos², quienes podrían realizar las configuraciones necesarias en sus servidores para crear redes privadas virtuales con sus oficinas remotas, ya sea que estas se encuentren dentro o fuera de la cobertura de la red HFC.

¹ Al operador le resulta más rentable vender dos planes corporativos de acceso a Internet que comercializar un servicio de redes privadas.

² Los planes 256-C y 512-C poseen IP públicas fijas, y tienen un costo de \$199 y \$349 respectivamente.

El servicio próximo a ofrecer por el operador es el de telefonía¹, para el cual se tiene que agregar a su red implementada un equipo que realice las funciones de un sistema de conmutación entre el CMTS y la PSTN, de tal forma que las llamadas entre los suscriptores de cable sean ruteadas dentro de la red del operador y todas las demás llamadas sean conmutadas a la PSTN.

El operador ha escogido el sistema de conmutación Safari C³ (Cable Clase Carrier) de Cedar Point Communications, el cual es un equipo que integra todas las funciones necesarias para ofrecer el servicio de telefonía sobre una red de cable. El Safari C³ puede ser usado en las redes habilitadas para DOCSIS 1.1, sin perturbar el servicio o el rediseño del sistema, a fin de que la red continúe en funcionamiento con nuevos servicios de voz, acelerando de esta forma el despliegue de nuevos servicios con costos de desarrollo, costos de integración y costos operativos reducidos.

Las llamadas pueden ser ruteadas en tiempo real desde el Motorola BSR 64000 al Safari C³ usando DOCSIS 1.1 y PacketCable 1.0 para asegurar control de QoS fin a fin. Safari C³ soporta tráfico basado tanto en circuitos como en paquetes dentro de una estructura de conmutación de

¹ El operador tiene planeado ofrecer el servicio de telefonía IP sobre su red HFC a principios del año 2006.

voz basada en PacketCable, integrando los elementos lógicos del modelo de referencia de PacketCable en un solo chasis:

- Servidor de gestión de llamadas.
- Conmutador de paquetes.
- Gateway para medios de comunicación / Controlador de gateway.
- Gateway de señalización.
- Servidor para medios de comunicación.
- Funciones de interfaces portadoras de tráfico.

Safari C³ brinda a la telefonía IP la privacidad, seguridad, disponibilidad y confiabilidad que posee la PSTN, con un sistema simplificado y reduciendo costos. Esta funcionalidad incluye señalización de llamadas de red (NCS), servicio de directivas abiertas comunes (COPS) para el cumplimiento de normas de calidad de servicio, norma AES para encriptación y desencriptación de llamadas de voz, eliminación de eco para llamadas que se dirigen a la PSTN, señalización SS7, enrutamiento

de llamadas, gestión de recursos, consultas de portabilidad de números locales (LNP), conformidad con la ley de telefonía digital o CALEA y conexiones E-911. La integración de esta amplia variedad de funciones incrementa de manera significativa la economía relacionada con el costo de propiedad mejorando el retorno sobre la inversión.

Otras características importantes del sistema Safari C³ se mencionan a continuación:

Conectividad de PSTN

- Interfaces PSTN: T1/E1, T3/OC-3/STM-1.
- CODEC Soportados: G.711 PCM, G.729E, G.728, G.729AB, BV16, ILBC.

Conectividad IP

- Señalización: MGCP/NCS, SIP, SIP-T, SIGTRAN.
- Interfaces ópticas: OC-3/STM-1, OC-12/STM-4, OC-48/STM-16.

- Interfaces ethernet: 10/100 Ethernet, 1 Gigabit Ethernet.

Gestión de red

- Interfaz de usuario: GUI basada en java, CLI.
- Protocolos: XML, SNMP.

Generales

- Capacidad de ranuras (slots): 16 por chasis.
- Tramado de conmutación: 80 Gbps.
- Suministro de energía: Distribuido, alimentación dual.
- Calidad de reloj interno: Stratum 3.

En cambio, el equipo a usar en la ubicación del usuario es el SBV5120, el cual además de las características mencionadas del Surfboard 5100 en secciones anteriores, podemos indicar las siguientes:

- Dos líneas para servicio telefónico (conectores RJ-11).
- Fuente DC por medio de transformador de pared o UPS.

Debido a que sólo se necesita la adición o cambio de estos equipos, proporciona un costo reducido el ofrecer el servicio de telefonía sobre la red de cable, lo cual le brinda al operador una nueva fuente considerable de ingresos de manera rápida, eficiente y confiable.

2.18. Eficiencia operativa

En esta sección se hará un análisis de acuerdo a la configuración de los elementos usados en el sistema de Cable Modem, principalmente de las características de la red HFC y del CMTS, tales como: tasa de símbolo, formato de modulación, número de canales upstream y downstream de backup, la carga de cada canal, niveles de SNR, entre otros.

La instalación, conexión y configuración de la tecnología Cable Modem es quizás la parte más sencilla en la implementación de servicios de transmisión de datos de alta velocidad a través de una red de cable. La operación de estos servicios representa la parte más complicada, pues implica retos como el entrenamiento y capacitación del personal, la administración de la capacidad de

la red, prácticas de mantenimiento, y la seguridad que una transmisión de datos exige.

Por ejemplo, si un canal upstream está cargado con una cantidad excesiva de CMs, entonces les tomará más tiempo a estos recobrar su estado operativo, puede ocasionar problemas de ruido, bajo nivel CNR, y colisiones, lo cual puede causar un impacto negativo en la satisfacción del cliente. También es muy importante dimensionar el número de suscriptores activos simultáneamente, en cada canal upstream y downstream, de tal forma que el servicio permanezca consistente y adecuado durante horas pico.

- **Carga de cada canal**

Si asumimos que el número de suscriptores activos simultáneamente¹ es el 10 % del total de los mismos, y que la tasa de datos por usuario es 64 Kbps; y dado que para un canal downstream se tiene una capacidad de 27 Mbps, podemos decir que un canal downstream podría mantener 4.220 usuarios aproximadamente. En cambio para un canal upstream² que posee una capacidad estimada de 4,1 Mbps podría mantener 640 usuarios. Por lo que,

¹ Detalles de este análisis se pueden encontrar en el paper de Cisco: Multimedia Traffic Engineering For HFC Networks, John T. Chapman.

² El canal upstream mencionado emplea el formato de modulación QPSK y 2560 Ksym/seg.

con respecto al número de suscriptores que posee el operador en cada puerto downstream podemos decir que no existen problemas de saturación ya que el mayor número de usuarios es 1.511, en cambio, existe un canal upstream con 527 usuarios el cual podría comenzar a sobrecargarse, por lo que se tienen que tomar medidas para evitarlo. No es factible para el operador cambiar el formato de modulación de QPSK a 16QAM por los niveles de ruido variables en el sector, tampoco puede aumentar la tasa de símbolo ya que está haciendo uso de la tasa más alta, por lo que la única opción que posee es distribuir el número de usuarios combinando dos puertos upstream:

- Se puede combinar un nodo con dos puertos upstream. El CM verá un canal downstream, pero sólo un canal upstream que está asociado a ese downstream.

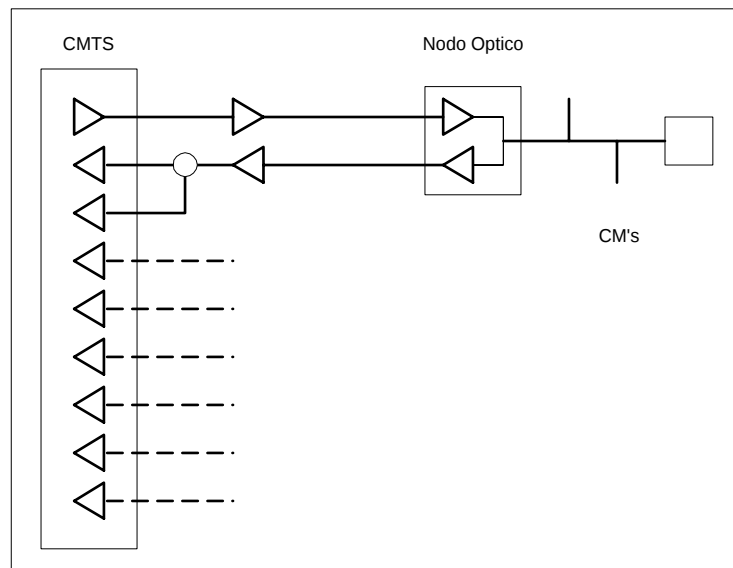


Figura 22. Un nodo con dos puertos upstream

Esta combinación soluciona el problema de congestión por exceso de usuarios, debido a que las tarjetas balancean automáticamente la carga de usuarios por interfaz. Lo que resulta en que la mitad de usuarios se enganchan en la portadora de un retorno, y la otra mitad en la otra portadora, ya que eléctricamente comparten el mismo medio, pero tienen diferentes frecuencias. Esta solución debería ser sólo temporal, puesto que no soluciona el problema de ruido inducido en la línea, ya que cada usuario conectado induce ruido en la red de distribución. Cabe mencionar que la frecuencia central de los canales upstream es diferente.

- Otra combinación de un nodo con dos puertos upstream, es la siguiente:

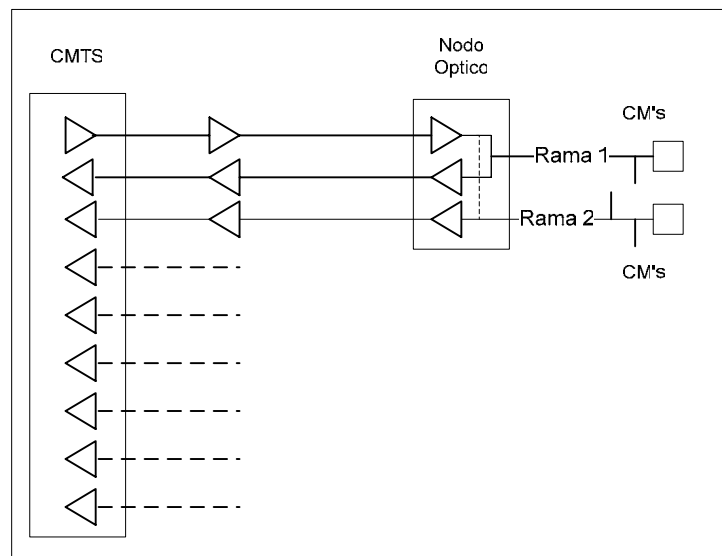


Figura 23. Distribución de usuarios de un nodo con dos puertos upstream

Esta combinación es la más recomendable, pero a su vez la más costosa ya que implica el uso de un hilo de fibra óptica adicional y su equipamiento respectivo (convertidores, amplificadores, etc.). Al conectar otro hilo de fibra, el nodo es separado en dos, por lo que se deben reagrupar las ramas de la red de distribución. El downstream se lo divide con un splitter, obteniendo dos upstream con el mismo downstream, con esto, el ruido de la rama 1 no afecta a la rama 2, ni viceversa.

Llevar a cabo la segunda opción es factible para el operador, porque tiene hilos de fibra disponible en los diferentes nodos, a la vez que va disminuyendo la cantidad de usuarios pertenecientes a un canal de retorno, lo cual es muy útil para la implementación de VoIP próxima a ofrecer. Esto podría aplicarse no sólo al canal upstream que empieza a sobrecargarse, sino también a los que poseen una capacidad mayor a la media, reduciendo de esta forma el número de usuarios por cada puerto upstream, con lo cual se disminuiría el nivel de ruido y colisiones, y se aumentarían los niveles de CNR en aquellos puertos upstream donde sean disminuidos el número de usuarios, aumentando la confiabilidad del sistema.

- **Niveles de poder y CNR**

El operador cuenta con un nivel de poder a la salida del modulador downstream de 51 dB, mientras que para la entrada del receptor upstream de 5 dB para una tasa de símbolo de 1.280 Ksym/seg y de 11 dB para 2.560 Ksym/seg. Estos valores se encuentran en el rango establecido por DOCSIS para los niveles de señal requeridos en el head-end.

Los niveles de CNR para transmisiones upstream en los diferentes nodos son variables dependiendo de los usuarios que ellos posean. DOCSIS

recomienda que el mínimo nivel de CNR para el upstream sea de 25 dB, pero el operador tiene como referencia niveles de CNR de 20 dB debido a que es muy difícil mantener niveles superiores a los recomendados por DOCSIS. Cuando el nivel de CNR disminuye de 20 dB el operador inicia los trabajos de mantenimiento en el sector, ya que el problema de lentitud en la transmisión de datos debido al ruido comienza a ser palpable para los usuarios.

Puesto que para transmisiones downstream no se cuenta con los problemas asociados al canal upstream, mantener el nivel de CNR superior a los 35 dB recomendado por DOCSIS, es factible para el operador, por lo que pocas veces se tienen problemas de ruido en el canal downstream.

- **Parámetros de configuración**

Los parámetros de configuración que pueden ser modificados son la tasa de símbolo y formato de modulación tanto en el canal upstream como downstream. El cambio en dichos parámetros afectaría la capacidad permitida en cada canal, así como también la protección contra el ruido.

Todos los canales upstream usan QPSK como formato de modulación, pero la tasa de símbolo varía entre 1.280 y 2.560 Ksym/seg. Debido a los niveles

variantes de CNR, lo cual depende del número de usuarios así como de las características de la red, no es posible cambiar el formato de modulación a 16QAM ya que es más propenso al ruido. En los canales que emplean una tasa de 1.280 Ksym/seg. puede ser aumentada dicha tasa para de esta forma incrementar el número de usuarios permitidos y combinarlo con usuarios de algún canal que comience a sobrecargarse.

