

12



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISTRIBUCION DE SERVICIOS DIGITALES VIA
RED DE TV POR CABLE EN MEXICO Y
UTILIZANDO CABLEMODEM

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

P R E S E N T A:

AIDA HUERTA BARRIENTOS

DIRECTOR DE TESIS:
DR. GIDEON LEVITA



MEXICO, D. F.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

*A ella, quien me dio la vida,
que me ha sabido guiar por un buen camino,
de quien he recibido un gran apoyo,
quien me ha alentado a seguir adelante siempre,
y a quien amaré toda la vida*

Mi mamá

A él, a quien respeto mucho,

quien con su ejemplo me ha conducido a obtener éxito en mi corta vida,

quien me ha enseñado que solamente con disciplina se pueden lograr las cosas que realmente valen la pena,

quien con su exigencia ha hecho posible este trabajo,

y a quien amaré toda la vida, a pesar de todo...

Mi papá

*A ellas, a quienes las aliento a seguir adelante,
quienes de una u otra forma me han apoyado,
y de quienes he aprendido muchas cosas valiosas*

Mis hermanas

*A él, quien representa una de las cosas más bellas en mi vida,
quien me ha enseñado que no todo en la vida son libros ni bibliotecas,
quien me ha enseñado a ver la vida de una forma diferente,
de quien he recibido respeto, comprensión y sobre todo amor,
y a quien amo*

David

*A ellos, a quienes estoy muy agradecida,
de quienes he recibido mucho apoyo moral e intelectual,
quienes con sus consejos me han sabido guiar,
y de quienes he aprendido muchas cosas.*

Dr. Víctor García Garduño y Dr. Miguel Moctezuma Flores

A ella, que me ha dado la mejor educación,

donde me he desarrollado humana e intelectualmente,

donde he aprendido la mejor Ingeniería,

y donde pasé los mejores años de mi vida.

La Universidad Nacional Autónoma de México

Contenido

1. Introducción	Página
1 1 Objetivo	3
1 2 Introducción	3
1 3 Subtemas	4
1.3.1 Tecnología de cable y sus aplicaciones en México	4
1.3.2 Arquitectura de una red <i>cablemódem</i>	4
1 3 3 Calidad de servicio	4
1.3.4 Análisis económico de la tecnología <i>cablemódem</i> en México	5
1 4 Alcance de la tesis	5
2. Tecnología de cable y sus aplicaciones en México	
2 1 El cable coaxial, medio de transmisión	6
2 2 Transmisión de televisión por cable en México	14
2 3 Transmisión en dos sentidos(upstream y downstream)	20
2 4 Utilización de la red de TV por cable para la distribución de servicios digitales en México	22
2 4 1 Topología	22
2 4 2 Capacidad	24
2 4 3 Acceso	24
2 5 Aplicaciones del cable coaxial y servicios	25
2 5 1 Aplicaciones	26
2 5 2 Servicios	32
2 6 Conclusiones	32
3. Arquitectura de una red cablemódem	
3 1 Control centralizado	33
3 2 Control distribuido	36
3 3 Arquitectura	38
3 3 1 IEEE 802 14	38
3 3 2 DOCSIS	39
3 3 3 DVB/DAVIC	42
3 4 Características de arquitectura para la capa física	43
3 4 1 Transmisión upstream	43
3 4 2 Transmisión downstream	45
3 4 3 Utilización del espectro	48
3 4 4 Multiplexación	49
3 4 5 Modulación	50
3 5 Características de arquitectura para la capa de Control de Acceso al Medio(MAC)	51
3 6 Seguridad y Privacidad	66
3 7 Análisis de capas superiores	75
3 8 Conclusiones	81

4. Calidad de servicio	Página
4.1 Definición de Calidad de Servicio	83
4.2 Calidad de Servicio en la red de cable	84
4.2.1 Calidad de Servicio en la red de acceso	85
4.2.2 Clasificación del flujo de tráfico en la red dorsal	87
4.3 Recuperación de una red de cable que distribuye servicios digitales cuando se presenta una falla en el suministro de energía eléctrica	89
4.4 Soluciones de Calidad de Servicio	92
4.4.1 Calidad de Servicio en los servicios Integrados para la Internet	92
4.4.2 Calidad de Servicio en los servicios ATM	96
4.5 Mecanismos que proporcionan garantías	99
4.6 Comparación de costos y desempeños entre las categorías de servicio ATM	100
4.7 Conclusiones	101
5. Análisis económico de cablemodem en México	
5.1 Los operadores de cable como operadores de acceso a Internet	103
5.2 Importancia e implicaciones económicas de la distribución de servicios digitales e integrados sobre la red de cable	104
5.3 Posición económica actual de los fabricantes de módems de cable a nivel mundial	111
5.4 Posición económica actual de los operadores de distribución de servicios digitales e integrados sobre la red de cable en México	112
5.5 Comparación de la tecnología <i>cablemodem</i> y otras tecnologías de acceso	115
5.6 Conclusiones	116
6. Conclusiones	
6.1 Tecnología	117
6.2 Arquitectura	118
6.3 Calidad de servicio	118
6.4 Análisis económico	119
6.5 Beneficios de los usuarios al utilizar la tecnología <i>cablemodem</i>	119
7. APÉNDICES	
7.1 APÉNDICE A	120
7.2 APÉNDICE B	125
7.3 APÉNDICE C	127
7.4 APÉNDICE D	138
8. Glosario	144
9. Bibliografía	149

CAPÍTULO 1

Introducción

1.1 Objetivo

El objetivo de este trabajo de tesis es analizar e investigar la tecnología *cablemódem*, así como la arquitectura de la red híbrida fibra / coaxial para la distribución de servicio digitales y la operación de este tipo de servicios en México. Adicionalmente, se analizarán los beneficios económicos de la tecnología *cablemódem* tanto para los operadores de servicios como para los usuarios que tengan arrendamiento de esos servicios.

1.2 Introducción

En 1990, el Estado inicia la desregulación del sector de telecomunicaciones, hecho que permitió el desarrollo de las mismas y logró además abrir el mercado nacional e internacional. Al mismo tiempo, el uso de las redes de datos como la Internet empezaron a proliferar, y con ello se inició el desarrollo acelerado de las telecomunicaciones.

Actualmente se ha creado una plataforma común que integra las telecomunicaciones, radiodifusión, electrónica y la tecnología de la información con la ayuda de la convergencia digital. Físicamente, esta convergencia puede ser tangible por medio de los servicios de banda ancha.

Los nuevos servicios de banda ancha, en un futuro inmediato, serán distribuidos sobre una red que ya exista, debido a que los operadores desean aprovechar su infraestructura. El asunto relevante de esta idea consiste en escoger, de entre las redes existentes, aquella red cuya función sea la de servir como una red dorsal.

Las redes existentes poseen tanto ventajas como desventajas. Considerando la infraestructura telefónica actual, se pueden mencionar algunas ventajas que ésta presenta: parte de la infraestructura es de fibra óptica sobre la cual se pueden transportar datos digitales en forma conmutada permitiendo marcar tantos números telefónicos como se necesiten y puede utilizarse para transmitir información en dos sentidos. Además, la legislación actual permite la interconexión de esta red con la Internet.

Otra red que posee grandes ventajas es la red de televisión por cable la cual debido a la utilización del cable coaxial en la última milla y fibra óptica en las comunicaciones entre las *Cabezas Terminales* brinda un excelente ancho de banda a los usuarios finales. Esta red ha sido diseñada bajo la arquitectura de red integrada, por lo que fácilmente puede ofrecer servicios de voz, datos y multimedia ya que ofrece velocidades de transmisión eficientes a un bajo costo. Una característica de esta red que puede vislumbrarse como una desventaja es que se trata de una red no conmutada y en algunos casos permite solamente la transmisión en un solo sentido. Actualmente los operadores de la red de cable están realizando grandes esfuerzos para poder distribuir información en dos sentidos sobre la red de cable.

Independientemente de la red que sea utilizada para distribuir servicios múltiples, se debe considerar que la forma en que las compañías distribuyan sus servicios en el futuro inmediato, cambiará considerablemente.

El proceso actual de convergencia, la apertura del sector de telecomunicaciones para la competencia y el rápido crecimiento de la Internet hacen necesaria la creación de nuevas estructuras en el mercado y nuevos roles para los inversionistas. Las compañías participantes en este sector deben transformarse de acuerdo a las nuevas tendencias y deben ser capaces de proporcionar *servicios integrados de telecomunicaciones*. La convergencia no es solamente en el campo de la tecnología. La convergencia trata, además, los servicios y las nuevas formas de llevar a cabo negocios e interactuar con la sociedad

La promesa de nuevos servicios de banda ancha tiene el potencial para que sustancialmente, se mejore la calidad de vida de la población, se integren regiones aisladas a la actividad económica y se lleven a cabo negocios más efectivos y competitivos sobre mercados globales y nacionales

1.3 Subtemas

1.3.1 Tecnología de cable y sus aplicaciones en México

En el capítulo 2 se presentará una visión general de la tecnología de cable coaxial y sus aplicaciones. El cable coaxial como medio de comunicación de propósito general se estudiará en términos de algunas de sus propiedades físicas y operativas en sistemas modernos de comunicación. Se analizará la operación de la red de televisión por cable en México, y finalmente se realizará un estudio acerca de los servicios y aplicaciones que pueden ser distribuidos sobre redes híbridas fibra / coaxial

1.3.2 Arquitectura de una red cablemódem

En el capítulo 3 se presentará una perspectiva general de los problemas y requerimientos técnicos involucrados en el diseño de una red de cable para la distribución de servicios digitales. Se analizará la arquitectura de cada una de las recomendaciones internacionales que especifican la distribución de servicios digitales sobre la red de cable, enfocando en la capa física y la capa de control de acceso al medio para posteriormente analizar las capas superiores que constituyen a cada una de estas recomendaciones internacionales. Finalmente, se investigarán los requerimientos de seguridad y privacidad que deban cumplirse para la distribución de servicios digitales e integrados sobre la red de cable

1.3.3 Calidad de servicio

En el capítulo 4 se analizará la Calidad de Servicio (QoS) de los servicios digitales que serán distribuidos sobre la red de cable. Se analizarán los factores que influyen en la recuperación de una red de cable, utilizada para la distribución de servicios digitales e integrados, después de una falla en el sistema eléctrico de la red. Finalmente, se estudiará la Calidad de Servicio (QoS) de los servicios distribuidos sobre algunas de las redes que actualmente son muy utilizadas: la Internet y redes ATM.

1.3.4 Análisis económico de la tecnología *cablemódem* en México

En el capítulo 5, se analizará la importancia económica de la distribución de servicios digitales e integrados sobre la red de cable. Se presentarán los resultados sobre un estudio realizado acerca de la posición económica en el mercado de los actuales proveedores de TV por cable en México. Este análisis servirá de preámbulo para conocer a los operadores que tienen posibilidades de ofrecer la distribución de servicios digitales e integrados sobre su red de cable. Así mismo, se evaluará el costo de la distribución de nuevos servicios sobre la red de cable para conocer si es factible para los usuarios y empresarios pagar y ofrecer, respectivamente, este tipo de servicios. Se mostrarán los resultados de un estudio realizado acerca de la competencia entre fabricantes de *módems de cable* y operadores de cable que ofrecen la distribución de servicios digitales e integrados sobre la red de cable en México. Finalmente, se analizará la tecnología de *cablemódem* con respecto a otras tecnologías emergentes que ofrecen velocidades de acceso muy semejantes a las obtenidas con la tecnología *cablemódem* y que de igual forma ofrecen la distribución de servicios digitales e integrados.

1.4 Alcance de la tesis

La tecnología *cablemódem*, objetivo de estudio de este trabajo, está cambiando rápidamente. Este cambio está íntimamente ligado a los nuevos productos desarrollados por los fabricantes de la tecnología *cablemódem*. Debido a lo anterior, puede surgir la pregunta "¿Cuál arquitectura de esta tecnología es la mejor?"