Debido al número de usuarios que se posee en cada canal downstream no es necesario incrementar su capacidad, pero en caso de necesitarlo se puede optar por el formato de modulación 256QAM lo cual aumentaría los usuarios permitidos sin tener problemas de ruido por los altos niveles de CNR obtenidos en el canal downstream.

La frecuencia central del canal upstream escogida es 29,7 MHz, la cual es apropiada ya que lo recomendado es que sea superior a 20 MHz para evitar el ingreso de ruido e interferencia con otros usos como emisoras de banda ciudadana y radioaficionados.

Con respecto al servicio de telefonía, el operador al usar el CODEC G.711 PCM usará aproximadamente flujos de 115.200 y 97.600 bits/seg para upstream y downstream respectivamente, lo que podría disminuir si usara el CODEC G.729E o G.728, ya que por ejemplo con el CODEC G.728 que

emplea una tasa de bits de 16 Kbps y con un período de paquetización de 10 mseg. se obtendría una tasa de flujo aproximado de 66.400 bits/seg para transmisiones upstream y 48.800 bits/seg para transmisiones downstream., calculados de igual forma que en la sección anterior, sólo que ahora los bytes/10 mseg. es igual a 20. Por lo que podemos decir, que se puede usar CODEC diferentes al G.711 PCM que emplearían menores tasas de flujo, con el costo de disminuir en algo la calidad de la voz.

- **Inicio de operación**

Cuando varios CMs inician su operación al mismo tiempo, ya sea porque un sector de la ciudad se quedó sin energía eléctrica por un tiempo determinado o porque el CMTS quedó fuera de servicio, existirá congestión en la red debido a que todos los CMs que quieren iniciar su operación enviarán mensajes DHCP Request (broadcast) lo que causará que exista un gran número de colisiones y por ende les tomará más tiempo ponerse on-line. En el CMTS se hace uso del comando cable-helper-address de tal forma que los requerimientos DHCP así como de TFTP sean enviados por el CMTS hacia sus respectivos servidores como petición unicast. Cabe mencionar, que los servidores DHCP, TFTP y ToD, se encuentran en las instalaciones de SATNET ubicadas en la ciudad de Quito, es decir, las peticiones realizadas por el CM cuando inicia su operación viajan por la

Intraway hasta SATNET Quito; con este esquema se tiene la desventaja de que todos los requerimientos realizados por los CMs al iniciar su operación que se encuentran en la ciudad de Guayaquil ocupen capacidad del backbone entre Guayaquil y Quito lo que sumaría retardos cuando exista un registro masivo y sature dicha capacidad, pero en cambio se tiene una mejor administración debido a que la gestión de operaciones es centralizada, lo cual representa un mayor beneficio para el operador.

- **Canales de backup**

El operador tiene en operación 6 tarjetas DOCSIS 1.1 y 1 tarjeta DOCSIS 2.0, también posee una tarjeta DOCSIS 2.0 como respaldo, es decir, se tienen 8 puertos upstream y 2 puertos downstream que servirían como backup en caso de exista alguna anomalía de algún puerto o tarjeta que esté en funcionamiento.

- **Distancia CMTS-CM**

La distancia entre el head-end y el nodo óptico más lejano es aproximadamente 5 Km., y la distancia estimada entre el nodo óptico y el CM más lejano es de 2 Km.; es decir la distancia estimada entre el CMTS y

el más distante CM es de 7 Km. Lo cual no resulta en una limitación ya que lo recomendado por DOCSIS es una distancia menor a 160 Km.

- **Consolidación del soporte de operaciones**

Al integrar servicios en una misma red, los costos de monitoreo y de mantenimiento se ven simplificados, a la vez que se logra explotar al máximo los recursos de una red que estaba en funcionamiento. Lo mejor es centrar la gestión de operaciones en un solo punto, para de esta forma consolidar la administración del servicio, lo cual es realizado por el operador, el mismo que centra la provisión del servicio en SATNET Quito.

El personal debe estar altamente capacitado, para de esta forma realizar una buena administración de la capacidad de la red, asegurando además que todos los pasos necesarios para ingresar nuevos usuarios a la misma, ya sea del servicio de televisión, Internet, o del próximo a ofrecer que es telefonía, se realicen de manera óptima, para tener un buen nivel de rendimiento de la red y satisfacción del cliente.

El fin es entregar un servicio de buena calidad, y a un precio competitivo, logrando alcanzar un máximo rendimiento de los recursos mantenidos, adaptándose de esta forma a las fluctuaciones de la demanda del servicio.

Por tanto, la eficiencia operativa es necesaria para alcanzar rentabilidad y generación de ingresos, invirtiendo además en la creación de nuevos servicios.

3. ASPECTOS ECONOMICOS

3.1. Internet en Ecuador

En Ecuador el acceso a Internet está limitado a una pequeña porción de la población, debido principalmente a motivos económicos, y culturales. El estado ecuatoriano más allá de establecer como política de estado el fomentar la difusión del Internet, no ha dado pasos concretos en torno a esto, ya que por ejemplo se ha venido anunciando el fijar una tarifa plana para el acceso dial-up por parte de las compañías telefónicas estatales el cual hasta la fecha se establece, así mismo no se ha fomentado este servicio en las áreas rurales, donde muy pocos o casi nadie conoce lo que es Internet.

Se puede tener acceso a este servicio por medio de dial-up desde la comodidad del hogar a través de cuentas adquiridas a cualquier ISP o tarjetas prepago las cuales hacen que el usuario tenga un número fijo de horas el servicio, por medio de dial-up a parte del pago al ISP hay que sumar el pago a la compañía telefónica. El servicio de Internet también es ofrecido por medio de ADSL, Cable Modem, o acceso Inalámbrico, los mismos que hacen que el usuario tenga ilimitadamente el servicio por una cantidad fija de dinero sin usar la línea telefónica.

Hay cierta cantidad de usuarios de Internet que tiene acceso al mismo por medio de cibercafés, ya sea porque resulta más barato que conectarse dial-up desde el hogar o porque el uso es ocasional, y no existe la necesidad imperiosa de adquirir una cuenta o comprar una tarjeta prepago, o también puede ser debido a que no se posee una computadora o línea telefónica.

Existen más de 100 ISPs autorizados, de los cuales sólo 58 están operando y reportan su servicio. A continuación se presentan el número de cuentas adquiridas y reportadas en los últimos años¹:

Año	Cuentas Dial Up	Cuentas Corporativas
2001	83.007	2.623
2002	94.164	6.499
2003	102.787	4.563
2004	108.169	11.599
2005	86.826	25.906

Tabla IX. Cuentas de Internet

Las principales barreras existentes para el acceso a Internet, se pueden dividir en dos partes: infraestructuras de telecomunicaciones y usuarios. En el caso de las infraestructuras de telecomunicaciones, estos obstáculos se materializan en factores tales como su costo, cobertura, ancho de banda, tecnología, y regulación, entre otros. Mientras que en los usuarios los principales obstáculos

¹ Los datos del año 2005 son los registrados hasta el mes de noviembre. Fuente: Superintendencia de Telecomunicaciones – www.supertel.gov.ec –

tienen que ver con su motivación, actitud frente a la tecnología, edad, nivel de estudios, poder adquisitivo y formación. La superación de estos obstáculos es responsabilidad conjunta de las administraciones públicas, las compañías operadoras de telecomunicaciones, y los propios ciudadanos.

En cuanto a los costos que incurre un usuario de una cuenta dial-up ilimitada, se encuentran:

- El pago promedio de \$20 a un ISP por una cuenta ilimitada dial-up.
- El pago a la compañía telefónica por cada minuto tiene un valor de \$ 0,0127 incluido impuestos, y será en función de las horas consumidas: $0,0127 * 60 * \text{número de horas consumidas}$.

Dado que el servicio de Internet por medio de Cable Modem tiene un costo de \$55,89, sería beneficioso para el usuario cambiarse a este servicio, si:

$$20 + 0,0127 * 60 * \# \text{ horas consumidas} \geq 55,89$$

$$\# \text{ horas consumidas} \geq 47$$

Por lo que podemos concluir que si en un hogar se hace uso del Internet por más de 47 horas mensuales, es decir 1,5 horas diarias o se aproxima a esa cantidad de horas, es más conveniente tener Cable Modem por el beneficio económico que representa así como también por la mayor velocidad de transmisión, tiempo ilimitado del servicio, entre otros.

La concentración de usuarios del servicio de Internet está en las principales ciudades del país, como lo son Guayaquil y Quito, en las mismas se estima que el 26%¹ de su población posee en su hogar tal servicio, más no así a nivel nacional. También se puede mencionar que los motivos más importantes que promueven el uso de Internet, son las consultas por estudio, correo electrónico y entretenimiento.

Por lo que, a medida que el servicio de Internet se vaya incorporando en las actividades productivas, económicas y educativas, la demanda del mismo incrementará.

3.2. Descripción económica de la industria del cable en el Ecuador

En nuestro país existen 122 sistemas –estaciones– de televisión por cable pertenecientes a 92 concesionarios, los mismos que poseen 104.425 suscriptores,

¹ Informe de opinión pública de diciembre de 2004, preparado para la Superintendencia de Telecomunicaciones por Market-Asomarket, fuente: www.supertel.gov.ec.

de los cuales 38.130 son usuarios de TEVECABLE S.A. (Quito, Ambato, Ibarra, Riobamba, Tulcán) y 46.000 son usuarios de SATELCOM S.A. (Guayaquil, Cuenca, Machala, Manta, Loja, Portoviejo, Salinas)¹, es decir entre los dos concesionarios tienen 84.130 suscriptores que significan el 81% del total de los mismos.

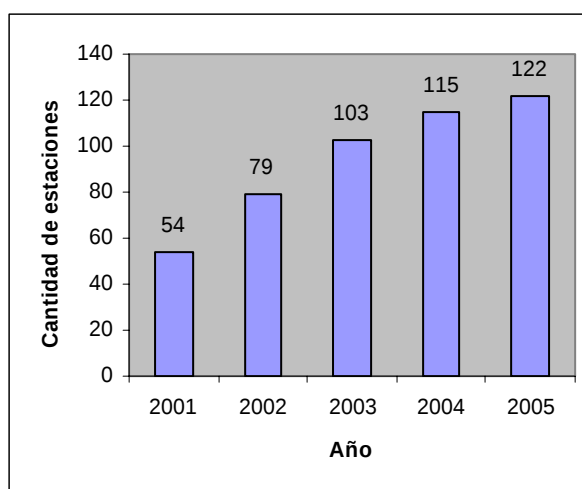


Figura 24. Estaciones de televisión por cable

Las estaciones en rango de tamaño sirven desde cientos hasta miles de clientes, siendo la estación más grande SISTEMA “TV CABLE” (Quito) que cuenta con 28.606 suscriptores.

El más grande concesionario de televisión por cable de Ecuador, en la actualidad es “SATELCOM S.A.”, el mismo que comenzó a ofrecer sus servicios en

¹ Fuente: Superintendencia de Telecomunicaciones – www.supertel.gov.ec – datos actualizados a junio de 2005.

septiembre de 1987, convirtiéndose en los pioneros del servicio de televisión por cable. En nuestro país, las familias que tienen acceso a este servicio son aquellas que tienen un medio o alto poder adquisitivo ya que a más de tener un costo promedio de \$25, la cobertura de la red es sólo en aquellos sectores donde existen clientes potenciales, es decir, en sectores residenciales donde existe un alto status económico.

En la siguiente tabla¹ se presenta la penetración estimada del servicio de televisión por cable:

Población total del Ecuador (último censo nacional del 2001)	13'009.957
Nº promedio de miembros por hogar	4,2
Nº de usuarios estimados del servicio de televisión por cable	438.585
Densidad estimada (penetración del servicio)	3,40 %

Tabla X. Penetración del servicio de televisión por cable

Cabe destacar que el servicio de televisión por cable tiene sustitutos, tales como la televisión de broadcast por el aire, renta y compra de películas en formato DVD, televisión codificada terrestre y televisión satelital. La televisión por cable para competir ofrece mejor calidad de imagen y más contenido.

¹ Fuente: Superintendencia de Telecomunicaciones – www.supertel.gov.ec –

La televisión por cable es un tipo de economía de escala, ya que los costos del operador pueden disminuir si su área de servicio se incrementa, ya que en una gran área de servicio se comparten los costos operacionales así como la infraestructura. En las ciudades dónde existe más de un sistema de televisión por cable, raramente una misma área es cubierta por más de una estación.

En la industria del cable, el flujo promedio de ingresos es alrededor de \$250 al año por suscriptor, lo que equivale¹ para la estación con menor cantidad de usuarios un ingreso de \$7.500 anuales y para la estación con mayor cantidad de usuarios un ingreso de \$7'151.500 al año.

3.3. Costos estimados del operador para ofrecer el servicio de Internet por medio de Cable Modem

El operador para ofrecer el servicio de Internet por medio de Cable Modem a más de realizar las modificaciones en su red, tiene que resolver el problema de cómo llevar el tráfico hacia Internet, una opción sería adquirir o formar un ISP, para lo cual tendría que incurrir en cuantiosos gastos² adicionales al de modificar la red de cable, los mismos que se verían reflejados en un costo muy alto para el servicio entrante. La otra opción que tiene el operador, que a la vez es la más

¹ El número de usuarios atendidos por una estación de cable va desde 30 hasta 28.606 suscriptores.

² Enunciar estos gastos están más allá del alcance de esta tesis.

conveniente es la de ofrecer el servicio por medio de una asociación estratégica con un ISP.

En Ecuador, Cable Modem es ofrecido por el Grupo TVCable, el cual está formado por los dos concesionarios de televisión por cable con mayor cantidad de usuarios – TVCABLE S.A. y SATELCOM S.A. – una empresa de servicios portadores – SURATEL – y un proveedor de servicios de Internet – SATNET S.A. –, lo cual les da la posibilidad de que en conjunto puedan ofrecer servicios que antes no eran posibles si se mantenían solos en el mercado. Cabe mencionar que el servicio de Internet por medio de Cable Modem es comercializado por SATNET S.A.

Lo que se estimará es el costo marginal¹ de proveer la conexión a Internet; el costo de proporcionar el tradicional servicio de televisión por cable no está incluido, sólo se toma en cuenta las mejoras de la planta de cable que son específicamente requeridas para proporcionar el servicio de Internet. Los costos operativos y publicitarios del servicio no están incluidos en este análisis.

A continuación se mencionan los costos en los que tiene que incurrir el operador:

* Costo de llevar el tráfico hacia Internet.

¹ Se refiere al costo adicional para aumentar la producción.

- * Equipo a ser usado en el head-end.
- * Mejoras en la red troncal.
- * Mejoras en la red de distribución.
- * Mejoras en la acometida de abonado.
- * Costos de comprar al fabricante los equipos del usuario.

a) Costos de llevar el tráfico hacia Internet

Este costo consiste de los circuitos de comunicaciones externos que son necesarios para conectarse al resto de Internet. El número de usuarios así como el ancho de banda que ocupan los mismos, determina la capacidad de los circuitos necesarios, es decir, la capacidad de los circuitos externos está en función del tráfico generado en la red, por lo que aumentarán a medida que el número de usuarios se incremente.

El tráfico puede ser llevado hacia Internet por medio de un enlace satelital o por fibra óptica, siendo la unidad básica de capacidad: un “E1”. El Grupo

TVCable usa los dos medios de transmisión, tiene 8 Mbps de bajada y 4 Mbps de subida de capacidad por enlace satelital a un costo de \$ 3.500 cada Mbps, y por medio de fibra óptica tiene una capacidad de 20 E1's a un costo de \$ 2.500 cada E1.

	Capacidad	Costo unitario	Costo total
Enlace satelital	8/4 Mbps	\$ 3.500 / Mbps	\$ 42.000
Enlace por fibra óptica	20 E1's	\$ 2.500 / E1	\$ 50.000

Tabla XI. Costos de llevar el tráfico hacia Internet

b) Equipo a ser usado en el head-end

El costo del concentrador de usuarios para Cable Modem es menor comparado al de otras tecnologías de banda ancha, como ADSL, ya que un solo equipo – CMTS – en el head-end del operador de cable, puede llevar a miles de clientes a la Internet, y no se necesita de concentradores – DSLAM – por cada sector como en ADSL.

El costo del CMTS es de \$ 160.000¹, el cual tiene una capacidad estimada de 50.000 usuarios.

¹ Este costo incluye el chasis del equipo, así como también 5 tarjetas que poseen 1 puerto downstream y 8 puertos upstream.

c) Mejoras en la red troncal

Para que la red troncal – fibra óptica – sea apta para transmisiones upstream, se requiere de un láser transmisor upstream en el nodo óptico y también un receptor del mismo en el head-end. Debido a que c/u de los amplificadores que se encuentran en los nodos ya cuentan con la cualidad de amplificar tráfico upstream, sólo es necesario el láser receptor para el canal upstream ubicado en el head-end, los mismos que tienen un costo unitario de \$ 6000.

El costo total dependerá del número de nodos ópticos que tenga el sistema de cable.

	Costo unitario	# nodos	Costo total
Láser receptor para el canal upstream ubicado en el head-end	\$ 6.000	70	\$ 420.000

Tabla XII. Costos para mejoras en la red troncal

d) Mejoras en la red de distribución

Las mejoras que se tienen que realizar en la red de distribución son más complejas que en la red troncal, ya que cada amplificador debe ser configurado con los módulos apropiados para que puedan amplificar tráfico upstream.

El costo de cada amplificador bi-direccional¹ es \$ 600, y dado que en la red de distribución existe un total de 40 amplificadores², tendremos una cantidad total de \$ 24.000.

	Costo unitario	# de amplificadores en toda la red	Costo total
Amplificador bidireccional (mini-bridges, line extenders)	\$ 600	40	\$ 24.000

Tabla XIII. Costos para mejoras en la red de distribución

e) Mejoras en la acometida de abonado

La acometida de abonado es la parte de la red más propensa a inducir ruido³ en la planta de cable, pudiendo ocasionar problemas en la transmisión de datos. Para evitar esto, el operador cambia el cable coaxial RG-59 por otro que presenta mejores características contra el ruido.

La longitud del cable a cambiar en la acometida de abonado es en promedio 50 metros, teniendo cada metro de cable un costo de \$ 0,90.

¹ Amplificadores bridge o line extender.

² El número de amplificadores necesitados en cada nodo está en función de la longitud del cable y del número de veces que este se bifurca, así como también del estado de la red.

³ Las fuentes de ruido fueron enunciadas en la sección 2.7.

El costo total dependerá del número de usuarios que se adhieren a la red, con un costo estimado por usuario de \$ 45.

	Longitud promedio del cable necesitada para cada usuario (metros)	Costo / metro	Costo estimado por usuario
Cable coaxial a ser utilizado en la acometida de abonado	50	\$ 0,9	\$ 45

Tabla XIV. Costos para mejoras en la acometida de abonado

f) Costos de comprar al fabricante los equipos del usuario

A pesar de que este costo es incurrido por cada cliente que se suscribe al servicio, el operador debe adquirir al fabricante los equipos¹ que utilizará el usuario para luego venderlos o alquilarlos, ya que estos no son comercializados en nuestro país. Esto le significa al operador ganancias por venta de equipos que se sumarían a la del servicio. En otras palabras, el mercado del equipo del suscriptor de Cable Modem es en el que el operador de cable compra un gran lote de equipos de un fabricante, en este caso de Motorola, para alquilar o vender dicho equipo al usuario.

¹ A pesar de que los equipos del usuario pueden ser de cualquier fabricante que cumpla con las especificaciones DOCSIS, el operador recomienda que sean de la misma marca del CMTS –Motorola-

El operador obtiene descuentos del fabricante al comprar grandes volúmenes, ya que si adquiere más de mil unidades el precio de cada uno de ellos es de \$ 60.

	# unidades	Costo unitario	Costo total
Equipo terminal (Cable Modem)	1.000	\$ 60	\$ 60.000

Tabla XV. Costos de comprar al fabricante los equipos del usuario

Se ha mencionado el costo individual de cada una de las partes necesarias para poner en operación un sistema de Cable Modem, ahora sumaremos los costos que tendría que asumir el operador para poner en funcionamiento toda la red, así como los costos para proporcionar el servicio en los primeros cinco años. Estimaremos que el operador llegará a tener 29.000¹ usuarios en los primeros cinco años.

Año	1	2	3	4	5
Usuarios que ingresan a la red	4.000	9.000	6.000	5.000	5.000
Total de usuarios	4.000	13.000	19.000	24.000	29.000

Tabla XVI. Usuarios estimados en los primeros cinco años

¹ Estimación basada en análisis de mercado, penetración en mercados similares y precios de acceso a redes de Internet en USA.

Si estimamos que el operador llegará a tener 29.000 usuarios en los primeros cinco años, tendríamos los siguientes costos:

- El costo total de los circuitos externos¹ está en función del dimensionamiento que haya realizado el operador, ya que dependerá del número de usuarios activos que estén enviando o recibiendo información de Internet al mismo tiempo, teniendo un costo promedio² de \$3.538 por E1.
- El costo del equipo a ser usado en el head-end es de \$160.000.
- El número de nodos ópticos en la red es de 70, y dado que el costo para que puedan enviar tráfico upstream por cada uno de ellos es \$6.000, obtendríamos un valor de \$420.000.
- En toda la red de distribución se tienen 40 amplificadores - bridges y line extenders –, si las mejoras que se deben realizar en cada uno de ellos tiene un valor de \$ 600, tendríamos un total de \$ 24.000.
- La mejora en la acometida de abonado tiene un costo por usuario de \$ 45, dado que asumimos que el número de usuarios a tener es 29.000, resultaría

¹ El costo de los circuitos externos se analizará con más detalle en la siguiente sección.

² Es el costo promedio entre el enlace satelital y el de fibra óptica.

una cantidad de 1'305.000.

- El costo que tiene el operador por adquirir cada equipo del usuario al fabricante es \$ 60, teniendo 29.000 usuarios, se tendría un valor de \$ 1'740.000.

El costo de mantener la planta física depende principalmente en qué servicios son llevados, en el número de suscriptores, o en cómo los suscriptores usan los servicios. Nuevos servicios pueden requerir que la red troncal y la red de distribución tengan un mejor desempeño, el número de fallas en la acometida de abonados también se incrementa con el número de suscriptores, así por ejemplo un proveedor de cable que ofrezca servicios telefónicos depende no solamente del número de suscriptores sino también en como ellos usan el servicio.

No se analizan costos en lo que se refiere al personal que se encarga de realizar las mejoras en la red troncal y en la red de distribución, así como los costos de mantenimiento de la misma, ya que es el mismo personal que se encargaba cuando sólo se ofrecía el servicio de televisión por cable.

3.4. Costo estimado por Kbps en un sistema de Cable Modem

Lo que se tratará de estimar es el costo que tiene para el operador el conectar una computadora a la Internet sobre su red de cable. Esto dependerá de algunos factores como: la máxima velocidad de la conexión, cuántos clientes comparten un mismo nodo, el número total de usuarios del servicio, entre otros.

Se va a estimar el costo por Kbps al usar la red, lo cual es útil para establecer el costo estimado para el servicio de redes privadas, teniendo que agregar al servicio de Internet por medio de Cable Modem el costo de llevar el tráfico generado en la red hacia Internet, y al servicio de telefonía sumarle los costos de un Sistema de Conmutación¹ entre el CMTS y la PSTN que estaría ubicado en el head-end del operador.

El costo del equipo del usuario no interviene en el costo por Kbps a estimar, ya que el CM es comprado al operador por medio de un pago adicional al obtener el servicio o alquilado por un pago mensual mientras haga uso del mismo, es decir, es un pago adicional que realiza el usuario al costo mensual del servicio.

¹ El análisis de este costo está más allá del alcance de esta tesis.

El usuario puede contratar al operador diferentes capacidades para hacer uso del servicio, pero en este análisis asumiremos¹ que cada usuario contrata 64 Kbps de capacidad. Dado que la unidad básica de capacidad “E1” puede mantener 30 usuarios a una tasa de 64 Kbps, y en promedio cada “E1” le cuesta al operador \$ 3.538, pero dado que el porcentaje de usuarios activos estimados por el operador es 10%², por lo que se puede decir que un E1 puede ser compartido por 300 usuarios, obteniendo de esta forma un costo estimado por usuario de \$ 11,8 mensuales. Es decir, el costo para llevar el tráfico hacia Internet está en función del dimensionamiento que haya realizado el operador, basado en un análisis y estadísticas de uso del servicio por parte de los usuarios, ya que depende del número de usuarios activos que estén enviando o recibiendo información de Internet al mismo tiempo.

El costo del equipo a ser usado en el head-end - \$ 160.000 – es compartido por todos los usuarios del sistema de Cable Modem, si asumimos que el número de usuarios a tener en los primeros cinco años es 29.000, obtendríamos un costo aproximado por usuario de \$ 5,52.

¹ Esta asunción es por darle simplicidad al análisis.

² Se estima que el 40% de los usuarios están activos en horas pico, y que de éste 40% sólo el 25% pueda estar cargando datos simultáneamente. Así, la demanda de usuarios durante horas pico es 10% ($0.4 * 0.25$) del total de suscriptores. Este análisis se encuentra en el white paper de Cisco: Multimedia Traffic Engineering For HFC Networks, John T. Chapman

Los costos que resultan de las mejoras en la red troncal y la red de distribución son compartidos por los usuarios de cada sector – pertenecientes a cada nodo –, teniendo un valor de \$ 6.000 para las mejoras en cada nodo de la red troncal, y un valor variable para cada red de distribución adjunta a un nodo óptico ya que dependerá de la longitud del cable y del número de veces que se bifurca. Si el número de usuarios en promedio por cada nodo es de 414¹, el costo por cada uno de ellos para las mejoras en la red troncal es de \$ 14,49

Existen ciertos nodos que debido a su radio de cobertura y estado de la red en dicho sector, en la parte correspondiente a la red de distribución no necesitan de amplificadores y sólo es necesario realizar las mejoras en la red troncal de los mismos. Debido a esto, dividiremos el número total de amplificadores – 40 – que se encuentran en toda la red de distribución para el número de nodos – 70 –, obteniendo un número de 0,57 amplificadores por nodo en promedio, y ya que las mejoras para cada uno de ellos tiene un costo de \$ 600, ocasionarían un costo aproximado de \$ 343 para cada red de distribución adjunta a un nodo óptico, y dado que el número de usuarios en promedio es 414, el costo por cada uno de ellos será de \$ 0,83.

En resumen, los costos en las distintas partes de la red que asume el operador por cada usuario que se une a la misma, son los siguientes:

¹ Este número de usuarios promedio por nodo, es el que se espera tener en los primeros cinco años

Costos mensuales:

Costo de llevar el tráfico hacia Internet	\$ 11,8
---	---------

Costos únicos:

Equipo a ser usado en el head-end – CMTS –	\$ 5,52
--	---------

Mejoras en la red troncal	\$ 14,49
---------------------------	----------

Mejoras en la red de distribución	\$ 0,83
-----------------------------------	---------

Mejoras en la acometida de abonado	\$ 45
------------------------------------	-------

Podemos concluir que el costo por usuario tiene dos componentes: un costo único por cada usuario que ingresa a la red de \$ 65,84 y un costo mensual de \$ 11,8.