Coincido en mis ideas y puedo decir que la arquitectura que actualmente es considerada como la mejor no lo sea en el futuro. Es por ello, que en este trabajo se analizarán algunas opciones, que actualmente son consideradas como las mejores desde el punto de vista tecnológico, económico y funcional.

Considero que es muy importante analizar la Calidad de Servicio (QoS) con la cual son transportados los servicios sobre la red ya que de eso depende en parte la aceptación de los servicios por parte de los usuarios.

El análisis económico que se incluye en este trabajo se presenta con el objetivo de mostrar los beneficios de la distribución de servicios integrados primero sobre redes existentes y segundo utilizando la tecnología *cablemódem*.

Considero que además de las consideraciones que se harán en los siguientes renglones, se deben de tener en mente otras que por no mencionarse no son menos importantes, sino más bien están fuera del alcance de este trabajo. Podemos mencionar, por ejemplo, el costo por la introducción de una nueva tecnología, la demanda de servicios en un futuro cercano y las capacidades futuras de competencia en los medios de comunicación.

CAPÍTULO 2

Tecnología del cable y sus aplicaciones en México

Este capítulo presenta una visión general de la utilización de la infraestructura de la red de televisión por cable en México para la distribución de servicios digitales e integrados. En primer lugar se analizarán las características físicas del cable coaxial y su utilización como medio de transmisión de propósito general. Posteriormente, se dará un breve bosquejo a la transmisión de televisión por cable en México, examinando el Reglamento del Servicio de Televisión y Audio restringidos y la infraestructura de la red de transmisión. A continuación, se analizarán las características de las dos vías de transmisión que pueden existir en una red *upstream* y *downstream*. De acuerdo al resultado obtenido en los primeros apartados, se plantearán las posibilidades de que la red de televisión por cable en México pueda utilizarse para la distribución de servicios digitales e integrados, analizando las distintas topologías que puedan existir para que se logre dicha distribución, la capacidad de la red y la forma de acceso. Finalmente, se mencionaran las aplicaciones que pueden ser distribuidas sobre la red de cable y los servicios digitales que podrán ofrecer los operadores del servicio de cable a los usuarios.

2.1 El cable coaxial; medio de transmisión

El primer sistema de cable coaxial que se puso en servicio en 1940 fue un sistema con un ancho de banda de 3MHz capaz de transmitir 300 canales de voz o un canal de televisión.

Descripción física

El cable coaxial consiste de un par de conductores de cobre o aluminio. Uno de ellos forma un cilindro concéntrico y está rodeado por el segundo conductor constituido por una malla muy fina de hilos trenzados o una lámina metálica cilíndrica. La separación y aislamiento entre los dos conductores se realiza generalmente mediante un material dieléctrico de teflón o plástico. Todo el cable está cubierto por un aislamiento de protección para reducir las emisiones eléctricas. En la Figura 2.1 se muestra la estructura física del cable coaxial.

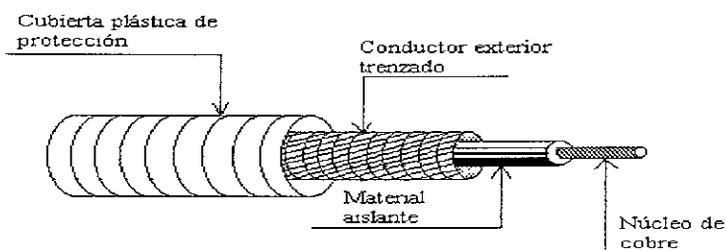


Figura 2.1 Estructura física del Cable coaxial

Los tipos de cable coaxial comúnmente empleados son los siguientes.

- Cable coaxial grueso. Sus características son las siguientes
 - Impedancia característica: 50 ohmios
 - Conector tipo "N"
 - Las especificaciones de las redes tipo *Ethernet* que lo utilizan se conocen con las siglas 10BASE5, lo cual implica una velocidad de operación de 10 Mbps, transmisión en banda base y una longitud máxima de 500 metros.

- Cable coaxial delgado. Sus características son las siguientes
 - Impedancia característica: 50 ohmios
 - Conector tipo "BNC"
 - Las especificaciones de redes *Ethernet* que emplean este cable se denominan mediante las siglas 10BASE2, es decir, operan a 10 Mbps, con transmisión en banda base y una longitud máxima de cable del orden de 200 metros

- Cable coaxial de banda ancha. Sus características son las siguientes
 - Impedancia característica: 75 ohmios
 - Se le conoce con las siglas 10BROAD36, es decir, opera a 10 Mbps con transmisión en banda ancha y con una longitud máxima extremo a extremo de 3600 metros. En lo que respecta a la longitud, hay que tener en cuenta que las estaciones se conectan a los dos extremos del cable (una para emisión y otro para recepción). Por lo tanto, la cobertura es de 1800 metros

Aplicaciones

El cable coaxial es, tal vez, el medio de transmisión más versátil, utilizado en una gran variedad de aplicaciones. Entre las más importantes se encuentran

- Distribución de televisión
- Transmisión telefónica a larga distancia
- Enlaces de sistemas de computadoras
- Redes de área local

El cable coaxial ha sido, tradicionalmente, parte importante de redes telefónicas de larga distancia. Actualmente está compitiendo con la fibra óptica, microondas terrestres y satélites. Utilizando la técnica de multiplexación por división de frecuencia (FDM, *Frequency-Division Multiplexing*)¹ un cable coaxial puede transportar 10,000 canales de voz simultáneamente. Cuando se utiliza señalización

digital para transportar información sobre el cable coaxial, puede transportarse información a altas velocidades entre sistemas de computadoras

Características de transmisión

Entre las características de transmisión del cable coaxial se encuentra la habilidad de este medio para transportar señales analógicas y digitales. Como se puede ver en la Figura 2.2, el cable coaxial posee características, en el rango de la frecuencia, que son superiores a las correspondientes del par trenzado, es por ello que puede ser utilizado eficazmente en altas frecuencias proporcionando a su vez tasas de transmisión grandes.

La principal limitación del rendimiento de un medio de transmisión la constituyen factores tales como la atenuación, ruido térmico y ruido por intermodulación. Este último está presente sólo cuando varios canales (FDM, Frequency-Division Multiplexing) o bandas de frecuencia están en uso sobre el canal de forma simultánea.

Potencia

Tanto la potencia pico como la potencia promedio se requieren para describir completamente las capacidades de una línea de transmisión. En la mayoría de las aplicaciones, la potencia pico limita las frecuencias bajas o pulsos de energía, mientras que la potencia promedio limita las aplicaciones de alta frecuencia. La Figura 2.3 muestra la potencia promedio de un grupo de líneas de transmisión semi-flexibles.

La potencia pico está limitada por el voltaje potencial de ruptura entre el conductor más interno y los conductores externos de la línea. El punto de ruptura es independiente de la frecuencia. Éste varía, sin embargo, con la línea de presión (para un cable que tiene aire como dieléctrico) y el tipo de gas.

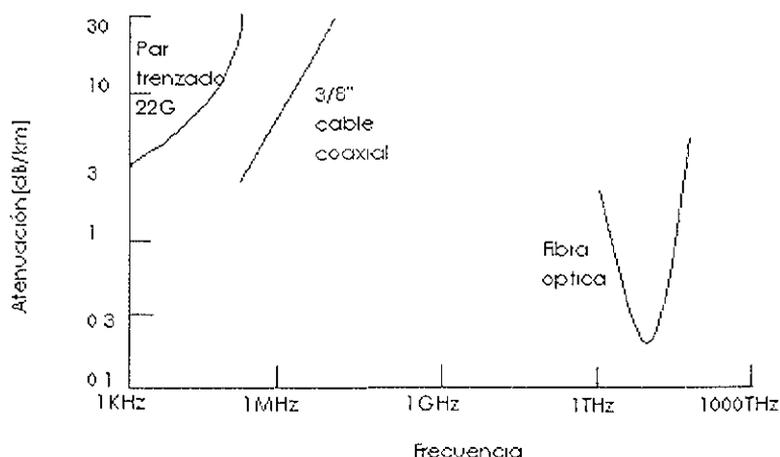


Figura 2.2 Características de atenuación de medios de transmisión

que se emplee en el proceso de presurización. La potencia pico para un sistema, debe satisfacer la siguiente ecuación:

$$P_{pk} > P_t (1 + M)^2 \text{ VSWR}$$

P_{pk} = potencia pico [kW] del cable

P_t = Potencia de salida del transmisor

M = Porcentaje de modulación de amplitud (expresado en decimales)

VSWR = Razón de voltaje de onda estacionaria

De esta ecuación, se puede observar que al tener un 100% de modulación en amplitud de una portadora se incrementan los requerimientos de potencia pico de la línea de transmisión por un factor de cuatro. Se puede notar también que conforme se incrementa el VSWR, la potencia pico también se incrementa. La potencia promedio de una línea de transmisión está limitada por la temperatura de operación del conductor más interno y del dieléctrico. La temperatura excesiva sobre el conductor más interno causará que el dieléctrico se ablande, causando inestabilidad mecánica dentro de la línea.

El principal propósito de la presurización de un cable con aire como dieléctrico es prevenir el ingreso de humedad. Si se acumula humedad dentro de la línea, se puede incrementar la atenuación y reducir el voltaje de ruptura entre el conductor más interno y los conductores externos. La presurización con gases de alta densidad puede ser usada para incrementar la potencia promedio y la potencia pico de la línea de transmisión. Los gases de alta densidad utilizados para esta aplicación incluyen el Freón 116 y el Sulfuro hexafluorido.

Atenuación

Las características de una línea de transmisión varían como una función de la frecuencia de operación y de la longitud de la línea. La atenuación de una línea de transmisión coaxial está determinada por,

$$\alpha = 10 * \log(P1/P2)$$

$P1$ = Potencia de entrada de una línea terminada con el valor nominal de su impedancia característica.

$P2$ = Potencia medida al final de la línea

La Figura 2.4 muestra las características de atenuación del cable coaxial.

Eficiencia

La eficiencia de una línea de transmisión indica la potencia de salida del transmisor que llega a la antena. La eficiencia está determinada por la longitud de la línea y la atenuación por unidad de longitud. La eficiencia se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\text{Eficiencia}(\%) = 100 (P_o/P_i)$$

P_i = Potencia entregada a la entrada de la línea de transmisión

P_o = Potencia entregada a la antena

La relación entre la eficiencia y las pérdidas [dB] en la línea, se presenta en la Figura 2.5

Capacidad

El ancho de banda no es una medida suficiente para determinar la utilidad de una tecnología de cable, ya que no se toman en cuenta los niveles de la relación señal a ruido para describir la cantidad de información transportada. Una medida más útil puede ser la capacidad, la cual expresa la cantidad de información que puede ser transportada sobre un canal, medida en bits por unidad de tiempo. En términos prácticos, la capacidad de un canal depende de la forma en que las señales son codificadas, la cual a su vez es limitada por las características del canal, particularmente del ancho de banda y del ruido. Pero conocemos, de *Shannon y Weaver*, una relación fundamental que limita la capacidad que se puede conseguir en cualquier canal ruidoso donde W es el ancho de banda en ciclos por unidad de tiempo y P/N es la relación de señal a ruido, la capacidad obtenida es.

$$C = W \log_2 (1 + P/N)$$

En la Figura 2.6 se representa el rendimiento del cable coaxial. La línea punteada muestra la dependencia de la distancia o longitud del enlace con respecto a la tasa de transmisión. Esta gráfica se obtuvo asumiendo que las pérdidas se incrementan por un factor de \sqrt{B} , donde B representa la tasa de transmisión. La distancia es mayor para cables coaxiales utilizados con tasa de transmisión pequeñas ($B < 5\text{Mbps}$).