3.5. Costos del usuario

Un usuario¹ para adquirir el servicio de Internet por medio de Cable Modem tiene que asumir los siguientes gastos:

- Costo de instalación de 100 U.S.D.
- El suscriptor puede comprar el Cable Modem en 100 U.S.D., o puede arrendarlo por un costo mensual de 4 U.S.D., así también, tiene la posibilidad de adquirir el equipo terminal en otro lugar, con la recomendación por parte del operador de que éste sea del mismo fabricante – Motorola – ; cabe mencionar que el operador es la única compañía que vende dicho equipo en nuestro país.
- El pago mensual que debe realizar al operador por el uso del servicio, el cual estará en función del plan que haya adquirido.

3.6. Precios de comercialización del servicio

El operador al comenzar a ofrecer el servicio de Internet por medio de Cable Modem tenía muy poca idea en cuanto al precio que el usuario está dispuesto a

¹ Sólo se analiza el acceso al servicio de Internet residencial.

pagar por el mismo. Donde el primer pago por el servicio es un factor crítico, ya que intervienen en el mismo, costos de instalación, equipo terminal, y mensualidad del servicio, ocasionando que la primera cantidad de dinero a pagar por parte del usuario sea alta.

En la actualidad los planes de comercialización del servicio para usuarios residenciales, son los siguientes:

- * CABLEMODEM 64.- este plan es para un computador con opción a una cuenta de correo, con una configuración de 64 Kbps de downstream y 64 Kbps de upstream, por un pago mensual de 49,90 U.S.D. + IVA.
- * CABLEMODEM 128.- este plan es para un computador con opción a una cuenta de correo, con una configuración de 128 Kbps de downstream y 128 Kbps de upstream, por un pago mensual de 75 U.S.D. + IVA. El usuario tiene la alternativa de tener un computador así como una cuenta de correo adicional por el pago de 25 U.S.D. + IVA.
- * CABLEMODEM 256.- este plan es para tres computadoras con opción a tres cuentas de correo, con una configuración de 256 Kbps de downstream y 256 Kbps de upstream, por un pago mensual de 125 U.S.D. + IVA. El usuario

tiene la alternativa de tener un computador así como una cuenta de correo adicional por el pago de 25 U.S.D. + IVA.

En todos los planes mencionados arriba, se debe sumar el costo de instalación cuyo valor es \$100, así como también el costo del equipo terminal que tiene un valor de \$100 si el mismo es comprado por el suscriptor o de \$4 mensuales si es alquilado.

Cuando los usuarios vayan adquirir Internet de banda ancha, tienen que tener en cuenta la velocidad de conexión, el nivel de servicio, y el número de computadoras que usarán para conectarse a Internet, puesto que los precios varían según dichos parámetros.

3.7. Retorno de Inversión del sistema de Cable Modem

El análisis de retorno de inversión permite comparar las consecuencias financieras de varias opciones de negocios proyectadas a tres o cinco años. Para que este análisis sea convincente, hay que diseñar un esquema financiero sustentado en la lógica y en hechos y supuestos razonables, cuyo núcleo es el flujo de caja esperado.

Dicho de otro modo: una proyección del flujo de caja provee una estimación del impacto financiero neto de una decisión en cierto período de tiempo. Es importante resaltar una diferencia fundamental entre el flujo de caja de un análisis ROI y la declaración de pérdidas y ganancias. El retorno de la inversión se basa en el dinero en caja, mientras que el análisis de pérdidas y ganancias utiliza principios estándar de contabilidad para distribuir los costos de un modo “razonable”.

Por ejemplo, en un análisis de pérdidas y ganancias, el dinero destinado a adquirir un equipo cuya vida útil es de cinco años se amortiza durante ese período, es decir, se amortiza un quinto del costo del equipo por año. Por su parte, en la declaración de flujo de caja se imputa el monto al ejercicio en que se emitió el cheque. Tras estimar los flujos de caja positivos y negativos asociados a cierta decisión, lo siguiente es sumarlos para calcular el impacto neto en cada período.

Desde la perspectiva del inversionista, cuando el dinero se invierte, hay un saldo no recuperado en cada período de tiempo. La tasa de retorno es la tasa de interés ganada sobre este saldo no recuperado, de manera que la cantidad total y el interés se recuperan en forma exacta con el último pago o entrada. Esto no

establece que la tasa de retorno sea sobre la cantidad inicial de la inversión, sino más bien sobre el saldo no recuperado, el cual varía con el tiempo¹.

Costos del Operador

Del número de usuarios estimados en los primeros cinco años, podemos obtener el promedio mensual estimado que ingresarían a la red durante este tiempo:

Mes	Número de usuarios durante el primer año	Número de usuarios durante el segundo año	Número de usuarios durante el tercer año	Número de usuarios durante el cuarto año	Número de usuarios durante el quinto año
1	333	4.750	13.500	19.417	24.417
2	667	5.500	14.000	19.833	24.833
3	1.000	6.250	14.500	20.250	25.250
4	1.333	7.000	15.000	20.667	25.667
5	1.667	7.750	15.500	21.083	26.083
6	2.000	8.500	16.000	21.500	26.500
7	2.333	9.250	16.500	21.917	26.917
8	2.667	10.000	17.000	22.333	27.333
9	3.000	10.750	17.500	22.750	27.750
10	3.333	11.500	18.000	23.167	28.167
11	3.667	12.250	18.500	23.583	28.583
12	4.000	13.000	19.000	24.000	29.000

Tabla XVII. Estimación de usuarios que ingresan a la red cada mes

¹ Ingeniería Económica, 5ª Edición, Leland Blank y Anthony Tarquin, McGraw-Hill, página 202.

De los datos que se encuentran en la Tabla XVII, y el costo estimado de llevar tráfico hacia Internet por usuario - \$11,8 -, podemos obtener los costos mensuales estimados por llevar tráfico hacia Internet:

Mes	Costos del primer año (\$)	Costos del segundo año (\$)	Costos del tercer año (\$)	Costos del cuarto año (\$)	Costos del quinto año (\$)
1	3.933	56.050	159.300	229.117	288.117
2	7.867	64.900	165.200	234.033	293.033
3	11.800	73.750	171.100	238.950	297.950
4	15.733	82.600	177.000	243.867	302.867
5	19.667	91.450	182.900	248.783	307.783
6	23.600	100.300	188.800	253.700	312.700
7	27.533	109.150	194.700	258.617	317.617
8	31.467	118.000	200.600	263.533	322.533
9	35.400	126.850	206.500	268.450	327.450
10	39.333	135.700	212.400	273.367	332.367
11	43.267	144.550	218.300	278.283	337.283
12	47.200	153.400	224.200	283.200	342.200
Total	306.800	1'256.700	2'301.000	3'073.900	3'781.900

Tabla XVIII. Estimación del costo mensual por llevar tráfico hacia Internet

De los datos obtenidos en la sección 3.3 acerca de los costos estimados del operador para ofrecer el servicio de Internet por medio de Cable Modem, multiplicado por el número de usuarios estimados en los primeros cinco años – Tabla XVI–, en conjunto con los datos finales de la Tabla XVIII, podemos obtener lo siguiente¹:

¹ Los costos de las mejoras en la red troncal y en la red de distribución se realizan en el transcurso del primer año

	Inicio del primer año (\$)	Inicio del segundo año (\$)	Inicio del tercer año (\$)	Inicio del cuarto año (\$)	Inicio del quinto año (\$)
Costos de llevar tráfico hacia Internet	306.800	1'256.700	2'301.000	3'073.900	3'781.900
Equipo a ser usado en el head-end	160.000	0	0	0	0
Mejoras en la red troncal	210.000	210.000	0	0	0
Mejoras en la red de distribución	12.000	12.000	0	0	0
Mejoras en la acometida de abonado	180.000	405.000	270.000	225.000	225.000
Equipos del usuario -CM-	240.000	540.000	360.000	300.000	300.000
Costo total	1'108.800	2'423.700	2'931.000	3'598.900	4'306.900

Tabla XIX. Estimación de costos anuales del operador

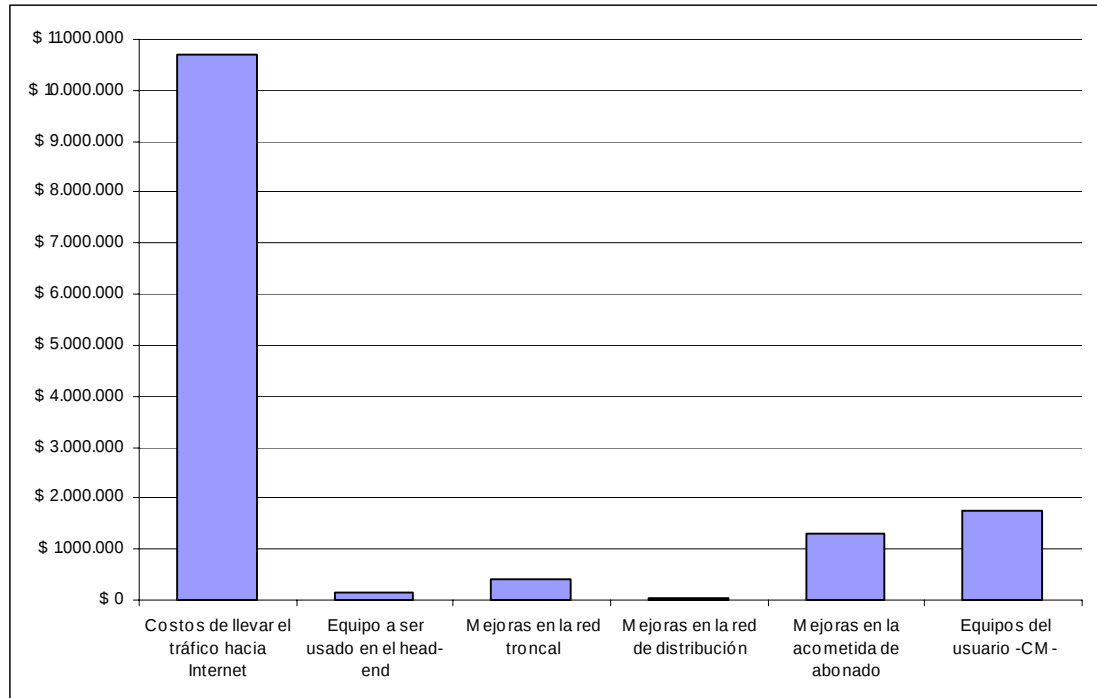


Figura 25. Costos estimados del operador

Ingresos del Operador

Los ingresos del operador se pueden dividir de la siguiente manera: mensualidad del servicio, costos de instalación y venta de equipos al usuario.

De los datos obtenidos en la Tabla XVII multiplicados por el costo¹ mensual del servicio - \$49,99 - obtenemos los ingresos que tiene el operador por este rubro; en conjunto con los costos del usuario² multiplicados por el número de usuarios estimados en los primeros cinco años – Tabla XVI -, obtenemos los ingresos estimados del operador:

	Ingresos durante el primer año (\$)	Ingresos durante el segundo año (\$)	Ingresos durante el tercer año (\$)	Ingresos durante el cuarto año (\$)	Ingresos durante el quinto año (\$)
Mensualidad del servicio	1'299.740	5'323.935	9'748.050	13'022.395	16'021.795
Venta de CM's a los usuarios	400.000	900.000	600.000	500.000	500.000
Instalación del servicio	400.000	900.000	600.000	500.000	500.000
Total de Ingresos	2'099.740	7'123.935	10'948.050	14'022.395	17'021.795

Tabla XX. Ingresos estimados del operador

¹ Como se mencionó anteriormente, por simplicidad del análisis asumimos que los usuarios sólo adquieren el plan CABLEMODEM 64 que tiene un costo de \$49,99 + I.V.A.

² Costo por instalación de \$100 y costo del equipo terminal de \$100, por simplicidad se asume que todos los usuarios compran el equipo terminal

En los cálculos de la tasa de retorno, el objetivo es encontrar la tasa de interés i^* a la cual la cantidad presente y la cantidad futura son equivalentes, siendo la ecuación de valor presente usada para el cálculo de la tasa de retorno:

$$VP_{\text{(inversiones o desembolsos)}} = VP_{\text{(ingresos)}}$$

$$0 = -VP_{\text{(inversiones o desembolsos)}} + VP_{\text{(ingresos)}}$$

De los resultados obtenidos en las Tablas XIX y XX, podemos obtener:

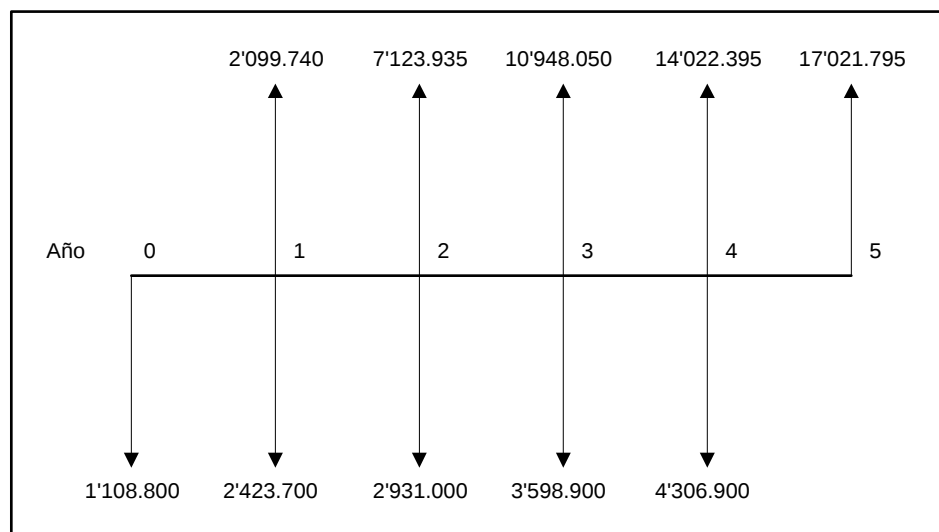


Figura 26. Flujo de caja esperado

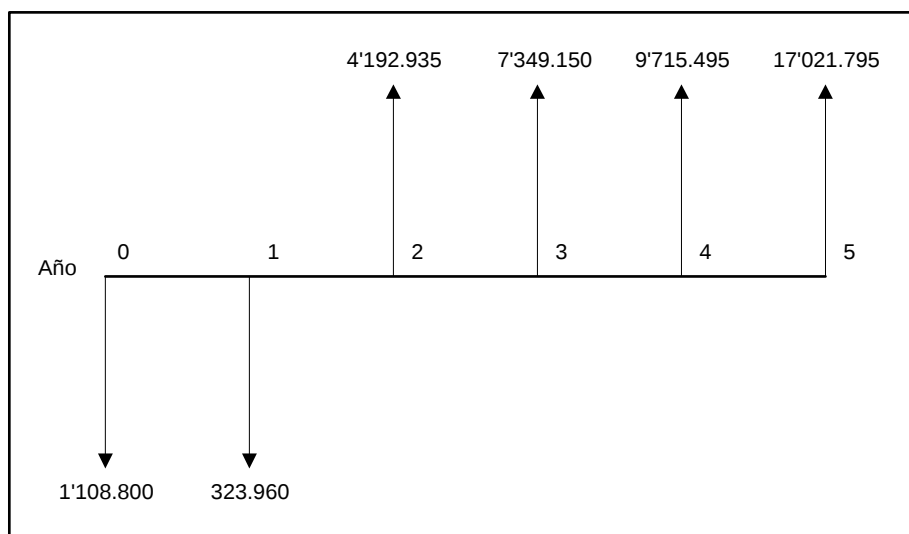


Figura 27. Flujo de caja equivalente

Para nuestro análisis, la relación de la tasa de retorno utilizando la ecuación de Valor Presente (VP) es:

$$1'108.800 + 323.960 (P/F, i^*, 1) = 4'192.935 (P/F, i^*, 2) + 7'349.150 (P/F, i^*, 3) + 9'715.495 (P/F, i^*, 4) + 17'021.795 (P/F, i^*, 5)$$

$$0 = -1'108.800 - 323.960 (P/F, i^*, 1) + 4'192.935 (P/F, i^*, 2) + 7'349.150 (P/F, i^*, 3) + 9'715.495 (P/F, i^*, 4) + 17'021.795 (P/F, i^*, 5)$$

El cálculo de la tasa de retorno se lo realiza usando una hoja de cálculo electrónica (excel), donde los datos de entrada a la misma se presentan a continuación:

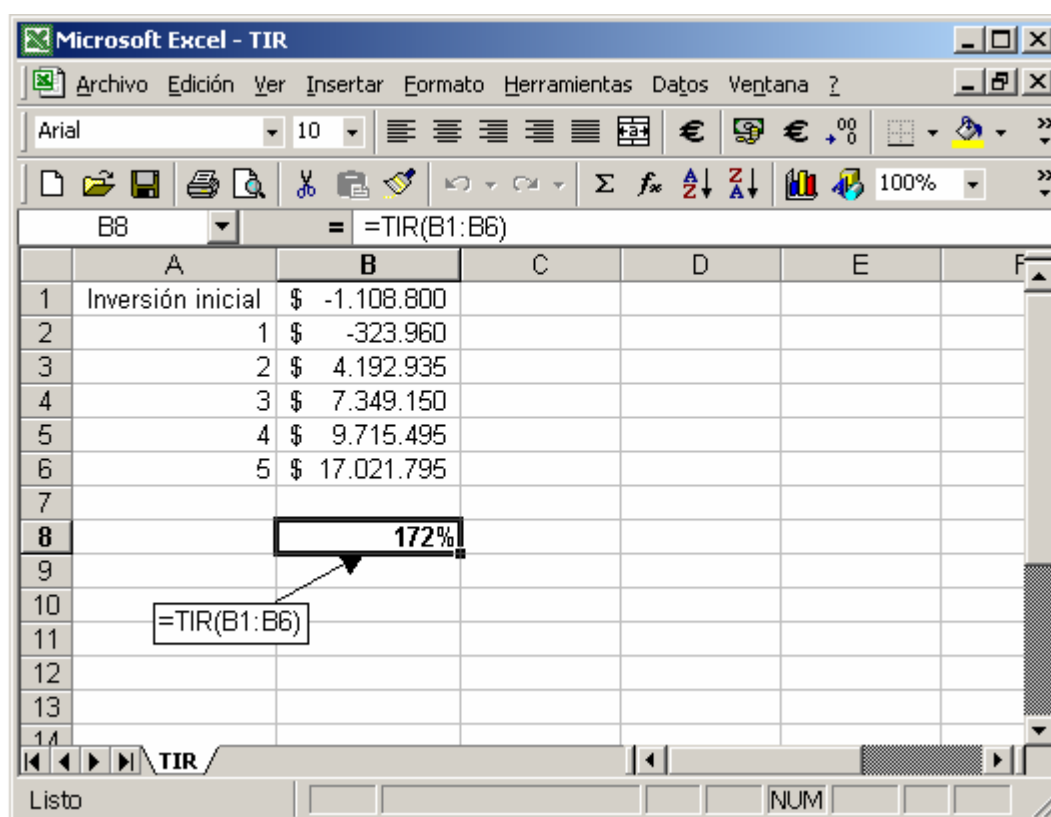


Figura 28. Función TIR

En la columna A de la hoja de cálculo se muestran los valores de los años sólo a manera de información. La función TIR proporciona un valor de i^* en la celda B8 de $i^* = 172\%$. Es decir, el operador obtiene una rentabilidad anual estimada en este porcentaje.

3.8. Beneficios del usuario

Entre los beneficios que obtiene el usuario al adquirir el servicio de Internet por medio de Cable Modem, podemos mencionar:

- No ocupa la línea telefónica, puesto que la información viaja por medio de la red de cable y no por la red del operador de telefonía como lo es en una conexión dial-up. De esta manera se puede hacer y recibir llamadas telefónicas sin cortar la conexión a Internet y sin la necesidad de adquirir otra línea telefónica.
- Acceso ilimitado a Internet por el pago de una tarifa mensual fija, y de este modo ya no hay que preocuparse por el consumo de la línea telefónica que en casi todos los casos es el factor limitante para el tiempo en que un usuario hace uso de este servicio. Dado que el acceso a Internet por medio de Cable Modem tiene un costo mensual de \$55,89, desde el punto de vista económico los usuarios beneficiados con este servicio serían aquellos que se conectan a Internet en promedio 90 o más minutos diarios, puesto que en un plan ilimitado dial-up se debe pagar al ISP un promedio de \$20 mensuales, y por un consumo de 90 minutos diarios se pagaría \$34,29 mensuales a la compañía telefónica¹, dando un total de \$54,29 mensuales.
- Estar conectado a Internet por tiempo completo, sin necesidad de discar repetidas veces y sin el riesgo de encontrar el molesto tono de ocupado, es

¹ El costo por minuto de llamada local es \$0,0127 incluido impuestos.

decir sólo bastará con encender la computadora y ya estará conectado a Internet.

- No hay la necesidad de escribir el usuario y su respectiva contraseña a la hora de conectarse.
- Mayor tasa de transmisión, ya que en una conexión dial-up la tasa de transmisión downstream y upstream es en promedio 28 Kbps; en cambio en Cable Modem la tasa¹ de transmisión downstream y upstream mínima es de 64 Kbps.
- Ahorro de tiempo, debido a que antes con dial-up para descargar un archivo de 10 Mbytes tomaba alrededor de 50 minutos, ahora con la tasa de transmisión de Cable Modem le tomará alrededor de 20 minutos.
- Mantenerse actualizado, en lo referente a correo electrónico ya que siempre está conectado a la red Internet, y mensajes que pueden ser importantes o urgentes, llegan en tiempo real.

¹ Dependerá del plan de servicio que haya sido adquirido por el usuario.

3.9. Beneficios del operador al integrar servicios

Los operadores de televisión por cable han estado entregando a sus usuarios sólo el servicio de televisión, en un mercado donde hay poca competencia y que no se sujeta a veloces cambios tecnológicos.

Los servicios de comunicaciones que el operador de cable comienza a proveer en su red, van a ser ofrecidos en competencia directa con otras empresas de telecomunicaciones. En el servicio de telefonía, el operador de cable tiene que competir exitosamente con las compañías telefónicas, para que pueda obtener una significativa cantidad de ingresos. El servicio de Internet, se desarrolla en un mercado que tiene mucha competencia, y que se sujeta a rápidos cambios tecnológicos en el que surgen distintas aplicaciones, que requieren velocidades simétricas, para lo cual competiría con los ISPs quienes usan conexiones dial-up, con empresas que ofrecen ADSL, Internet inalámbrico, y otros como satelital que no son considerados por sus precios relativamente altos.

Un sistema de servicios integrados debería proveer un modelo de comunicación que trabaje independientemente de la aplicación que este soporta. Con un sistema de servicios integrados debería ser posible compartir infraestructura de la red, ancho de banda, y protocolos para soportar las diferentes aplicaciones de comunicación.

El aspecto más importante de un sistema de servicios integrados, es que se puede ofrecer nuevos servicios sin construir nueva infraestructura, es decir, permite al operador llevar diferentes servicios por la misma infraestructura resultando en que el costo de los servicios sea más barato que si éstos fueran entregados por medio de diferentes sistemas.

Por tanto, el Grupo TVCable integra servicios en su red ya que presta el servicio de Internet, televisión por cable, y próximamente telefonía en la misma red, siendo el único operador en prestar tales servicios usando una sola infraestructura.

Algunas de las características de un sistema de servicios integrados se mencionan a continuación:

- a) El mayor costo en la planificación y construcción de la red fueron hechos para ofrecer el servicio de televisión por cable, luego para añadir los servicios antes mencionados se hace modificando ciertas partes de la red, y sumando equipos adicionales en el head-end y en el usuario.
- b) Los nuevos servicios a ofrecer tienen costos de entrada más bajos, puesto que la red ya está construida.

- c) Se maneja un esquema de ancho de banda compartido, permitiendo que los diferentes servicios operen en el mismo espectro de cable, haciendo un uso más eficiente de los recursos de la red.
- d) Los costos operacionales podrían verse reducidos:
 - a. Se puede monitorear toda la red, así como sus servicios desde un mismo punto.
 - b. El mantenimiento de la red, estará a cargo del mismo personal que estaba encargado cuando sólo era ofrecido el servicio de televisión por cable.
- e) Los costos administrativos se ven reducidos ya que los distintos servicios a ofrecer serán dados por un solo operador.

El integrar servicios en el sistema de cable es un proceso que toma tiempo, puesto que es gradual, ya que se debe evaluar extensamente los nuevos servicios antes de que salgan al mercado, siendo lo mejor comenzar a ofrecer el servicio de Internet -por medio de Cable Modem- el cual es más apreciado por los usuarios, a la vez que es la base para los nuevos servicios a ofrecer -VoIP-. El

ofrecer un nuevo servicio implica un costo adicional, y el sistema de cable no sólo debe construirse, sino también renovarse y mantenerse.

Los nuevos servicios tienen un costo de entrada bajo, ya que la infraestructura está construida, y por tanto resulta menos riesgoso ofrecerlo. Dado que el servicio de Internet por medio de Cable Modem tiene una infraestructura de comunicación diferente y con precios similares¹ a la tradicional conexión dial-up, el operador puede tomar ventaja en torno a esto y hacer el servicio más atractivo.

Otra de las ventajas para atraer a clientes es para quienes quieren adquirir dos servicios – Internet y televisión por cable – con un solo operador, o también cuando se ofrece alguno de estos servicios a precios más bajos que la competencia.

3.10. Competencia de Cable Modem en el mercado – Otras tecnologías

La competencia en el mercado de servicios de banda ancha, en el cual se encuentra el servicio de Internet por medio de Cable Modem, comienza a ser mayor, ya que en el mercado ecuatoriano existen empresas que están ofreciendo

¹Precios similares, ya que la conexión dial-up es la suma del pago al ISP por el acceso ilimitado a Internet y el pago a la empresa telefónica por la cantidad de tiempo que se ha estado conectado a la misma.

ADSL, así como también acceso inalámbrico a precios asequibles para usuarios residenciales.

ADSL es una tecnología que convierte el par de cobre que va desde la central telefónica hasta el usuario, en un medio para la transmisión de datos a velocidades altas lo cual puede ser utilizado para el acceso a Internet y aplicaciones multimedia como video bajo demanda. Transforma una red creada para transmitir voz en otra útil para cualquier tipo de información, sin necesidad de tener que reemplazar los cables existentes, lo que supone un beneficio considerable para los operadores propietarios de los mismos. La tecnología ADSL resulta muy ventajosa para una compañía telefónica, puesto que esta ya cuenta con una red construida y operativa, por lo que su inversión inicial sería más baja.

Si una empresa¹ que desea llegar a sus usuarios finales por medio de su propia red, desea ofrecer acceso a Internet por medio de ADSL, tendría una inversión inicial alta, debido a que tiene que realizar la ubicación estratégica del DSLAM, puesto que estos sirven de intermediarios entre los usuarios y el backbone, así como también instalar la acometida de abonado, que consiste en el par de cobre que va desde la ubicación del DSLAM hacia el suscriptor.

¹ Empresa de servicios portadores o finales

El equipo que va donde el usuario se puede conectar a la red del cliente a través de una interfaz de red 10/100 base T (conector RJ-45) o por medio de un puerto USB a un solo computador del mismo. Puede ser configurado como bridge o como un router. Este equipo se conecta al DSLAM por medio de un par de cobre y a través de este al operador.