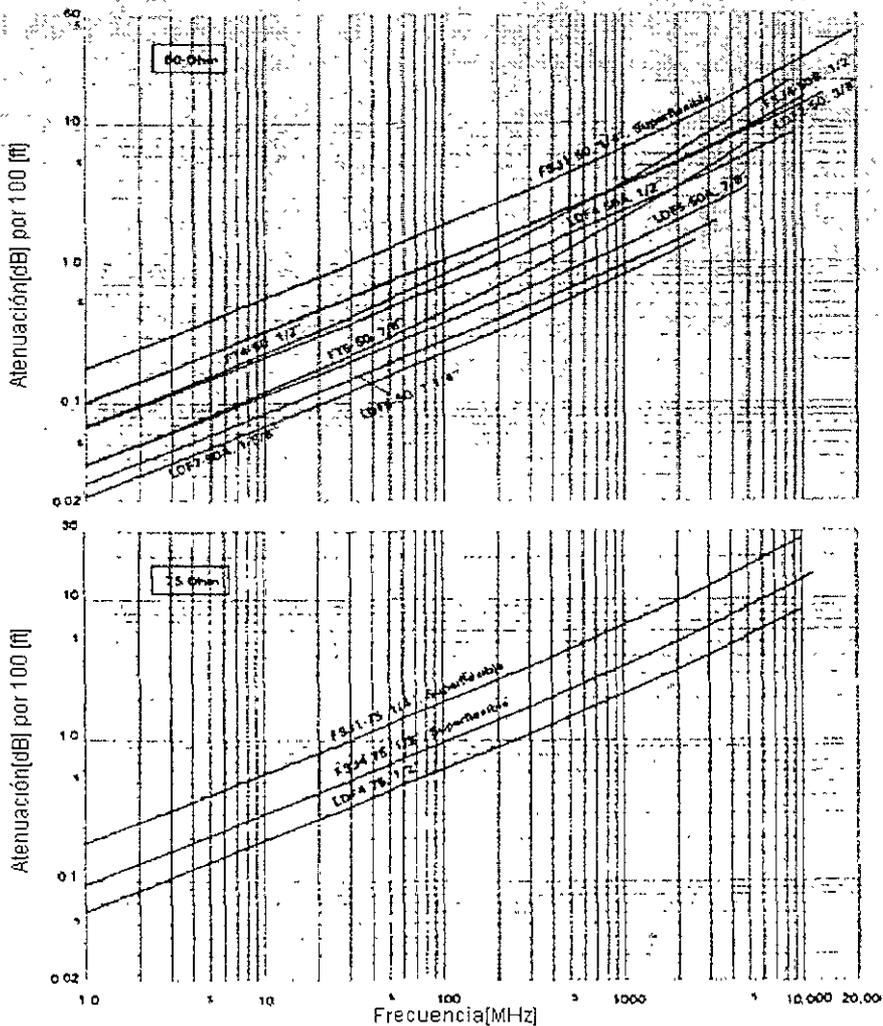


Figura 2.4 Características de atenuación del cable coaxial

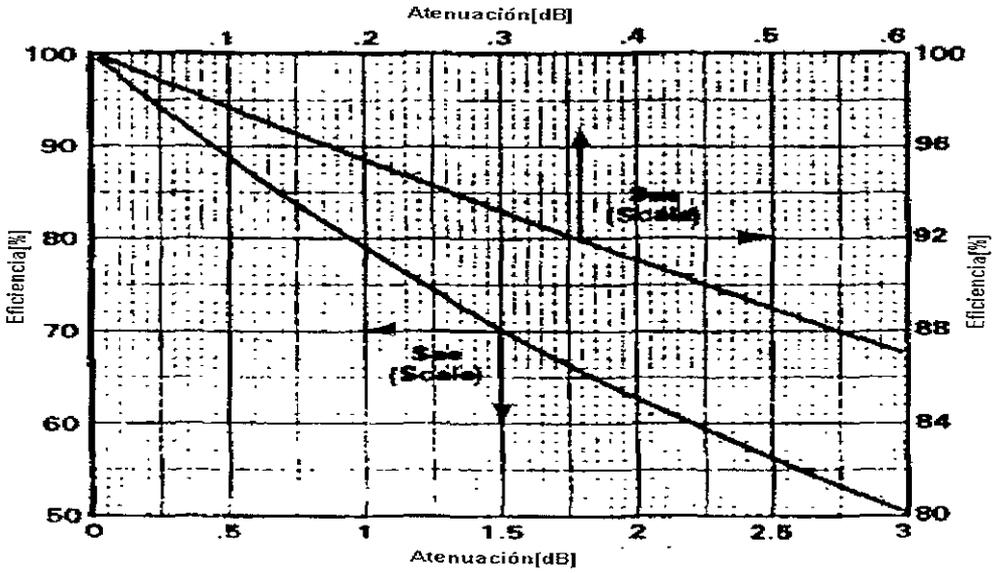


Figura 2.5 Carta de conversión que muestra la relación entre las pérdidas y la eficiencia de la línea de transmisión coaxial

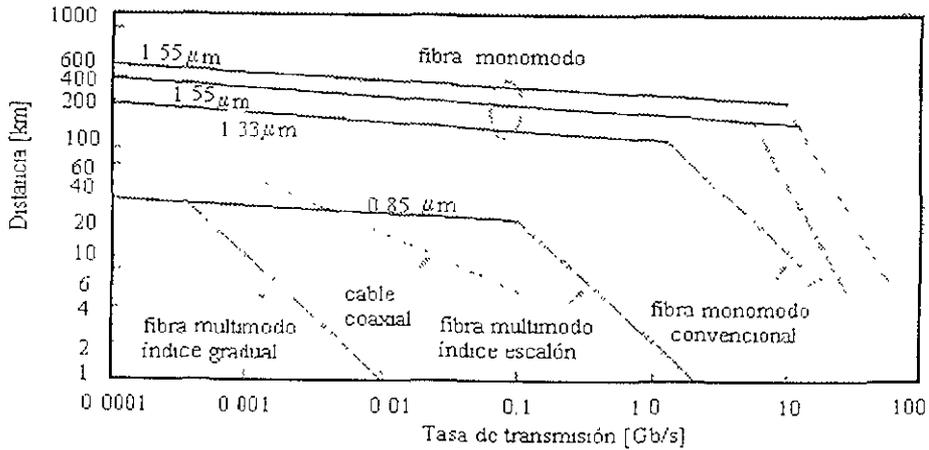


Figura 2.6 Rendimiento del cable coaxial

2.2 Transmisión de televisión por cable en México

La televisión por cable nace a partir de las limitaciones en alcance de la televisión abierta y de la necesidad de ofrecer más opciones con mejor calidad de imagen y sonido a los tele espectadores. En Sonora, México (1954), se instaló el primer sistema de Televisión por cable en México y el primero de América Latina, su principal función fue la de retransmitir las señales de televisión abierta constituyéndose así la punta de lanza para el desarrollo de muchos sistemas a nivel nacional.

Otro paso muy importante fue la creación de la red de microondas, por medio de la cual se logró llevar la señal a ciudades que nunca antes habían tenido esta facilidad.

En 1985 se puso en marcha el sistema de satélites Morelos I y II, con lo cual se facilitó la contratación de las grandes cadenas internacionales de televisión. Esto representaba un reto, ya que era muy difícil que cada sistema lograra negociar individualmente la contratación con las cadenas de televisión. En 1988 un grupo de concesionarios de televisión por cable, decidió formar una empresa independiente que les suministrara las mejores señales a un costo negociado de grupo y es así como se fundó la empresa *Productora y Comercializadora de Televisión por Cable S A de C.V* (PCTV), la cual desde sus inicios, en 1990, a la fecha, ha logrado la contratación de más de treinta señales internacionales y la producción de seis canales, lo que da a los Concesionarios de Televisión por Cable de la República Mexicana una gran oportunidad de negocio.

Hoy, el combinar la distribución de servicios digitales e integrados con la difusión del servicio de televisión, ha configurado el dúo perfecto para poder elegir entre diversos servicios de televisión de paga, que ofrezcan no sólo programas de televisión, sino también servicios adicionales.

Sin duda, una de las Industrias de Telecomunicaciones con un crecimiento exponencial es la *Cámara Nacional de la Industria de la Televisión por Cable* (CANITEC), que agrupa y representa a los cableeros del país junto con su operadora, la *Productora y Comercializadora de Televisión por Cable S A de C V* (PCTV), antes mencionada.

La *Cámara Nacional de la Industria de Televisión por Cable* (CANITEC), surgida en 1975, es el órgano de representación empresarial que agrupa al sector de televisión por cable. Su creación se debió a la libre voluntad de un grupo de empresarios.

La misión central de ésta Cámara consiste en pugnar por la unión y representación de los industriales del ramo para poder ofrecer al suscriptor las mejores opciones de entretenimiento, cultura, información, educación y servicios de valor agregado.

En México, en los últimos años se han otorgado 142 nuevas concesiones. La industria de televisión por cable cuenta con más de un millón de suscriptores y más de seis mil quinientos kilómetros de infraestructura.

Se puede afirmar que actualmente la red de televisión por cable opera como una red de telecomunicaciones. Si partimos de la base de que la *Secretaría de Comunicaciones y Transportes* (SCT) ha entrado en un proceso de modernización y que los sistemas de televisión por cable se han adaptado al cambio y continúan haciéndolo. Antes solamente se distribuían señales de televisión por cable, hoy el concepto es mucho más integral.

La importancia, a nivel estratégico, reside en que hay plazas donde las redes son muy incipientes, y la televisión por cable, en su esquema de red integrada, fácilmente puede ofrecer servicios de voz, datos y multimedia en ciudades, municipios y rancherías que en el pasado presentaron dificultades en la recepción de este tipo de señales.

A continuación se presenta un extracto del *Reglamento del Servicio de Televisión y Audio Restringidos* publicado en el *Diario Oficial de la Federación* el día 24 de septiembre de 1974.

Reglamento del Servicio de Televisión y Audio Restringidos

La presente Norma es de carácter técnico y de aplicación en la instalación y operación de los sistemas de Televisión por Cable y los servicios que proporcionan, en los Estados Unidos Mexicanos.

Consta de los siguientes capítulos

Capítulo 0	Introducción
Capítulo 1	Título
Capítulo 2	Objeto y campo de aplicación
Capítulo 3	Símbolos y abreviaturas
Capítulo 4	Terminología
Capítulo 5	Estructura del sistema
Capítulo 6	Disposiciones relacionadas con las señales de televisión
Capítulo 7	Requerimientos adicionales del sistema
Capítulo 8	Medidas de seguridad y protección
Capítulo 9	Mediciones rudimentarias y pruebas de comportamiento
Capítulo 10	Instrumentos de medición
Capítulo 11	Medidores de instrumentos indispensables para el funcionamiento de un sistema de televisión por cable
Capítulo 12	Bibliografía
Capítulo 13	Observaciones de las normas
Capítulo 14	Disposiciones transitorias

Estructura del sistema

Centro de Recepción y Control

El centro de Recepción y Control, fundamentalmente esta constituido por un conjunto de antenas adecuadas para la recepción de las diversas señales de radiofrecuencia y equipos activos para el procesamiento de dichas señales como son los preamplificadores, receptores vía satélite, decodificadores, moduladores y procesadores, equipo para la generación local, equipos codificadores y cualquier equipo para el procesamiento de señales

Subcentro de Recepción y Control

El Subcentro de Recepcion y Control, fundamentalmente puede estar constituido por un conjunto de antenas adecuadas para la recepción de las diversas señales de radiofrecuencia y equipos activos para el procesamiento de dichas señales como son los preamplificadores, receptores vía satélite, decodificadores, moduladores y procesadores, equipos codificadores y cualquier equipo para el procesamiento de señales, dependiendo parcial o totalmente del Centro de Recepción y Control

Línea troncal

La función básica de esta seccion consiste en la conducción de señales a niveles adecuados para evitar degradación debido a la atenuación y distorsión de la señal en la línea física utilizada

Línea de distribución

Esta seccion toma la señal del CRC o del amplificador puente y compensa las pérdidas causadas por la línea física, divisores de línea, acopladores y otros elementos pasivos que componen esta seccion

Línea de acometida

Línea física que conecta la línea de distribución con la terminal del suscriptor.

Veáse Figura 2 7

Disposiciones relacionadas con las señales de televisión

Nivel mínimo utilizable

El nivel mínimo utilizable de señal proveniente de radiaciones directas de estaciones de televisión que podrá ser utilizado para su distribución en los Sistemas de Televisión por cable, debe ser de -10 dbmV

Canales y frecuencias

- Las características de la señal de televisión no comprendida en esta Norma cumplirá con los requisitos derivados de las normas NTSC, sistema M, adoptado por México en el seno de la UIT
- Las portadoras que se encuentren dentro de las bandas de 108 a 118 y 328.6 a 335.4 MHz estarán desplazadas 25 KHz.
- Las portadoras que se encuentren dentro de la banda de 118 a 137, 225 a 328,6 y 335.4 a 400 MHz estarán desplazadas 12.5 KHz
- En la Tabla 2.1 se presenta una lista de las frecuencias portadoras de vídeo [MHz] de los canales utilizados

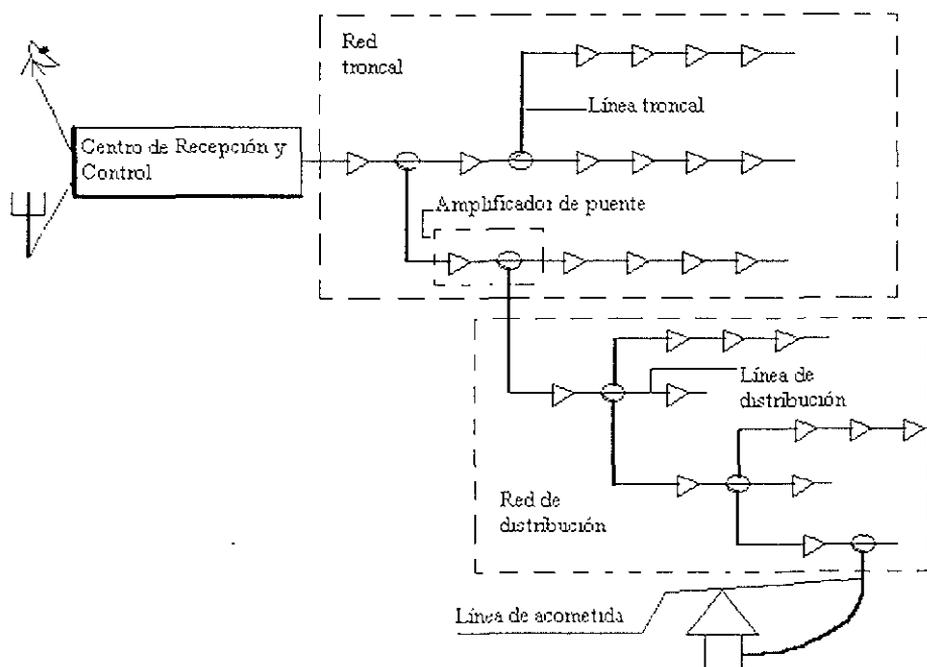


Figura 2 7 Estructura del Sistema

CANAL	ESTANDAR	PRI [MHz]	PARA [MHz]
T-7	7 00		
T-8	13.00		
T-9	19 00		
T-10	25.00		
T-11	31 00		
T-12	37.00		
T-13	43 00		
Banda Baja			
2	55.25	55 25	54 00
3	61.25	61 25	60.00
4	67.25	67 25	66 00
5	77.25	79 25	78 00
6	83.25	85 25	84.00
Bandaintermedia			
95 ó A-5	91.25	91 25	90.00
96 ó A-4	97 25	97 25	96.00
97 ó A-3	103 25	103.25	102.00
98 ó A-2	109 25	109 25	108.00
99 ó A-1	115 25	115 25	114.00
CANAL	ESTANDAR	PRI [MHz]	PARA [MHz]
Banda media			
14 ó A	121 25	121 25	120.00
15 ó B	127.25	127 25	126.00
16 ó C	133 25	133.25	132.00
17 ó D	139 25	139 25	138.00
18 ó E	145 25	145.25	144 00
19 ó F	151 25	151 25	150 00
20 ó G	157 25	157 25	156 00
21 ó H	163 25	163.25	162 00
22 ó I	169 25	169 25	168 00
Banda alta			
7	175 25	175 25	174 00
8	181 25	181 25	180.00
9	187 25	187 25	186 00
10	193 25	193 25	192 00
11	199 25	199.25	198 00
12	205 25	205 25	204 00
13	211 25	211.25	210 00
Superbanda			
23 ó J	217 25	217 25	216 00
24 ó K	223 25	223 25	222 00
25 ó L	229 25	229 25	228.00
26 ó M	235 25	235.25	234 00
27 ó N	241 25	241 25	240 00
28 ó O	247 25	247 25	246 00
29 ó P	253 25	253 25	252 00
30 ó Q	259 225	259 225	258 00
31 ó R	265 25	265 25	264 00
32 ó S	271 25	271 25	270 00
33 ó T	277 25	277 25	276 00

34 ó U	283 25	283 25	282 00
35 ó V	289 25	289 25	288 00
36 ó W	295 225	295.225	294 00
Hiperbanda			
37 ó AA	301 25	301 25	300.00
38 ó BB	307 25	307 25	306 00
39 ó CC	313.25	313.25	312 00
40 ó DD	319 25	319 25	318 00
41 ó EE	325.25	325 25	324 00
42 ó FF	331.25	331 25	330 00
43 ó GG	337 25	337.25	336 00
44 ó HH	343 25	343.25	342.00
45 ó II	349 25	349 25	348 00
46 ó JJ	355.25	355 25	354 00
47 ó KK	361.25	361.25	360.00
48 ó LL	367 25	367.25	366 00
49 ó MM	373 25	373 25	372 00
50 ó NN	379.25	379.25	378 00
51 ó OO	385 25	385.25	384.00
52 ó PP	391 25	391 25	390 00
53 ó QQ	397 25	397 25	396 00
54 ó RR	403 25	403.25	402.00
55 ó SS	409 25	409 25	408 00
56 ó TT	415 25	415.25	414 00
57 ó UU	421 25	421.25	420 00
58 ó VV	427 25	427 25	426 00
59 ó WW	433 25	433 25	432 00
60 ó XX	439 25	439 25	438 00
61 ó YY	445 25	445.25	444 00
62 ó ZZ	451 25	451 25	450 00

Tabla 2.1 Lista de las frecuencias portadoras de video

Frecuencia central de la portadora de audio

La frecuencia central de la portadora de audio estará a +4.5 MHz de la portadora de vídeo del propio canal con una tolerancia de ± 5 KHz

Variaciones de la portadora de video

El nivel de la portadora de video en cada canal no variará ± 8 dB en total, en un término de 24 horas y se mantendrá dentro de los siguientes valores

- 3 dB de variación máxima respecto a cualquier portadora de vídeo a 6 MHz
- 10 dB con respecto del nivel de la portadora de vídeo en cualquier otro canal, hasta un límite de operación de 300 MHz, con 1 dB de aumento para cada 100 MHz adicionales

Nivel de la portadora de audio

El nivel de la portadora de audio para condiciones de canal adyacente estará a no más de 17 dB abajo del nivel de la portadora de vídeo asociada y no menos de 10 dB abajo del nivel de portadora de vídeo adyacente superior

En operación no adyacente, la portadora de audio puede estar de 17 a 1 dB abajo del nivel de la portadora de vídeo asociada

Respuesta en frecuencia

La variación de la respuesta en frecuencia del canal será de ± 2 dB para todas las frecuencias comprendidas entre -0.5 a $+3.75$ MHz de la portadora de vídeo.

Relación portadora a ruido

La relación portadora a ruido en el sistema no será menor

- 1) de 40 dB, para canales cuya señal corresponda a estaciones de televisión radiodifundida
- 2) de 43 dB, para canales con cualquier otro tipo de señal

Niveles en la terminal del suscriptor

- a) Máximo de 0 dBmV
- b) Máximo tal que evite la degradación de la señal debida a sobrecarga en la terminal del suscriptor.

Retardo de croma

El retardo de la señal de croma al de luminancia, no será mayor a 170 nanosegundos

Ganancia diferencial

La ganancia diferencial para la subportadora de color de la señal de televisión, no excederá de $\pm 20\%$

Fase diferencial

La fase diferencial para la subportadora de color de la señal de televisión, no excederá de $\pm 10^\circ$

Requerimientos adicionales del sistema

Radiación

- a) La radiación de un sistema de televisión por cable, no será mayor de 15 V/m, medida a una distancia de 30 metros para frecuencias de 0 a 54 MHz y mayores a 216 MHz
- b) La radiación de un sistema de televisión por cable, no será mayor de 20 V/m, medida a una distancia de 3 metros en frecuencias comprendidas entre 54 y 216 MHz.

Aislamiento

El aislamiento en la terminal de cada suscriptor no será menor de 18 dB

Capacidad del sistema

La capacidad del sistema de televisión por cable podrá ser de hasta 450 MHz

Seguridad

Requisitos de seguridad para protección de la vida humana y del equipo

El personal que opera y mantiene los sistemas de Televisión por cable deberá desarrollar sus actividades de seguridad de tal forma que se de cumplimiento a los aspectos normativos relacionados con ruido ambiental, temperatura, iluminación, tensiones y corrientes eléctricas, descargas atmosféricas, protección contra incendios, etc.

Los equipos del CRC, así como los del subcentro, deben operar en condiciones ambientales adecuadas e incluir en sus circuitos, sistemas de control, protección y señalización que garanticen su correcto funcionamiento y a la vez otorgue seguridad a la vida humana

El sistema debe contar con mecanismos adecuados de interrupción automática, los cuales se activen en caso de existir una falla o sobrecarga que ponga en peligro cualquiera de las secciones del mismo

2.3 Transmisión en dos sentidos(upstream y downstream)

De acuerdo a la descripción del sistema de televisión por cable en México, podemos observar que se trata de una red que distribuye señales cuyo origen es el Centro de Recepción y Control y destino los suscriptores.

A pesar de que el propósito de diseño de la red no contemple la transmisión de señales que se originan en el lugar el suscriptor y tengan como punto final el Centro de Recepción y Control, es posible transmitir señales en los dos sentidos (Centro de recepción- usuario y usuario-Centro de recepción) De hecho muchos sistemas de cable son construidos con capacidad de transportar señales en dos sentidos o bien son diseñados para una implementación futura de esta capacidad.