ADSL tiene naturaleza asimétrica debido a que tiene dos velocidades diferenciadas, una en sentido descendente y otra en sentido ascendente. Se enfrenta a problemas como por ejemplo, la sensibilidad a las interferencias provenientes del exterior (electromagnéticas) o de otra línea cercana (par de cobre), y el estado físico del par de cobre debido a los años que lleva instalado (si es una compañía telefónica la oferente).

En Ecuador, no se ha realizado una gran explotación de esta tecnología por parte de las compañías telefónicas incumbentes, y en especial de Pacifictel S.A. lo que ha causado que no se pueda disfrutar de las ventajas que otorga esta tecnología desde hace algunos años.

Existen empresas que ofrecen ADSL en un precio y tasas de transmisión similares a Cable Modem, por lo que la competencia entre los proveedores de estas tecnologías está siendo cada vez más fuerte, ya que también tienen

cobertura en sectores similares debido a que el servicio es destinado principalmente a sectores residenciales de alto status económico.

Otra de las tecnologías de acceso para proveer Internet de alta velocidad a empresas y residencias que está siendo usada es WLL. Es un sistema punto multipunto, el cual consiste de una estación base ubicada en un sitio estratégico y de las unidades del suscriptor que sirven para proporcionar la conectividad de última milla entre el usuario y el operador.

El sistema usa TDD, donde el total del ancho de banda disponible por canal puede ser compartido entre los flujos de subida, con los de bajada – teniendo la capacidad de configurar la relación de bajada respecto de la subida –. La disponibilidad del ancho de banda en un sector puede ser compartida por todos los usuarios registrados bajo ese canal.

El equipo que se ubica donde el usuario consiste de una unidad interna – IDU -, la cual incluye los componentes de red, el módem, la fuente de poder, la interfaz 10/100 base T, entre otras funciones; y de una unidad externa – ODU -, que tiene integrada la antena y el radio. Dependiendo del modelo de este equipo se lo puede configurar como bridge, como una interfaz NAT, o como un router. El IDU se conecta al ODU a través de un cable coaxial (para la señal y la fuente de energía DC), y un cable de par trenzado para el control.

Además se ofrece Internet de alta velocidad por satélite, siendo más costoso que las opciones anteriores por lo que no es considerado un competidor directo de la tecnología Cable Modem, pero para zonas rurales puede ser la única forma de conectarse a Internet.

3.11. Impacto de la tecnología de Cable Modem

Antes de la llegada de la tecnología de Cable Modem, la satisfacción del suscriptor de televisión por cable estaba en función de una variedad de factores, tales como: calidad y variedad de programación, confiabilidad del servicio, calidad del sonido y video, y la cantidad de dinero que tiene que pagar; ahora a más de eso los clientes de televisión por cable tienen la posibilidad de adquirir el servicio de Internet por medio de Cable Modem, lo cual le da un valor agregado a dichos suscriptores.

Cable Modem tiene cobertura parcial, concentrado en zonas urbanas que tienen altos recursos económicos. Entre los usuarios residenciales, que son el mayor grupo al que va dirigido este servicio, también se encuentran potenciales usuarios que son los pequeños negocios u oficinas de profesionales – doctores, dentistas, consultores independientes, etc –.

La tecnología Cable Modem fue una de las primeras que estuvo en el mercado ecuatoriano en lo que se refiere a servicios de banda ancha, por lo que al comienzo el operador al tener poca idea de lo que el usuario estaría dispuesto a pagar por este servicio, así como también por no tener competencia directa para el mismo, los primeros¹ precios de comercialización fueron relativamente altos en un mercado donde todavía no se comprendía los beneficios de la misma y además estaba destinada para usuarios que accedan a la Internet como mínimo 45 horas² mensuales para que puedan tener conveniencia económica y utilidad de la misma. Con el pasar de los meses y la llegada de la competencia con otras tecnologías y medios de acceso, los cuales tienen cobertura en sectores similares, el operador de la tecnología Cable Modem redujo³ sus precios y aumentó la capacidad upstream para mantener a los suscriptores ya adjuntos a su red y obtener nuevos usuarios, en un mercado que cada vez es más competitivo.

Hasta el mes de septiembre del año 2005, el operador cuenta con un promedio de 10.000 usuarios de Cable Modem adjuntos por medio de su red HFC, a los cuales se incrementan un promedio de 400 usuarios al mes.

¹ \$ 75 + I.V.A. por el plan 64/32 Kbps para un computador.

² Ya que si se hace uso de la Internet por menos de este tiempo, el suscriptor desde el punto de vista económico no lo veía tan ventajoso, y le restaba entusiasmo para cambiarse de dial-up a Cable Modem.

³ \$ 49,99 + I.V.A. por el plan 64/64 Kbps para un computador.

Esta masificación del servicio ofrecido por el operador se debe principalmente a que cuenta con una red ya construida. Por esto, en los actuales momentos Cable Modem se sitúa como la primera alternativa de acceso a Internet en lo que a servicios de banda ancha se refiere.

4. ASPECTOS LEGALES

4.1. Servicios de televisión por cable

A continuación se enuncian ciertos artículos de las leyes y reglamentos que regulan los sistemas de televisión por cable, los mismos que harán notar cuáles son los servicios que se ofrecen por medio de los sistemas de televisión por cable que son regulados por el CONARTEL y cuáles por el CONATEL.

El artículo 5 del capítulo III perteneciente al Reglamento General a la Ley de Radiodifusión y Televisión, clasifica las estaciones de radiodifusión y televisión, entre las que enuncia:

3.- Estaciones de Radiodifusión o Televisión por Cable de Audio, Video y Datos.- Son estaciones que permiten la difusión unilateral de señales de audio, video y datos, utilizando un medio físico para su difusión. Su recepción no está dirigida al público en general.

De acuerdo a esto, las estaciones de televisión por cable pueden ofrecer la transmisión de señales unidireccionales, lo mismo que han venido haciendo durante el transcurso de los años, lo cual consiste en transmitir señales de televisión desde el head-end del operador hacia la ubicación de los usuarios.

Debido a que la tecnología Cable Modem permite el acceso al servicio de Internet por medio de la red de cable, es decir el acceso al usuario final es aprovechando el sistema de televisión por cable, y dado que los medios, sistemas y/o servicios de televisión son competencia del CONARTEL, se enuncian los siguientes artículos:

Artículo 3 del Reglamento para sistemas de televisión codificada y televisión por cable, dice:

Todos aquellos medios, sistemas o servicios de telecomunicaciones no correspondientes a radiodifusión y televisión, incluyendo los respectivos servicios públicos de valor agregado, no son de competencia de la Ley de Radiodifusión y Televisión y serán regulados por el organismo pertinente.

El artículo 9 del capítulo 5, perteneciente al Reglamento General a la Ley de Radiodifusión y Televisión, enuncia:

..... En lo referente a la televisión por cable y televisión codificada la autorización no comprenderá la prestación de servicios de telecomunicaciones cuya competencia corresponde al Consejo Nacional de Telecomunicaciones, CONATEL, de conformidad con la Ley Especial de Telecomunicaciones y sus Reformas.

Es decir, es competencia del CONATEL la regulación de los servicios de telecomunicaciones, entre los que se encuentra el servicio de Internet y telefonía, ya que es el ente público encargado de establecer en representación del Estado, las políticas y normas de regulación de los servicios de telecomunicaciones en el

Ecuador. Y debido al cambio a un entorno de libre competencia y adelantos tecnológicos, el CONATEL emitió el 20 de febrero del 2002 un nuevo Reglamento para la prestación de servicios de valor agregado.

En lo que respecta a los servicios que se pueden ofrecer por medio del sistema de cable, cabe mencionar que le compete al CONARTEL sólo los servicios que realizan la difusión unilateral de señales de audio, video y datos, como por ejemplo, la televisión por cable el cual es un servicio de radiodifusión y televisión; ya que los servicios de telecomunicaciones que se ofrezcan serán competencia del CONATEL.

4.2. Acceso al servicio de Internet

Debido a que el servicio de Internet es considerado un servicio de valor agregado, de aquí en adelante se hará referencia al Reglamento para la prestación de servicios de valor agregado con Resolución 071-03-CONATEL-2002-02-20 y Registro Oficial N° 545-1-Abril-2002, a no ser de que se especifique lo contrario.

Artículo 21.

Los permisionarios para la prestación de servicios de valor agregado tendrán el derecho a conexión internacional, desde y hacia sus nodos principales, para el transporte de la información necesaria para la prestación de sus servicios y podrá realizarlo bajo cualquiera de las modalidades siguientes:

- a. **Infraestructura propia.-** Para lo cual deberá especificarlo en la solicitud adjuntando el diagrama y especificaciones técnicas y conjuntamente deberá tramitar la obtención del título habilitante correspondiente necesario para su operación no pudiendo ser alquilada su capacidad o infraestructura a terceros sin un título habilitante para la prestación de servicios portadores.
- b. **Contratar servicios portadores.-** Para lo cual deberá señalar en la solicitud correspondiente la empresa de servicios portadores que brindará el servicio.

SURATEL¹ ISP es la empresa que presta el acceso al servicio de Internet, y tiene conexión internacional por medio SURATEL PORTADOR, desde y hacia sus nodos principales, para el transporte de la información necesaria para la prestación del servicio.

Artículo 25.

Sin perjuicio de regular modalidades de acceso para diferentes servicios de valor agregado, se regulan específicamente las siguientes:

- a. **Los permisionarios proveedores de servicios de Internet:**
 - 1. **Podrán acceder a sus usuarios a través de servicios portadores y/o finales.**
 - 2. **Podrán acceder a sus usuarios mediante el uso de infraestructura propia siempre y cuando obtengan el título habilitante para la prestación de servicios portadores y/o finales.**

.....

SURATEL ISP accede a sus usuarios a través de servicios portadores, mediante SURATEL PORTADOR, ya que TVCable renta capacidad de su red HFC a SURATEL PORTADOR.

¹ Suramericana de Telecomunicaciones S.A. posee el permiso para la prestación de servicios de valor agregado, y la concesión para la prestación de servicios portadores.

El artículo 14 del Reglamento para la prestación de servicios portadores con Resolución No. 388-14-CONATEL-2001 y Registro Oficial No. 426-2001-10-04, dice:

..... Para la prestación de los servicios portadores y la consecuente transmisión de signos, señales, imágenes, voz y datos, entre puntos de terminación de una red definidos, los prestadores del servicio portador podrán usar uno o más segmentos de su propia red, uno o más segmentos de otras redes públicas conmutadas o no conmutadas y el alquiler de circuitos, para lo cual se suscribirá un acuerdo comercial entre las partes. El medio a utilizarse en la transmisión podrá ser alámbrico o inalámbrico.

Los prestadores de servicios portadores podrán establecer las redes que se requieran para la prestación de servicios portadores. Éstas serán redes públicas de telecomunicaciones.

Este artículo faculta a SURATEL PORTADOR alquilar capacidad de red a la empresa TVCable, suscribiendo un acuerdo comercial con la misma.

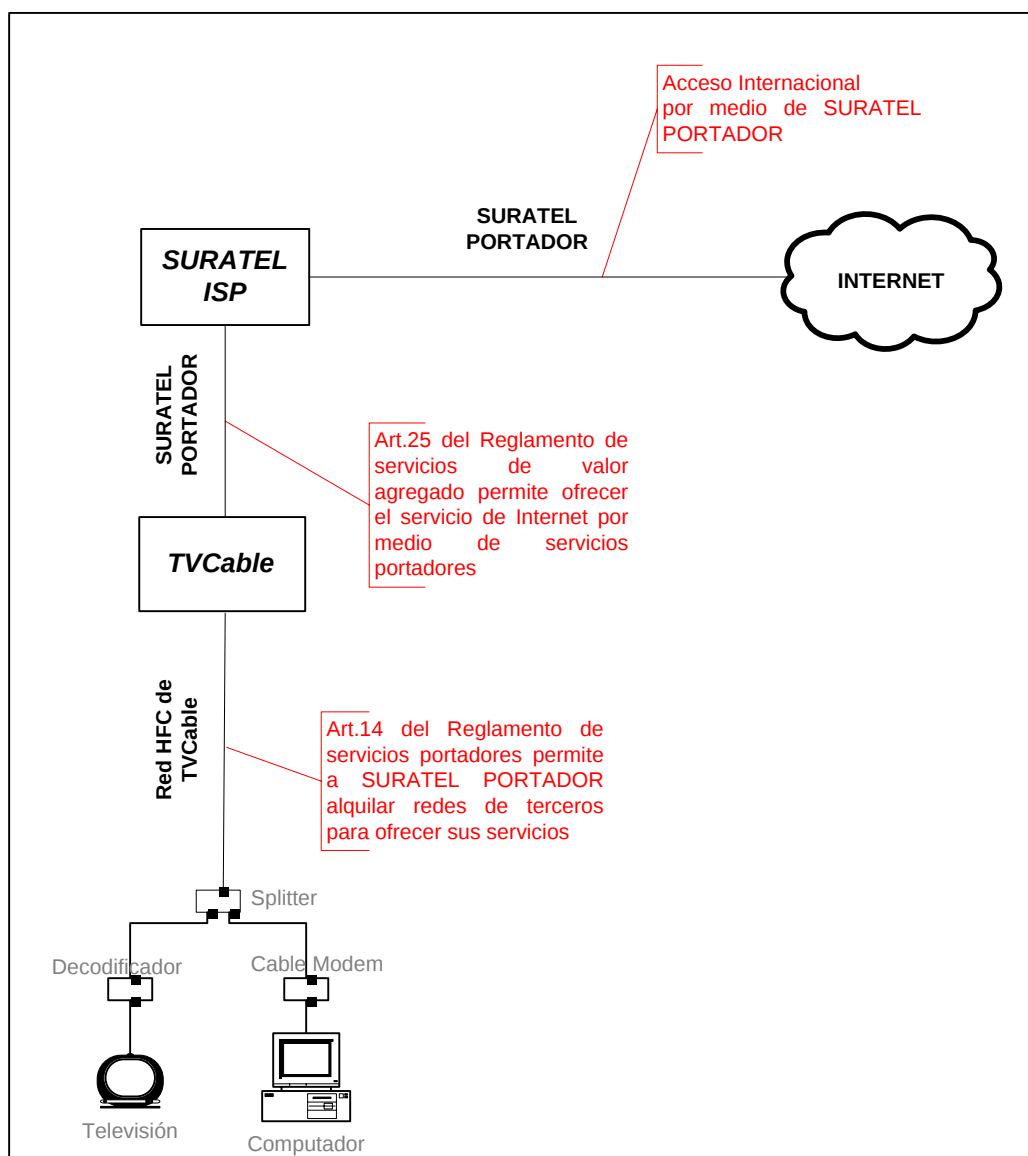


Figura 29. Regulación de Cable Modem

La disposición transitoria única del Reglamento para la prestación de servicios portadores, dice:

En cumplimiento de lo dispuesto en la disposición transitoria primera del Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones, publicada en el Registro Oficial 404 de 4 de

septiembre de 2001, el acceso a la red de Internet podrá realizarse a través de los servicios portadores, debidamente concesionados, por cualquier medio, tecnología de transmisión y protocolo.