El cable coaxial no es por sí mismo bidireccional y el hecho de que se envíen señales en un sentido no perjudican a las señales enviadas en el otro sentido. Realmente este hecho es verdadero para cualquier medio guiado, donde la direccionalidad inherente de la red se origina en los amplificadores del sistema, los cuales amplifican las señales en un solo sentido

Los sistemas de cable con capacidad de transmisión en dos sentidos utilizan amplificadores que trabajan en ambas direcciones. El truco está en que solamente una parte del espectro del cable es amplificada en cada dirección, por lo que las señales contenidas en un rango de frecuencias son llevadas en una dirección y las señales contenidas en otro rango son llevadas hacia la dirección contraria

La dirección que regresa señales hacia el Centro de Recepción y Control (Cabeza Terminal) es llamada *ruta upstream* ó algunas veces, *ruta de retorno*. La dirección que lleva señales desde el Centro de Recepción y Control (Cabeza Terminal) hacia el usuario es llamada *ruta downstream*

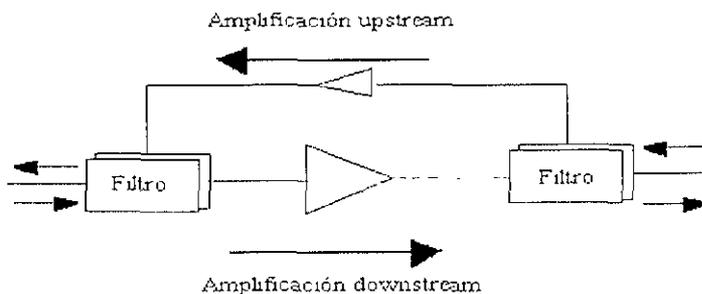


Figura 2.8 Transmisión bidireccional

Aunque en principio el cable coaxial o el esquema de amplificación permiten la transmisión en una o bien en otra dirección, la topología del sistema pone en desventaja la *ruta upstream*. Cuando la señal *downstream* pasa a través del divisor (*splitter*) es atenuada, pero el ruido presente en dicha señal también es atenuado, por lo que el divisor (*splitter*) no cambia la relación señal a ruido

En el sentido *upstream*, una salida del divisor (*splitter*) se convierte en su entrada, por lo que el divisor (*splitter*) solamente combina las señales entrantes y el ruido. Si una señal está presente sobre una sola entrada, pero el ruido está presente en dos señales, la combinación resultante adiciona ruido, originando una reducida relación señal a ruido cuando la señal está en la dirección *upstream*

En efecto, el Centro de Recepción y Control (Cabeza Terminal) recibe una señal *upstream* desde una sola fuente, pero el ruido lo recibe desde todas las fuentes conectadas al canal *upstream* (los amplificadores y los puntos terminales), mientras que un suscriptor recibe una señal *downstream* desde una fuente y el ruido se debe solamente a las fuentes que existen sobre la ruta que hay entre él mismo y el Centro de Recepción y Control (Cabeza Terminal).

Se dice que la ruta *upstream* es más inherente al ruido que la ruta *downstream*, pero numéricamente hablando, la cantidad de ruido depende del tamaño y la forma del sistema, las fuentes de ruido y la forma en que éste sea controlado.

En la práctica el ruido que existe en los canales *upstream* proviene comúnmente de fuentes externas de ruido (tales como el ruido generado de los transmisores de radio, motores eléctricos, computadoras) el cual se introduce al sistema a través de las imperfecciones de la red o del cableado de la casa del usuario. Este ruido es denominado *ingress*, y es difícil su caracterización debido a que depende de la naturaleza de fuentes particulares. Las diversas partes del espectro del cable pueden tener características diferentes de ruido en el sentido *upstream* debido a que las fuentes de ruido cambian con la frecuencia.

El ancho de banda disponible en la ruta *upstream* está relacionado con los amplificadores utilizados cuando se construye el sistema y, se puede habilitar un mayor ancho de banda en el sentido *upstream* a la vez que se disminuye el correspondiente a la ruta *downstream*. La asignación más común denominada sistema de división baja, asigna cuatro canales de 6MHz en las bajas frecuencias del espectro para transmisión *upstream*. Este ancho de banda es poco con relación al número de canales *downstream* (los cuales constituyen alrededor de 100 canales de 6MHz), pero finalmente, esto refleja el modelo del negocio bajo el cual fue diseñado el sistema.

2.4 Utilización de la red de TV por cable para la distribución de servicios digitales en México

2.4.1 Topología

Al utilizar la red de televisión por cable para propósitos generales, es decir, como una red a través de la cual se puede transportar cualquier tipo de información, se concluye que debe poseer una estructura de árbol, colocando al Centro de Recepción y Control (Cabeza Terminal) en la raíz de dicho árbol, a los suscriptores en las ramas finales del árbol y los dispositivos terminales tales como *módems de cable* y los *set-top boxes*, los cuales se encontrarán localizados en la casa del suscriptor, como los nodos finales en el árbol

La comunicación puede ser en cualquier dirección, *upstream* o *downstream*, o en ambas, las señales en dirección *downstream* son llevadas desde el Centro de Recepción y Control (Cabeza Terminal) hacia todos los nodos y las señales en dirección *upstream* son llevadas de un nodo al Centro de Recepción y Control (Cabeza Terminal), como ya se mencionó anteriormente

Debido a la direccionalidad de la red (impuesta por sus amplificadores), generalmente, no es posible que dos nodos en la red se comuniquen directamente con otro. La topología de la red distingue el Centro de Recepción y Control (Cabeza Terminal) dentro del cual se encuentran solamente los puntos de la red que reciben transmisiones *upstream* de todos los nodos, y es el punto desde el cual una transmisión *downstream* puede ser enviada a todos los nodos

A continuación se presentan cuatro topologías de sistemas de CATV. Estos diagramas son representaciones de alto nivel y no coinciden con el diseño eléctrico de los sistemas de televisión por cable

- **Red de televisión de cable coaxial**

A pesar de que está siendo remplazada por las redes híbridas fibra-coaxial, las redes de televisión de cable coaxial aún describen una larga base instalada. Véase Figura 2.9.

Cable troncal Coaxial

Cable alimentador Coaxial

Cable derivador coaxial

Máxima distancia entre la Cabeza Terminal y el nodo de usuarios finales 10 a 15 km

Máximo número de amplificadores en cascada 35

Máximo número de conexiones a cualquier troncal 125,000.

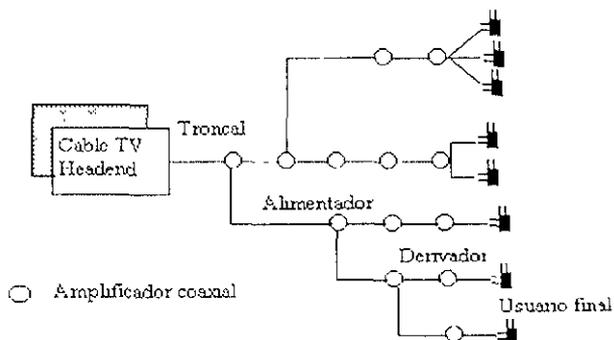


Figura 2.9 Red de cable coaxial de la televisión

- **Red de fibra para el servicio de un área geográfica**

Esta topología se escoge en muchas áreas para nuevas construcciones y remodelaciones y describe la forma en la cual la industria de TV por cable se está moviendo Véase Figura 2 10

Cable troncal: fibra óptica

Cable alimentador Coaxial

Cable derivador coaxial

Máxima distancia entre la Cabeza Terminal y el nodo de usuario final 80 km

Máximo número de amplificadores en cascada: 4 a 10

Máximo número de conexiones por nodo de fibra 500 a 3000.

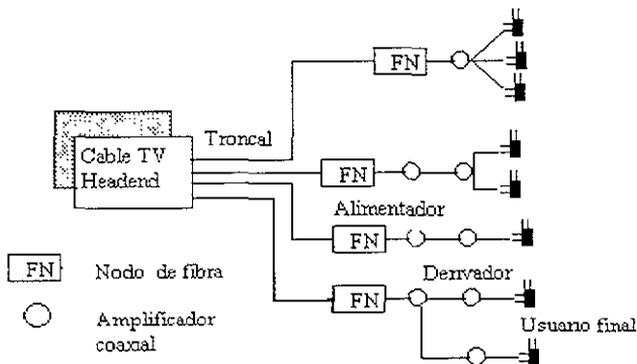


Figura 2.10 Red de fibra para el servicio de un área geográfica

- **Red coaxial pasiva con concentrador (hub) regional**

Diseñada por los Laboratorios de Televisión por Cable para acomodar una variedad de conceptos de redes y evitar la existencia de redes obsoletas mientras se proporciona una ruta de mejor calidad. La topología incluye un concentrador (hub) regional centralizado el cual ayuda a dividir el alto costo del equipo entre múltiples operadores de cable, así como concentradores de fibra secundarios. Las conexiones entre la Cabeza Terminal Central y los concentradores de fibra proporcionan capacidad de anillo y diversidad de ruteo. La distribución pasiva de coaxial a las casas mejora las características eléctricas de la red. Véase Figura 2 11

Supertroncal o anillo fibra

Cable troncal fibra

Cable alimentador coaxial

Cable derivador coaxial

Máxima distancia, concentrador de fibra al nodo de usuario final 80 km

Máximo número de amplificadores en cascada 0

Máximo número de conexiones por nodo de fibra 200 a 500

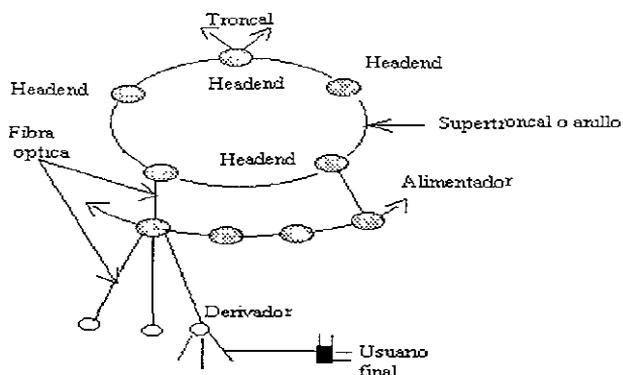


Figura 2.11 Red coaxial pasiva.

2.4.2 Capacidad

La red de televisión por cable fue construida para soportar un gran número de canales de televisión, usualmente más de cincuenta y en algunos casos más de cien. Para la transmisión *downstream*, esto significa que el cable coaxial, tiene un gran potencial de transporte de datos. El estándar de televisión por cable en México nos dice que los canales deben mantener una relación señal a ruido superior a 43 dB en cada canal de televisión de 6MHz. Se ha demostrado que los sistemas codificados tienen en la práctica 433 Mbps de capacidad para un canal de 6MHz. Para un ciento de canales en un sistema, la capacidad *downstream* se aproxima a 4Gbps.

La capacidad *upstream* es más difícil de caracterizar debido a la incertidumbre en las características de ruido de los canales. En investigaciones realizadas por Eldering, Himayat y Gardner se estimó y midió la relación señal a ruido en un sistema híbrido fibra-coaxial de 500 casas y se obtuvo una relación de 28 dB, cantidad que corresponde a una capacidad teórica de 56 Mbps en un canal de 6MHz.

2.4.3 Acceso

El cable como medio de transmisión compartido todos los usuarios que estén conectados a la red lo pueden utilizar simultáneamente. Esta característica lo hace diferente de, por ejemplo, una red telefónica local la cual dedica una línea de par trenzado entre la oficina central y cada suscriptor. Aunque es posible dividir los recursos disponibles en una red de cable entre los suscriptores, un esquema que dinámicamente asigne los recursos tanto como sean solicitados debe hacer un mejor uso de los recursos si los diferentes usuarios tienen diferentes necesidades que varíen con el tiempo. Cualquier sistema que permita a múltiples usuarios tener acceso a una red de cable requiere una solución para asignar los recursos de la red. Cualquier esquema de acceso puede introducir complejidad en los sistemas de comunicación vía cable, por lo que éste debe ser seleccionado de acuerdo al costo que involucre y a la eficiencia con la cual opere.

Al compartir el acceso entre múltiples usuarios se presenta el problema de la seguridad y la privacidad. Un usuario conectado a la red de cable puede recibir transmisiones cuyo destino sea otro usuario o, realizar transmisiones pretendiendo ser un usuario diferente. Por lo tanto, los sistemas de cable pueden necesitar el empleo de técnicas criptográficas para efectos de protección contra problemas de robo, espionaje, etc.

2.5 Aplicaciones del cable coaxial y servicios

El diseño de un sistema de cable requiere el conocimiento de las aplicaciones y servicios que la red *puede soportar*, sin el conocimiento de éstos no se tienen los elementos suficientes para juzgar el rendimiento del sistema. Manejemos dos casos acerca de la evolución de las aplicaciones. Si los factores externos a la red de cable - el progreso de la tecnología de computación, el cambio en el uso de las comunicaciones electrónicas- son responsables del manejo de la evolución de las aplicaciones de la red, entonces el diseñador del sistema de cable debe preocuparse porque la tecnología de cable pueda migrar para soportar nuevas aplicaciones. Si en cambio, la tecnología de la red de cable es la que maneja la evolución de las aplicaciones, la razón para del diseño de redes con una mayor flexibilidad es determinante.

En este trabajo se maneja el término *aplicación* para describir aquello de lo que actualmente hacen uso los usuarios en una red, mientras que el término *servicio* se utiliza para designar aquello que la red por sí misma desempeña. Dentro de la terminología de Internet, las aplicaciones y servicios tiene significados más específicos y en algunos casos diferentes: una *aplicación* puede ser un programa que *corre* sobre una computadora *host* y un *servicio* es una forma estándar mediante la cual un *host* puede iniciar la comunicación con otro.

A continuación se enunciarán algunos servicios con sus respectivas aplicaciones. Por ejemplo, la comunicación de voz y fax son ejemplos de aplicaciones que están soportadas por el servicio telefónico. Mientras que el servicio de Internet soporta las aplicaciones de correo electrónico, el *World Wide Web*, entre otros. En el caso del servicio telefónico, la red fue diseñada con una sola aplicación en mente, comunicación de voz, pero puede soportar otras aplicaciones que son capaces de adaptarse al servicio proporcionado. En el caso de Internet, la red fue diseñada para soportar un rango de aplicaciones. En ambos casos, el servicio limita las aplicaciones que pueden ser soportadas. el servicio telefónico no puede soportar aplicaciones que demanden mayor ancho de banda que el que proporciona el mismo servicio, mientras que el servicio de Internet no puede soportar aplicaciones que necesiten mejoramiento predecible de la red.

En el caso de la red de televisión por cable, la red fue diseñada con el propósito de proveer programas de televisión en aquellos lugares de difícil acceso, pero sin embargo, se ha investigado y llegado a la conclusión de que modernizando la planta de la red, es decir, migrando hacia una red híbrida fibra-coaxial, se puede proveer un gran número de aplicaciones que incluso no posible distribuir mediante el uso de la red telefónica.

Algunas aplicaciones de entretenimiento por cable caen en la categoría de aplicaciones *playback* las cuales tienen como objetivo entregar un flujo de datos, usualmente video y audio, a un dispositivo que es manejado por el usuario. Estas aplicaciones usualmente no son sensitivas a los retardos de transmisión fijos hasta pocos segundos (los usuarios no notan el retardo), pero la variación en el retardo, *jitter*, así como las pérdidas en la transmisión, pueden afectar la calidad de la transmisión. Una solución a este problema puede ser la construcción de sistemas que sean menos sensitivos al *jitter* al tener un buffer en la entrada receptora de tal forma que no haya variación de retardo o bien que el retardo sea fijo.

Algunas veces se utilizan esquemas de compresión para audio y video que pueden reducir notoriamente el número de datos requeridos en la transmisión. El estándar MPEG es utilizado para estos propósitos. Cuando se dice MPEG, es muy necesario definir exactamente el método utilizado, ya que MPEG está siendo utilizado de diferentes formas para diferentes aplicaciones, todas ellas dentro del dominio difusión. Actualmente MPEG es utilizado en diferentes maneras para captura y grabación de imágenes edición no lineal, distribución y almacenamiento. Los formatos para editar y procesar utilizan factores muy pequeños de compresión con el propósito de ofrecer alta calidad y mayor flexibilidad. La versión MPEG-2 fue diseñada como un estándar general para hacer frente a diversos

requerimientos planteados de una larga lista de aplicaciones diferentes calidades,² la complejidad de codificadores/decodificadores así como los diferentes retardos en el procesamiento²

Los esquemas de corrección de errores juegan un papel muy importante en los sistemas de comunicaciones ya que ayudan a que las pérdidas por transmisión sean menores, además al hacer uso de ellos se puede reducir el costo de incrementar el esquema de retardo fijos y en algunas ocasiones incrementa la tasa de transmisión

A continuación se enuncian las características técnicas de las aplicaciones que pueden ser soportadas en una red de cable a nivel internacional y, se enuncian algunas de las demandas que estas aplicaciones hacen de la red, aunque dichas demandas dependen de la forma en que las aplicaciones sean implementadas.

2.5.1 Aplicaciones

Acceso a la Internet

El acceso a la Internet es la aplicación más conocida y extensamente utilizada de la red de cable. La popularidad de Internet ha manejado completamente la industria del cable dentro del negocio de servicio de datos. El ancho de banda disponible de las redes de cable de banda ancha permite a los usuarios *bajar páginas web más rápido y soportar aplicaciones multimedia mediante el manejo de tecnología IP*, la cual requiere extensos recursos de ancho de banda para soportar aplicaciones de audio y vídeo

Telefonía

El servicio de telefonía no requiere una gran cantidad de ancho de banda de la red de cable, pero sí puede imponer algunos requerimientos en otros aspectos tales como el desempeño de la red. Una conversación telefónica puede ser transmitida digitalmente sobre dos canales de 64 kbps (uno en cada dirección) sin compresión de datos. Pero el servicio telefónico es sensitivo a retardos fijos por dos razones. La primera es que se trata de un servicio interactivo, en el cual los usuarios pueden notar retardos muy largos (cientos de milisegundos). La segunda razón es que la acumulación de varios retardos fijos, del orden de 5 a 10 milisegundos, puede resultar en ecos audibles de voz. Las técnicas de cancelación de eco pueden corregir este problema, y típicamente éstas son utilizadas en llamadas de larga distancia en las cuales los retardos de transmisión son inevitables. Un inconveniente del esquema de cancelación de eco es que involucra un costo extra al equipo. Algunos retardos que pueden requerir la cancelación de eco se originan por el *retardo en la paquetización*, tiempo empleado en llenar un paquete de datos antes de que el paquete sea transmitido sobre la red, estos retardos pueden ser evitados utilizando paquetes suficientemente pequeños.

Telefonía IP

La telefonía IP permite a los operadores ofrecer el servicio de telefonía local o de larga distancia utilizando el protocolo Internet para distribuir la voz a través del uso de un gateway localizado en el Centro de Distribución y Control (Cabeza Terminal). Las redes telefónicas pueden ser privadas con servicios limitados a una red LAN o bien pueden permitir el acceso a través de Internet desde o hacia un sistema *telco*.

Actualmente las redes telefónicas que operan sobre IP proporcionan un nivel aceptable de calidad

² En el capítulo 3 se hace mayor referencia al estándar MPEG

Operadores internacionales que ofrecen el servicio

France Telecom

GTE Corp

Vendedores de redes telefónicas IP

Array Telecom

Deita Three

Multi-User Dimensions [MUD]

Un MUD es un ambiente operativo de estructura social que opera sobre IP y es administrado por un programa de computadora. Su estructura es parecida a la de un castillo con múltiples habitaciones. Cuando un usuario entra a un MUD, él o ella es representado dentro de un programa como un carácter animado visible a todos los usuarios. Dependiendo de las capacidades y la naturaleza del MUD, los usuarios pueden comunicarse en tiempo real vía chat o voz, y dedicarse a actividades dentro del ambiente tales como jugar video juegos. La mayoría de los MUDs son diseñados para entretenimiento, aunque algunos son utilizados para propósitos de información tales como educación a distancia.

Primeros desarrolladores de MUDs:

Intermetrics

MPath Interactive

Sony

Video Conferencia

La video conferencia que se ejecuta sobre IP permite a un grupo de usuarios comunicarse en tiempo real a través del uso de video y audio. Algunas conferencias involucran una sola imagen proveniente de la principal fuente y múltiples sonidos de audio provenientes de diversos sitios, mientras que otras pueden soportar a cuatro usuarios en un solo monitor. Algunos programas de video conferencia permiten a los usuarios dibujar o escribir interactivamente sobre una parte del monitor de la PC.

Las aplicaciones de video conferencia modernas utilizan compresión de datos para permitir la conexión de video en dos sentidos al trabajar sobre canales con ancho de banda limitados. La calidad de la conexión de video se nota en términos de la resolución de la imagen y la tasa de transmisión. Los sistemas de cable pueden soportar conexiones de video de alta calidad proporcionando tasas de transmisión del orden de 100 kbps a 1Mbps.

Principales vendedores de software para video conferencia y servidores.

Concentric Networks

Digiphone International

Microsoft

Netscape

Vocal Tec

Facsímil sobre IP

Así como IP puede soportar el servicio de telefonía, también puede manejar las transmisiones de facsímil. Las redes que soportan el fax pueden ser privadas o proporcionar acceso sobre Internet.

Principales proveedores de equipo para redes de facsímil:
DSP Software Engineering
Delta Three
ViaDSP

Webcasting

Webcasting, algunas veces referenciada como una tecnología PUSH, es la entrega automatizada de información originada en un servidor y dirigida a un cliente, empleando IP. Generalmente, los servicios de *webcasting* ofrecen a los usuarios un extenso rango de información y noticias. Los usuarios son habilitados para filtrar información específica que quieran descargar en su PC. Por ejemplo, si un servicio obtuvo las últimas noticias considerando servicios de datos de alta velocidad, el usuario puede elegir la opción de aceptar todos los artículos considerando servicios de datos de alta velocidad o específicamente los artículos que estén directamente relacionados con *módems de cable*. La aplicación eliminaría la necesidad del usuario de encontrar el artículo sobre la Internet y descargarlo manualmente.

Principales proveedores de *webcasting*:

BackWeb
Castanet
Headliner
Intermind
Microsoft
Netscape
Pointcast

Multicasting

Multicasting es la transmisión automática de archivos o flujos de vídeo y audio a múltiples usuarios preseleccionados. Aunque *multicasting* es similar a *webcasting*, opera como una sofisticada lista de correo más que como un servicio de noticias. La información es cargada por el proveedor de servicio al servidor, y los usuarios automáticamente descargan esta información ó una porción preseleccionada de la información. Esta aplicación promete llegar a ser muy popular dentro de redes privadas.

Los estándares para distribuir *multicast* sobre IP están siendo desarrollados incluyendo IP *multicasting* y *Mbone*.

Principales proveedores de la tecnología *multicasting*:

Cisco Systems
Nortel
3Com Corp
Netscape
Microsoft
Stardust Technologies
Newbridge
Cabletron
Platinum

Redes privadas virtuales

Desde que una red de cable actúa como una red de banda ancha, los operadores han desarrollado redes privadas virtuales (VPN) o pseudo redes de área local (LAN). Las redes pueden ser construidas como ambientes cerrados o permitir a los usuarios acceso a la Internet (Intranet).

En muchos casos, las aplicaciones de VPN generan mayores ingresos que el acceso a Internet. Por lo que los operadores de cable compiten con compañías de redes quienes demandan altos precios para márgenes mejores. Si un operador de cable pasa a 20,000 casas y consigue que el 2% de estas casas se suscriban al servicio de acceso a Internet de alta velocidad con un monto de \$40 por mes, los ingresos mensuales generados son de \$16,000. Si los operadores tienen 20 clientes VPN con un promedio mensual de \$1,000 por cada uno de ellos, entonces los ingresos mensuales totales son de \$20,000.

Telecommuting

Telecommuting es una extensión de la red privada virtual, permitiendo a la red extenderse fuera de las premisas de oficina. Este servicio puede ser parte de una VPN o simplemente una conexión de gran ancho de banda a la oficina o a la Internet permitiendo a los trabajadores a que realicen su trabajo desde sus casas.

LANs Municipales

Las redes LANs Municipales son VPN que conectan agencias gubernamentales y oficinas públicas tales como la policía, los bomberos, servicios de emergencia entre otros. Las aplicaciones proporcionadas operan con influencia en ambientes controlados políticamente.