De acuerdo a esta disposición transitoria, se puede utilizar cualquier tecnología para acceder a la red de Internet a través de servicios portadores. Puesto que en nuestro país no se regulan las tecnologías, sino los servicios.

En resumen podemos decir que el Grupo TVCable cumple todos los requisitos legales para ofrecer el acceso al servicio de Internet por medio de Cable Modem, ya que el artículo 25 del Reglamento para la prestación de servicios de valor agregado antes mencionado permite a los permisionarios proveedores de servicios de Internet acceder a sus usuarios a través de servicios portadores y/o finales, siendo el acceso a los usuarios finales a través de servicios portadores. El artículo 14 del Reglamento para la prestación de servicios portadores permite a SURATEL PORTADOR alquilar capacidad de red a TVCable, así mismo la disposición transitoria única de este reglamento no restringe medios ni tecnologías, teniendo total libertad para elegir la misma, siendo ésta Cable Modem por medio de la red HFC de TVCable.

La no regulación de las tecnologías de acceso al servicio de Internet por parte del estado ecuatoriano, facilitan que este servicio se desarrolle sin restricciones regulatorias en cuanto a las formas de acceso, a medida que las empresas de

telecomunicaciones realizan fuertes inversiones, ya sea para construir nueva infraestructura o para adecuar las existentes y, de esta forma sean aptas para ofrecer el servicio. La regulación a las tecnologías de acceso no es necesaria para asegurar la competitividad de Internet, esto sólo afecta el deterioro de la inversión, interfiere con el desarrollo, y sube los costos de tal servicio. Por tanto, en un país como Ecuador no se hace necesaria la regulación de las tecnologías de acceso, sino más bien es imperioso por parte del estado ecuatoriano que incentive tanto a los usuarios como a las empresas para que realicen los esfuerzos inevitables para que cada día existan más personas beneficiadas con el servicio de Internet.

4.3. Múltiples servicios bajo una misma red

El resultado de la innovación tecnológica ha llevado a que varios servicios puedan ser ofrecidos por un sólo medio, como es el caso de los sistemas de televisión por cable que pueden ofrecer por medio de su red distintos servicios como son: televisión por cable, Internet, telefonía IP, y redes privadas.

Sobre la misma red de televisión por cable se pueden ofrecer servicios que son regulados por diferentes entidades como son el CONARTEL (televisión por cable) y el CONATEL (Internet, redes privadas y telefonía), ya que el servicio de televisión por cable es considerado un servicio de radiodifusión y televisión

mientras que los otros servicios (Internet, redes privadas y telefonía) son considerados servicios de valor agregado y de telecomunicaciones respectivamente.

La “Convergencia” ha sido una palabra que se ha venido escuchando durante algunos años, pero su realización ha comenzado y será acelerado como resultado de las nuevas tecnologías. La convergencia de servicios además forzará a que el mercado trabaje más efectivamente.

El estado ecuatoriano tiene que tomar la iniciativa para reducir el nivel de regulación de acuerdo al desarrollo tecnológico, ya que las tecnologías y el mercado continuarán desarrollándose con el pasar de los años. En particular, la convergencia de los servicios jugará un rol significativo en formar el presente y el futuro de los negocios así como la regulación en el sector de las telecomunicaciones.

La regulación aplicable a las redes de múltiples servicios no necesita ser diferente de las que son para un ambiente tradicional. La diferencia es que la naturaleza de los obstáculos para el desarrollo del mercado de las redes de múltiples servicios pueden ser bien diferentes de las que se producen en un ambiente tradicional. Lo que se necesita hacer es asegurar que la apropiada

estructura de regulación y legislación sean adecuadas para que la comunidad pueda beneficiarse de un mercado efectivo en el ambiente de convergencia.

En lo que respecta al rol de la regulación ecuatoriana en torno al ofrecimiento de múltiples servicios bajo una misma red, se puede mencionar lo siguiente:

El punto principal del regulador debe ser el promover la inversión en las redes y servicios para que tengamos una infraestructura de información de capacidad y velocidad adecuada, accesible para todos, sobre la cual se pueda llevar todos los contenidos, aplicaciones y servicios. La regulación debe usarse sólo para intervenir cuando el mercado no puede proteger los intereses del usuario o para lograr ciertos objetivos sociales tales como acceso universal, seguridad pública, etc., es decir, sólo para dirigir las imperfecciones del mercado.

Hay que preguntarse si nuestra estructura de regulación y legislación son adecuadas para ocuparse con los problemas que pueden presentarse con las redes de múltiples servicios. No se debe restringir los tipos de servicios que pueden ser llevados sobre las redes. De tal forma que los servicios de telefonía, datos y televisión pueden ser llevados sobre la misma red.

El servicio de Internet al ser considerado un servicio de valor agregado y al mismo tiempo de acuerdo al artículo 25 del Reglamento de Servicios de Valor

Agregado que dice que tal servicio puede ser ofrecido por medio de servicios portadores o finales; y de acuerdo al segundo párrafo del artículo 13 del Reglamento a la Ley de Telecomunicaciones Reformada que dice lo siguiente:

Toda red de la que dependa la prestación de un servicio final o portador será considerada una red pública de telecomunicaciones. En este caso, para el establecimiento y operación de redes públicas de telecomunicaciones se requiere ser titular de un título habilitante de servicios portadores o finales.

El Grupo TVCable al ofrecer el servicio de Internet por medio de la red de televisión por cable, hace que dicha red sea considerada una red pública de telecomunicaciones, la misma que puede soportar la prestación de varios servicios, siempre que cuente con el título habilitante respectivo.

El artículo 71 del Reglamento a la Ley de Telecomunicaciones Reformada, es como sigue:

Todo poseedor de un título habilitante que preste varios servicios de telecomunicaciones estará obligado a prestarlos como negocios independientes y, en consecuencia, a llevar contabilidades separadas. Quedan prohibidos los subsidios cruzados.

El artículo 20 del Reglamento para la Prestación de Servicios de Valor Agregado, dice:

Toda persona natural o jurídica que haya obtenido, de acuerdo con lo establecido en este Reglamento, un título habilitante para

operar servicios de valor agregado y que a su vez tenga otros títulos habilitantes de telecomunicaciones, deberá sujetarse a las condiciones siguientes:

- a. Todos los operadores deberán respetar el principio de trato igualitario, neutralidad y libre competencia. Los organismos de regulación, administración y control velarán por evitar prácticas monopólicas, de competencia desleal, de subsidios cruzados o directos y en general cualquier otra que afecte o pudiere afectar la libre competencia.**
- b. Todo poseedor de un título habilitante que preste varios servicios de telecomunicaciones o de valor agregado estará obligado a prestarlos como negocios independientes y, en consecuencia, a llevar contabilidades separadas que reflejen sus estados financieros. Quedan prohibidos los subsidios cruzados.**

En consecuencia, la empresa de telecomunicaciones que ofrezca distintos servicios sobre la misma red – Internet, redes privadas, telefonía, televisión por cable – está obligada a prestar tales servicios como negocios independientes, llevar contabilidades separadas de los mismos, y a no realizar subsidios cruzados con algún servicio que afecte la libre competencia.

5. RESUMEN

Este trabajo está formado por tres capítulos, en cada uno de los cuales se trataron aspectos técnicos, económicos y regulatorios de una operación de Cable Modem en el Ecuador.

El primer capítulo que hace referencia a los Aspectos Técnicos, comienza describiendo las características de transmisión, medios, y el esquema de una red de televisión por cable, descripciones necesarias que deben ser comprendidas antes de analizar la tecnología Cable Modem. Paso seguido, se describe la forma de operar de Cable Modem, así como también las modificaciones que deben ser realizadas para su implementación.

Luego de realizar un análisis general de la tecnología de Cable Modem, se empieza a profundizar en el análisis de su funcionamiento, para de esta forma describir las características y parámetros de transmisión para obtener un óptimo rendimiento de la red. Una vez conocida tales características y parámetros, éstos son contrastados con los implementados en la arquitectura de red actualmente en uso.

En los Aspectos Económicos, se presentaron los costos de inversión en la red, en el equipamiento -incluyendo el lado del usuario-. Se estimó el costo operacional por

Kbps y por usuario, con lo cual se pudo estimar un ROI. Además, se describió los beneficios del usuario y el operador al integrar servicios en una misma red.

Se enunció también las tecnologías de acceso opcionales a las de Cable Modem que están presentes en nuestro país. Al final de este capítulo se presentó el impacto en los usuarios que ha tenido esta tecnología.

En el capítulo que hace referencia a los aspectos legales, se detallaron ciertos artículos de los reglamentos que corresponden a la regulación vigente en nuestro país, los cuales hacen posible que el Grupo TVCable pueda ofrecer Cable Modem. Se expuso un punto de vista con respecto a la no regulación de las tecnologías de acceso al servicio de Internet en nuestro país. Enfatizando los aspectos relacionados con la prestación de múltiples servicios bajo una misma red –Internet, televisión, telefonía, redes privadas-.

6. CONCLUSIONES

ASPECTOS TÉCNICOS

- El poseer una red HFC que tiene la suficiente capacidad para soportar servicios como transmisión de datos y telefonía, le ha permitido al operador invertir en esta red para que sea apta para el desarrollo de nuevos servicios, ya que ha ganado tiempo y dinero, al ofrecer servicios como Internet y próximamente telefonía sobre una infraestructura ya construida, puesto que sólo tiene que realizar ciertas modificaciones a la red y adicionar nuevos equipos, a la vez que los consumidores se han beneficiado por el desarrollo de los mismos.
- La estandarización – DOCSIS - provee muchos beneficios, ya que al existir interoperabilidad de los equipos, el operador tiene algunas opciones de las cuales puede elegir para construir su red de datos sobre cable, a la vez el proveedor de cable tiene en cada operador un posible cliente fortaleciendo de esta manera la competitividad.
- El desarrollo de servicios de banda ancha a cargo de los operadores de cable en el Ecuador, es limitado, ya que sólo el Grupo TVCable presta tales servicios, el cual tiene un futuro encaminado a mantener la posición de liderazgo en los servicios de banda ancha para clientes residenciales y para pequeñas y medianas empresas.

- Un factor clave en el rendimiento del sistema es la distribución del número de usuarios pertenecientes a un nodo. El formato de modulación usado en los puertos upstream no puede ser cambiado de QPSK a 16QAM, debido a los niveles variantes de CNR que presentan los sectores cubiertos por los distintos nodos, así como también no se puede aumentar la tasa de símbolo ya que en la mayoría de puertos upstream se está empleando la tasa más alta, por lo que la única opción para solucionar problemas de congestión por exceso de usuarios en un nodo, es distribuir los suscriptores del mismo en dos puertos upstream, lo que implica el uso de un hilo de fibra óptica adicional y su equipamiento respectivo, es decir, el nodo es separado en dos, por lo que se deben reagrupar las ramas de la red de distribución. Con esto, se disminuye el nivel de ruido y colisiones, y se incrementan los niveles de CNR en aquellos puertos upstream donde sean disminuidos los usuarios, lo cual es muy útil para la implementación de VoIP próxima a ofrecer, además que se vería reflejado en un mejor rendimiento del sistema y satisfacción del cliente.
- Al ofrecer el servicio de telefonía sobre la red de cable, el operador tiene que balancear la capacidad usada en los puertos upstream y downstream del CMTS, ya que su capacidad será compartida por aplicaciones de voz y datos. Por lo que para mantener consistente el servicio de telefonía, una buena estimación es poseer no más de 2000 usuarios por puerto downstream, y en cada puerto upstream no

más de 300 usuarios de datos y 150 de voz, con lo que se disminuiría los costos de mantenimiento a la vez que se mejora la satisfacción del cliente. Cabe mencionar que el operador tiene ventajas con respecto a los nuevos usuarios del servicio de telefonía, ya que posee usuarios tanto del servicio de televisión por cable como el de Internet, que pasan a ser potenciales usuarios del servicio de telefonía, siempre y cuando los suscriptores estén satisfechos con los primeros servicios prestados por el operador.

- El operador al implementar el servicio de telefonía usando el CODEC G.711 PCM con un período de paquetización de 10 mseg. empleará flujos aproximadamente de 115.200 y 97.600 bits/seg, para upstream y downstream respectivamente, los cuales podrían verse reducidos al usar el CODEC G.728 con el mismo período de paquetización, ya que se necesitaría una tasa de flujo aproximado de 66.400 bits/seg para transmisiones upstream y 48.800 bits/seg para transmisiones downstream.
- La eficiencia operativa es necesaria para maximizar la rentabilidad y generación de ingresos, la cual se logra alcanzando un óptimo rendimiento de los recursos mantenidos.

ASPECTOS ECONÓMICOS

- El mercado de acceso a Internet presenta una variedad de alternativas, por lo que es importante que el operador rápidamente solucione cualquier problema de congestión o rendimiento en su sistema, antes de que los problemas comiencen a ser significantes para los usuarios, y éstos se vean notablemente afectados, y consecuentemente, consideren una alternativa del servicio. Por lo que una buena opción es monitorear el tráfico generado en cada canal upstream y downstream para determinar que está siendo transportado y cuánta capacidad adicional es necesaria.
- Se estimó el costo marginal en las distintas partes de la red que asume el operador para proveer el servicio de Internet por cada usuario, el mismo que tiene dos componentes: un costo único por cada usuario que ingresa a la red de \$ 65,84 y un costo mensual de \$ 11,8. En el costo único por usuario interviene el equipo a ser usado en el head-end, mejoras en la red troncal, mejoras en la red de distribución, y mejoras en la acometida de abonado, siendo esta última la que representa un mayor porcentaje. En el costo mensual sólo interviene el costo de llevar tráfico hacia Internet.
- Los costos en lo que se refiere al personal encargado de realizar las mejoras en la red HFC, así como el mantenimiento de la misma, no son significantes para el

operador, ya que es el mismo personal que se encargaba cuando sólo se ofrecía el servicio de televisión por cable.

- El operador obtiene una rentabilidad anual estimada del 172 %. Cabe mencionar que no se ha tomado en cuenta los costos por comercialización del servicio.

ASPECTOS REGULATORIOS

- En Ecuador no se regulan las tecnologías de acceso, sino los servicios, lo cual facilita que las empresas de telecomunicaciones inviertan en la construcción de nuevas redes o modifiquen las existentes para ofrecer el servicio de Internet.
- De acuerdo a la regulación ecuatoriana el operador no puede ofrecer algún descuento basado en la venta de más de un servicio a un mismo suscriptor, ya que tiene que prestar tales servicios como negocios independientes llevando contabilidades separadas de los mismos. Por lo que para atraer usuarios para los servicios ofrecidos debe hacerlo proporcionando un precio competitivo, y dando una buena calidad del servicio.

7. ABREVIATURAS

ADSL	Línea de Suscripción Digital Asimétrica
ARP	Protocolo de resolución de direcciones
BE	Mejor esfuerzo
BER	Tasa de error de bit
BPI+	Interfaz de Privacidad de Línea Base Mejorada
BPKM	Baseline Privacy Key Management
bps	Bits por segundo
BSR	Broadband Service Router
CA	Call Agent
Cablelabs	Cable Television Laboratories
CBC	Modo de encadenamiento de bloques
CLI	Interfaz de línea de comandos
CM	Cable Modem
CMTS	Sistema de Terminación de Cable Modem
CNR	Relación de portadora a ruido
CONARTEL	Consejo Nacional de Radio y Televisión
CONATEL	Consejo Nacional de Telecomunicaciones
CPE	Customer Premise Equipment
CRC	Chequeo de redundancia cíclica
dB	Decibel

DES	Algoritmo estándar de encriptación de datos
DHCP	Protocolo de configuración de huésped dinámico
DOCSIS	Especificaciones de Interfaces para Servicios de Datos Sobre Cable
DSLAM	Multiplexor de acceso a la línea de suscripción digital
EHDR	Header extendido
ETSI	Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones
FDMA	Acceso Múltiple por División de Frecuencia
FEC	Corrección de errores en recepción
Gbps	Gigabit por segundo
GC	Gate controller
GUI	Interfaz de usuario gráfica
HCS	Header Check Sequence
HFC	Hybrid Fiber-Coaxial
ICMP	Protocolo de mensajes de control de Internet
IE	Elemento de información
IP	Protocolo de Internet
ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones
Kbps	Kilobits per second
Km.	Kilómetro
Ksym	Kilosímbolo
LLC	Control de enlace lógico
MAC	Control de Acceso al Medio

MG	Media Gateway
MGC	Media Gateway Controller
MPEG	Moving Pictures Expert Group
MTA	Adaptador terminal multimedia
NAT	Traducción de direcciones de red
NCS	Protocolo de señalización de llamadas de red
nrtPS	Servicio de chequeo en tiempo no real
NTSC	Comité Nacional de Estándares de Televisión
OSI	Sistema de Interconexión abierto
PCM	Modulación por codificación de pulsos
PDU	Unidad de Datos de Protocolo
PMD	Dependiente del medio físico
PSTN	Red Telefónica Pública Conmutada
QAM	Modulación de amplitud en cuadratura
QoS	Quality of Service
QPSK	Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura
RF	Radiofrecuencia
RKS	Record Keeping Server
ROI	Return of Inversion
rtPS	Servicio de chequeo en tiempo real
SAID	Identificador de asociación de seguridad
SCTE	Sociedad de Ingenieros de Telecomunicaciones del Cable

SENATEL	Secretaría Nacional de Telecomunicaciones
SG	Signaling Gateway
SID	Identificador de servicio
SNMP	Protocolo de administración de red simple
SNR	Relación de señal a ruido
TCP	Protocolo de control de transmisión
TDD	Time División Duplex
TDMA	Acceso Múltiple por División de Tiempo
TFTP	Protocolo de transferencia de archivos simple
ToD	Time of Day
UCD	Descriptor del canal upstream
UDP	Protocolo de datagrama de usuario
UGS	Servicio de Slots no solicitados
UGS/AD	Servicios de Slots no solicitados con detección de actividad
USB	Universal Serial Bus
μs	microsegundo
VoIP	Voz sobre Protocolo Internet

8. DEFINICIONES

Algoritmo estándar de encriptación de datos: Algoritmo de cifrado simétrico (usa la misma llave para encriptar y desencriptar) utilizado para encriptación de datos con un tamaño de llave de 56 bits. Encripta los mensajes en unidades de tamaño fijo llamados bloques.

Ancho de banda: Es la medición de la cantidad de información que puede fluir desde un lugar hacia otro en un período de tiempo determinado. Existen dos usos comunes del término ancho de banda: uno se refiere a las señales analógicas y el otro, a las señales digitales. En el primer caso literalmente significa el uso de espectro RF en la planta de cable, en el otro, “capacidad de transporte digital” o “tasa de bit”.

A-TDMA: Especificación de la subcapa dependiente del modo físico – TDMA - para DOCSIS 2.0.

Burst: Forma de transmisión upstream de longitud variable, los mismos que son espacios de tiempo múltiples de 6,25 μ s.

Cable Television Laboratories, Inc.: Es un consorcio para el desarrollo de la investigación de nuevas tecnologías de las telecomunicaciones del cable, para que

sean usadas por los operadores, ya sea para optimizar recursos o crear nuevos negocios.

Chequeo de redundancia cíclica: Usado para verificar la integridad de un mensaje, ya que por ejemplo, dado un frame de k bits, el transmisor genera una secuencia de n bits – CRC -, para que el frame resultante, consistiendo de $k+n$ bits, sea exactamente divisible para un generador polinomial. El receptor divide el frame entrante para el mismo generador polinomial, y si no hay residuo, asume que el mensaje es correcto.

Customer Premise Equipment: Usado para describir a la computadora y/o otro equipo, que el cliente (usuario) conecta al CM.

Decibel: Es una expresión logarítmica, que sirve como unidad de medición relativa para proporcionar una referencia entre los niveles de entrada y salida de una señal.

Descriptor del canal upstream: mensaje de administración MAC usado para comunicar las características de la capa física upstream a los CMs.

Frame: Es una unidad de datos intercambiada entre dos (o más) entidades a nivel de la capa de enlace de datos.

MAP: mensaje de administración MAC usado por el CMTS para asignar oportunidades de transmisión upstream a los CMs.

Modo de encadenamiento de bloques: Modo de operación que consiste en combinar cada bloque (unidad básica de información que puede ser encriptada o desencriptada, en algoritmos simétricos el tamaño usual de un bloque es de 64 bits) de mensaje plano con el bloque cifrado anterior utilizando suma complemento a dos (XOR). Este método requiere de un vector de inicialización distinto para cada mensaje.

Relación de portadora a ruido: Es la relación de poder de la portadora al poder del ruido. Esta medida es muy útil porque no es suficiente tener una señal fuerte, puesto que una señal débil en presencia de ruido débil puede ser tan útil como una señal fuerte en presencia de ruido fuerte.

Relación de señal a ruido: Es la calidad de la señal en el terminal del receptor.

RSA: Sistema de cifrado de llaves públicas que se usa tanto para cifrado de datos como para autenticación de llaves públicas.

S-CDMA: Especificación de la subcapa dependiente del modo físico para DOCSIS 2.0, la cual indica que múltiples CMs pueden transmitir simultáneamente en el mismo

canal RF y durante el mismo intervalo de tiempo TDMA, los cuales son separados por códigos ortogonales diferentes.

Servicios finales: Son aquellos servicios de telecomunicaciones que proporcionan la capacidad completa para la comunicación entre usuarios, incluidas las funciones del equipo terminal y que generalmente requieren elementos de conmutación.

Servicios portadores: Son los servicios de telecomunicación que proporcionan la capacidad necesaria para la transmisión de señales entre puntos de terminación de red definidos.

Servicio público: Son los servicios finales de telecomunicaciones respecto de los cuales el Estado garantiza su prestación y comprenden la telefonía fija: local, nacional e internacional.

Servicio de telecomunicaciones: Conjunto de funciones, ofrecidas por un proveedor que se soportan en redes de telecomunicaciones con el fin de satisfacer necesidades de telecomunicaciones de los usuarios.

Sistema de interconexión abierto: Programa de estandarización internacional creado por la ISO y la ITU-T para desarrollar estándares de redes de datos que faciliten la interoperabilidad de equipos de los distintos fabricantes.

X.509: Certificado digital, el cual es un documento firmado que garantiza el vínculo de un nombre y una llave pública, siendo garantizada la autenticidad de esta información por la firma digital de la autoridad de certificación emisora, para el caso de Cable Modem es Cablelabs.

9. BIBLIOGRAFIA

1. Guía para elaborar una Tesis de Grado, www.cib.espol.edu.ec
2. An overview of Cable Television in the United States, Walter S. Ciciora, Cable Television Laboratories
3. Integrated Digital Services for Cable Networks, David Gingold, Massachusetts Institute of Technology 1996
4. DOCSIS Cable Modem Technology, David Fellows y Doug Jones, marzo 2001, paper de la IEEE, www.ieee.org
5. Data-Over-Cable Service Interface Specifications, Radio Frequency Interface Specification, SP-RFIV1.1-I10, Julio 30/2003
6. Moving Beyond the Standard: Creating Additional Bandwidth Through Extending DOCSIS 2.0, Jack Moran, paper de MOTOROLA, www.motorola.com
7. Data-Over-Cable Service Interface Specifications, Baseline Privacy Plus Interface Specification, SP-BPI+-I10, Julio 30/2003

8. Data-Over-Cable Service Interface Specifications, Operations Support System Interface Specification, SP-OSSIV1.1-I07, Julio 30/2003
9. Digital and Analog Communication Systems, fourth edition, Leon W. Couch, ISBN 0-02-325281-2
10. Recomendación UIT-T J.83. Sistemas digitales multiprogramas para servicios de televisión, sonido y datos de distribución por cable, 04/97, www.itu.int
11. Data and Computer Communications, William Stallings, Quinta edición, ISBN=0-02-415425-3, Prentice Hall, 1997
12. Capacity Planning with Advanced Services, Curtiss Smith, paper de MOTOROLA, www.motorola.com
13. Broadband Telecommunications Architecture, Fred Slowik, paper de MOTOROLA, www.motorola.com
14. Ciso – Understanding Data Throughput in a DOCSIS World, paper de CISCO, www.cisco.com

15. Cisco – Troubleshooting Slow Performance in Cable Modem Networks, paper de CISCO, www.cisco.com
16. Multimedia Traffic Engineering For HFC Networks, John T. Chapman, paper de CISCO, www.cisco.com
17. Fundamentos de Voz sobre IP, Jonathan Davidson y James Peters, ISBN=1-57870-168-6, Cisco Press
18. PacketCable, Dynamic Quality-of-Service Specification, PKT-SP-DQOS-I10-040721
19. Using PacketCable QoS to Deliver Carrier-Class Telephony Services, November 11-2003, paper de MOTOROLA, www.motorola.com
20. Connecting Homes to the Internet: An Engineering Cost Model of Cable vs. ISDN, Sharon Eisner Gillett, Massachusetts Institute of Technology 1995
21. Ingeniería Económica, 5º Edición, Leland Blank y Anthony Tarquin, McGraw-Hill
22. Ley Reformatoria a la ley especial de Telecomunicaciones, 04 Agosto 1995

23. Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, 23 Agosto 2001
24. Reglamento para la Prestación de Servicios de Valor Agregado, Resolución 071-03-CONATEL-2002-02-20, Registro Oficial No. 545-1-ABRIL-2002
25. Reglamento para la prestación de Servicios Portadores, Resolución No. 388-14-CONATEL-2001, Registro Oficial No. 426-2001-10-04
26. Ley Reformatoria a la Ley de Radiodifusión y Televisión, Registro Oficial No. 691, 09-05-1995
27. Reglamento General a la Ley de Radiodifusión y Televisión, Registro Oficial No. S-864, 17-01-1996
28. Reglamento de los sistemas de televisión por cable y televisión codificada terrestre, RCONARTEL 1003-CONARTEL-99, Registro Oficial No. 325 / 24 de noviembre de 1999.