LANs en la educación / Educación a distancia

Las redes LANs en educación conectan escuelas locales, universidades y bibliotecas. Dentro de esta aplicación, la red puede ser utilizada para enseñar a los estudiantes que no estén presentes físicamente. Los profesores pueden utilizar herramientas tales como la videoconferencia o el *multicasting* para simular un salón de clases sobre la PC. Con la ayuda de esta aplicación, se permite a los empleados trabajar desde su casa y a los estudiantes aprender desde su casa.

Principales vendedores del software desarrollado específicamente para educación a distancia
Intermetrics
Ichat

Administración de energía

A través del monitoreo a distancia, la infraestructura de cable puede soportar la administración de energía de utilidades locales (electricidad, agua y gas). El mantenimiento, la lectura de mediciones y el uso del monitoreo pueden ser realizados desde una localidad remota.

Principales vendedores del software desarrollado para aplicaciones de administración de energía
CTI
Electrotek Concepts
Water Link Systems

Seguridad y monitoreo de casas

Las redes de cable pueden ser utilizadas para monitorear casas contra emergencias de fuego, médicas, asaltos, etc. El ancho de banda disponible de la red de cable combinado con las características siempre disponibles del sistema habilitan la información de emergencia que rápidamente es transmitida.

Principal vendedor del software y equipo para monitoreo de casas
Signal Communications

Karaoke

Desde que la red de cable tuvo un ancho de banda disponible para soportar el flujo de audio y vídeo, este puede soportar *karaoke* como una aplicación. Los usuarios pueden descargar vídeo clips y cantar a través del micrófono de la PC.

Operadores de cable que ofrecen *karaoke*
Jupiter Telecom & Sumitomo, en Urawaka, Japón

Broadcast vídeo

Aunque el sistema de cable puede distribuir vídeo, al utilizar un sistema de cable digital se puede distribuir vídeo con ventajas adicionales. Una señal digital de vídeo comprimido puede ser transmitida utilizando alrededor de 2 o 3 Mbps de la capacidad de la red, y con una codificación eficiente en la ruta *downstream* permite a los operadores distribuir diez veces más canales que los que actualmente se distribuyen o bien se puede liberar ancho de banda para otras aplicaciones. La transmisión de radiodifusión digital provee a los operadores de cable de otras flexibilidades tales como la habilidad de controlar el acceso a programas de pago por evento y la oportunidad de suministrar dinámicamente la radiodifusión programando a la red como una red en demanda.

Vídeo en demanda

Como un sustituto de la renta de videocassette, el vídeo en demanda puede ser un servicio rentable para los operadores de cable. Esta aplicación requiere de equipo de vídeo especial en el servidor localizada en la Cabeza Terminal, pero los requerimientos técnicos para la transmisión actual sobre la red son esencialmente los mismos de la radiodifusión de vídeo, excepto que una pequeña cantidad de la capacidad de la ruta *upstream* es solicitada para tener interactividad en la solicitud del servicio. Sin embargo, el sistema de vídeo en demanda puede proporcionar la habilidad de imitar interactivamente los funciones de una video casetera, lo cual se complica si existen retardos fijos en la transmisión.

Televisión avanzada

Los estándares propuestos para la televisión de alta definición (HDTV) proporcionan una mejor calidad de vídeo que las aplicaciones de televisión convencionales, pero requieren mayor capacidad en la red de transmisión. Una imagen sin comprimir de televisión de alta definición de 1240 * 720 pixeles requiere tres veces la tasa de transmisión de un flujo de vídeo convencional sin comprimir.

telemedicina

Físicos, especialistas, pacientes, hospitales, clínicas y unidades móviles pueden tomar ventaja de la habilidad de la red de banda ancha para soportar transferencias rápidas de archivos enormes que pueden auxiliar a la comunidad médica proporcionando diagnósticos, tratamiento, consultas y educación

Principales vendedores de software utilizado en aplicaciones de telemedicina

International Telemedicine Center

Applicare Medical Imaging B.V.

CyberOptions

NEBRAD

A continuación se presenta la Tabla 2.2 en donde se resumen las demandas técnicas de las distintas aplicaciones que pueden ser transportadas vía la red de cable. Teniendo en cuenta que la naturaleza precisa de estas demandas depende de la forma en que las aplicaciones son implementadas y usadas, estos requerimientos no pueden tomarse como fijos para estas aplicaciones. Las tasas de transmisión que requieren estas aplicaciones, como se verá adelante, varían en considerables ordenes de magnitud. Algunas aplicaciones pueden traducir el alto desempeño de la red en mejor calidad, pero otras tienen necesidades limitadas

Aplicación	Tráfico en la red	Otros requerimientos
Broadcast video	2Mbps (comprimido) en ruta <i>downstream</i> con tasa variable.	Los proveedores necesitan tener mecanismos de seguridad para aplicaciones de pago por evento
Video en demanda	3Mbps (comprimido) en la ruta <i>downstream</i> con tasa variable 1 kbps en la ruta <i>upstream</i>	Los proveedores necesitan tener mecanismos de seguridad para aplicaciones de pago por evento
Televisión avanzada	10 Mbps (comprimido) en la ruta <i>downstream</i>	Similares a las aplicaciones de televisión
Audio digital	1Mbps en la ruta <i>downstream</i>	Demandas de <i>playback</i> similares a la distribución de video
Telefonía	100 kbps (sin comprimir) en ambas rutas con tasa fija	El retardo de paquetización puede ser un problema. Los usuarios demandan privacidad
Video conferencia	100 kbps (sin comprimir) en ambas rutas, altas tasas variables de datos	La privacidad es muy importante para el usuario
Redes de computadoras	100 kbps a 100 Mbps o mayor tráfico en ambas rutas	Las características de tráfico y las futuras necesidades dependen de las aplicaciones que se usarán
Juegos electrónicos	Depende de la aplicación.	Los juegos interactivos demandan baja latencia en ambas rutas.
Telemetría	1 kbps	La seguridad es muy importante para prevenir algún uso fraudulento

Tabla 2.2 Demandas técnicas de aplicaciones soportadas por la red de cable

2.5.2 Servicios

Los servicios que se ofrecen a través de la red por cable son el servicio de telefonía con todas las aplicaciones que puede ofrecer, entre las principales se encuentran la aplicación de voz y fax. Otro servicio que se ofrece es el servicio de Internet, con todas las aplicaciones que se conocen, tales como el correo electrónico, World Wide Web, *chat*, entre otras.

2.6 Conclusiones

En este capítulo, se logró conocer las características físicas y las características técnicas de operación del cable coaxial, y como consecuencia, conocer la capacidad de transmisión de este medio y el rango de frecuencias dentro del cual opera satisfactoriamente. Con base en esto, se ha llegado a la conclusión de que sobre el cable coaxial se pueden distribuir diversos servicios y aplicaciones digitales.

En el caso de México, del estudio de la reglamentación en materia de distribución del servicio de televisión por cable, se puede concluir que es posible distribuir servicios digitales de forma integrada sobre la red de cable, solamente que los operadores que deseen ofrecer este tipo de servicios a los usuarios deberán tener en cuenta que para que lo anterior sea posible se debe migrar hacia la tecnología que permite que esto sea posible. La migración debe darse en varios sentidos, en este capítulo se ha mencionado que en primer lugar se debe actualizar y acondicionar la planta de cable para que servicios digitales puedan ser distribuidos sobre ella. Se ha hablado de que el diseño de la red de cable en México permite la utilización del ancho de banda hasta los 450 MHz, el cual es utilizado en su totalidad para la distribución de canales de televisión, por lo tanto, para poder distribuir servicios digitales se debe acondicionar la planta para poder asignar cierta parte del espectro electromagnético a la propagación de señales que transporten servicios digitales. La solución que se ha encontrado a este problema ha sido ampliar el espectro de propagación de señales del cable coaxial. Es decir, la transmisión de servicios digitales sería alojada en bandas de frecuencias superiores a las 450 MHz, dependiendo de la naturaleza de la información. Para que esto sea posible se deben aprovechar las características de propagación del cable coaxial y las de la infraestructura de la red de cable en general. De acuerdo a las topologías expuestas, se puede concluir que para la distribución de servicios digitales sobre la red de cable se debe escoger la que más se adecue a las demandas de los operadores de cable. Para el caso de México, algunos operadores de cable necesitarán cambiar la infraestructura de su red y en la nueva red, deberán incluir fibra óptica debido a las características de propagación de este medio de transmisión.

En cuanto a las aplicaciones, cabe mencionar que el tiempo de vida de ellas depende de las necesidades del usuario, es decir, en este momento el usuario está disfrutando de las aplicaciones de alta velocidad de transmisión tales como *webcasting*, *multicasting*, administración de energía, entre otras, porque forman parte de su vida cotidiana o bien le facilitan sus acciones, pero sin embargo, si surgiera el día de mañana otras aplicaciones que superaran en funcionalidad, precio y facilidad de acceso a alguna de las que actualmente están en uso, éstas últimas caducarían y entraría en acción las más recientes. Es por ello que una de los aspectos que deben de cuidar a nivel comercial los operadores y/o distribuidores de servicios, es el precio de una aplicación actual con respecto a una aplicación que está por salir al mercado cuyas características sean similares o superiores a la actual.

CAPÍTULO 3

Arquitectura de una red cablemódem

En este capítulo se presenta una perspectiva general de cuestiones técnicas y de requerimientos involucrados en el diseño de una red de cable para la distribución de servicios digitales. Nuestro objetivo en este capítulo es exponer los componentes técnicos de un sistema de cable y la relevancia de éstos para los operadores de los sistemas de cable y para los usuarios

En nuestro trabajo se incluye un análisis acerca de la arquitectura de los sistemas estandarizados: DOCSIS, DVB/DAVIC, EuroDOCSIS y el proyecto del grupo de trabajo IEEE 802.14, enfocando nuestra atención en las capas física y de control de acceso al medio. Se incluye además, una investigación acerca de los requerimientos de seguridad y privacidad en la red de cable utilizados para la distribución de servicios digitales. Finalmente, se incluye un estudio acerca de las capas restantes que conforman la arquitectura de cada uno de los estándares

3.1 Control centralizado

Esencialmente, el control involucra la toma de decisiones acerca del uso de recursos dentro de un sistema, para ello se necesita conocer la información acerca de las capacidades y el estado de cada fuente de datos. Entre las fuentes de datos figuran programas que utilizan los datos para llevar a cabo la decisión de asignación de recursos. Los objetivos de control son diversos y algunas veces conflictivos. Puede ser deseable minimizar los costos de comunicación, retrasando el alto de tráfico de datos hasta períodos de baja tasa de transmisión, tales como la transmisión del resumen de las transacciones de un día después de la media noche. Seguramente, los usuarios pueden necesitar *priondad* en el acceso de algunos recursos, sin tener en cuenta el costo originado cuando los otros usuarios esperan. Si un submarino no puede lanzar un misil para prevenir su propia destrucción, el refinamiento de su posición y los cálculos de su velocidad llegar a ser inútiles.

Los programas de control son complicados y pueden requerir seguir la pista de recursos distribuidos y resolver conflictos de peticiones rápidamente. El tiempo que toman las peticiones del estado y los mensajes de control pueden crear un retraso apreciable, especialmente si los sistemas cubren un área geográfica grande o transportan un gran tráfico de comunicación. Además, es extremadamente difícil distinguir entre un retraso de comunicación largo debido a un intenso tráfico y, la *no* respuesta debida a una falla en los recursos remotos.

Un sistema *centralizado* no distribuye el control a todos. Las peticiones de servicio son enviadas a un sitio sencillo y específico en donde los recursos son identificados y se realizan las decisiones de asignación. El caso más simple de control centralizado lo constituye un simple procesador con un conjunto de periféricos y terminales, todos conectados directamente a éste mediante la configuración *estrella*. Esto puede ser observado en la Figura 3.1

El procesador contiene todos los datos y programas necesarios para el control y proporciona solamente la ruta de acceso a los recursos. La resolución de peticiones conflictivas u objetivos de control es sencillo debido a que solamente se toma una decisión y los datos están disponibles simultáneamente y sin errores. El procesador es una fuente crítica: si está ocupado, el sistema entero disminuye sus funciones, si éste "se cae", el sistema completo es inoperable y todos los recursos no estarán disponibles.

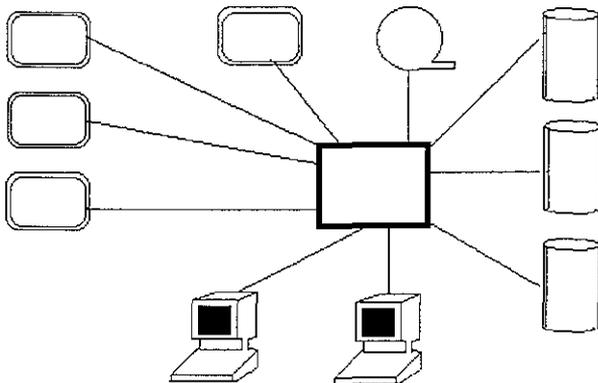


Figura 3.1 Control Centralizado

Una extensión a la filosofía del control centralizado que toma la ventaja de un procesador múltiple es llamado control *maestro-esclavo*. Las peticiones del servicio son aceptadas por las máquinas *esclavo* y enviadas a su *maestro*, cuando se tienen todos los datos y programas para el control, como puede observarse en la Figura 3.2.

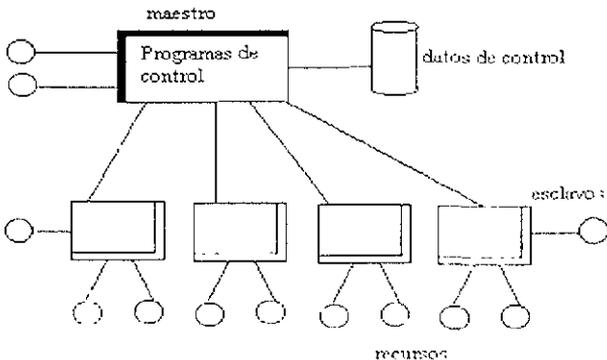


Figura 3.2 Control maestro / esclavo

Las asignaciones de recursos son decididas y todos los esclavos son notificados por lo que la ejecución puede proceder. El maestro es por lo tanto, un recurso crítico. Este tipo de sistema centralizado no es tolerable a fallos con respecto al procesador pero puede ser confiable si el procesador y las interconexiones son confiables. Si el procesador falla, el sistema no estará indisponible. Un sistema con control maestro- esclavo es más tolerable a fallos si el esclavo es utilizado para participar en el control, como se puede ver en la Figura 3.3, un alto grado de tolerancia a fallos es posible. Se puede notar que el costo por redundancia y encabezado están disminuyendo su importancia a favor de alta fiabilidad.

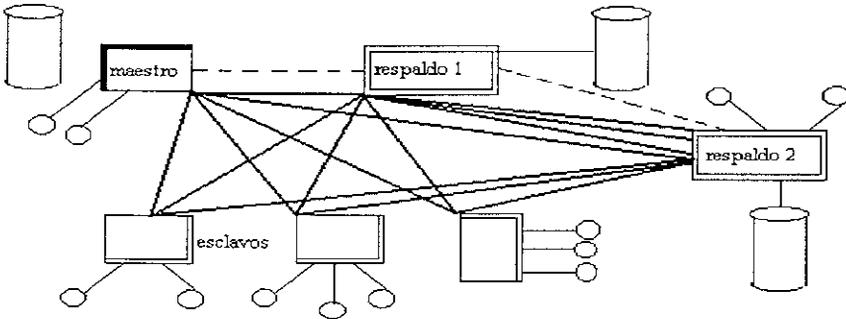


Figura 3.3 Maestro-esclavo con respaldos enlazados

Al escoger las estrategias de control se afectan los costos de comunicación. Mientras que el costo de la potencia de procesamiento ha estado decreciendo a una velocidad dramática, los costos de comunicación han decrecido más rápido. Los costos de comunicación deben ser balanceados contra el costo de la complejidad de software requerido para minimizar el control y flujo de datos. Ninguna respuesta o aproximación puede visualizarse como general, los objetivos específicos de cada organización crean un sistema que debe ser examinado para determinar las elecciones apropiadas.

3.2 Control distribuido

Un sistema distribuido puede ser considerado en su totalidad como un recurso organizacional sencillo con todos los elementos para su soporte y administración concentrados en un solo "departamento". Los usuarios de la aplicación siempre harán la petición de la misma y obtendrán el acceso al servicio mediante un solo departamento. Véase Figura 3.4

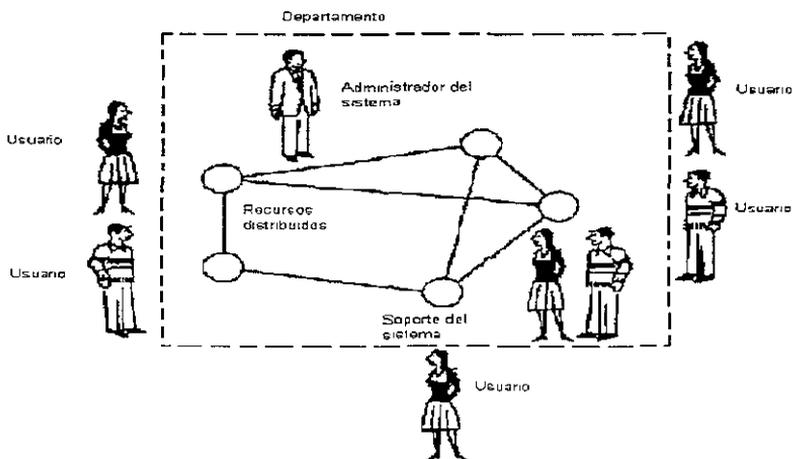


Figura 3.4 Control distribuido.

La disposición del arreglo puede ser más bien centralizado que descentralizado⁵. El grado de descentralización puede ir desde los operadores desplazándose en las posiciones de equipos remotos o programas dentro de los departamentos de usuarios, todo ello para tener el equipo seleccionado, operando con mantenimiento y programado directamente por los usuarios de la aplicación. Véase Figura 3.5

Para que lo anterior sea factible, la descentralización requerirá la creación de una adhesión de algunos estándares organizacionales para la interconexión física y la interacción de software. De forma contraria, el sistema, rápidamente, estará fuera del control de administración y no podrá funcionar con la cooperación necesaria para el procesamiento distribuido.

⁵ Se ha dicho que la *distribución* se aplica para diseñar e implementación de estrategias, mientras que *descentralización* es un asunto de tipo administrativo. En algunas ocasiones se utiliza una palabra alternativa para ambos: *centralización*.

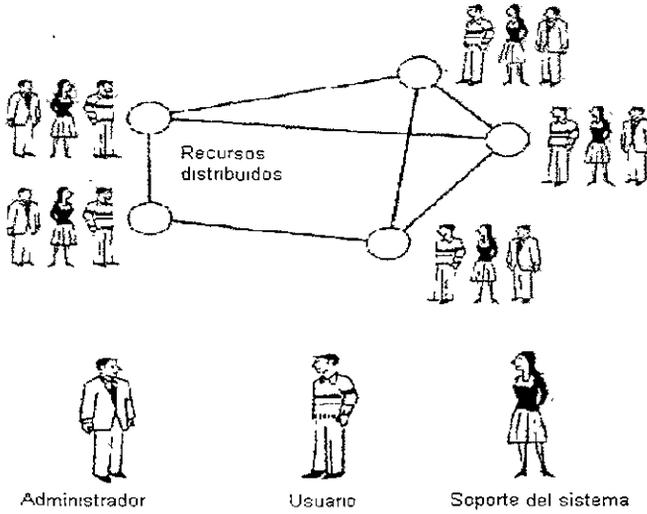


Figura 3.5 Control Descentralizado

Cualquier distribución no descentralizada deberá ser considerada aislada durante el proceso de diseño, ya que el éxito de cualquier sistema para soportar las metas de una organización depende en gran parte de la habilidad para proporcionar una adecuada relación costo-beneficio. No todas las combinaciones de distribución y descentralización harán compatibles las definiciones de servicio, mucho menos serán capaces de ofrecer las herramientas correctas y soportar a la gente correcta⁴

⁴ DeNoia Lynn A. Data communication' Ed. Bell & Howell Information Company

3.3 Arquitectura

3.3.1 IEEE 802.14

El Grupo de trabajo IEEE 802.14⁵ fue formado en mayo de 1994 por ingenieros distribuidores para desarrollar un sistema estándar de distribución de servicios de datos sobre la red de cable. Este grupo publicó sus objetivos en diciembre de 1995. Desafortunadamente, este estándar no tuvo el éxito esperado, por lo que, los operadores de cable combinaron su potencial de adquisición para iniciar el proceso de estandarización

El estándar IEEE 802.14 soporta la transmisión de datos, vídeo, transferencia de archivos y servicios interactivos de datos a través de un conjunto de redes internacionales. Estas redes están representadas por servicios de datos conmutados tales como ATM, servicios de datos de longitud variable tales como CSMA/CD (Ethernet), servicios de tasas de transmisión constantes tales como sistemas de vídeo digital MPEG, y servicios de datos con baja latencia tales como circuitos virtuales o STM, por ejemplo las familias E1 y T1 de los formatos PCM. La velocidad de transmisión de datos no está limitada por el protocolo, pero sin embargo, es función del tráfico en la red, el límite teórico del medio de transmisión y de los esquemas de modulación utilizados. Esto genera un amplio rango de parámetros de Calidad de Servicio (QoS) que deben ser soportados simultáneamente para crear un sistema escalable y con distribución de múltiples servicios. La topología de la planta híbrida de fibra y cable coaxial (HFC) permite la *multidifusión downstream* y la convergencia de múltiples trayectorias *upstream*. La especificación IEEE 802.14 no especifica los tipos de datos ni la topología residente. En cuanto a la capa física, esta especificación soporta dos capas físicas *downstream* las cuales están definidas en la Recomendación ITU-T J 83 Anexo A/C, los cuales han sido diseñadas para trabajar en sistemas de cable europeos y japoneses, respectivamente, y el Anexo B, el cual fue diseñado para trabajar en sistemas de cable norteamericanos. Adicionalmente, la especificación IEEE 802.14 determina la modulación, secuencia de codificación, la velocidad de transmisión de datos, la sincronización, la longitud de mensajes y formatos, la potencia de transmisión y las características de resolución. En la Figura 3.6 se muestra el modelo de referencia de red para el estándar IEEE 802.14.

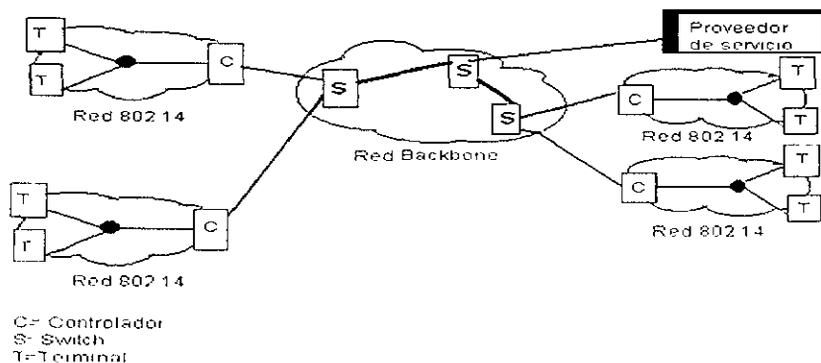


Figura 3.6 Modelo de Referencia de red para el estándar IEEE 802.14

⁵ IEEE, Electronic and Electrical Engineering

La Figura 3.7 muestra la arquitectura del estándar IEEE 802.14 y su relación con el estándar ISO

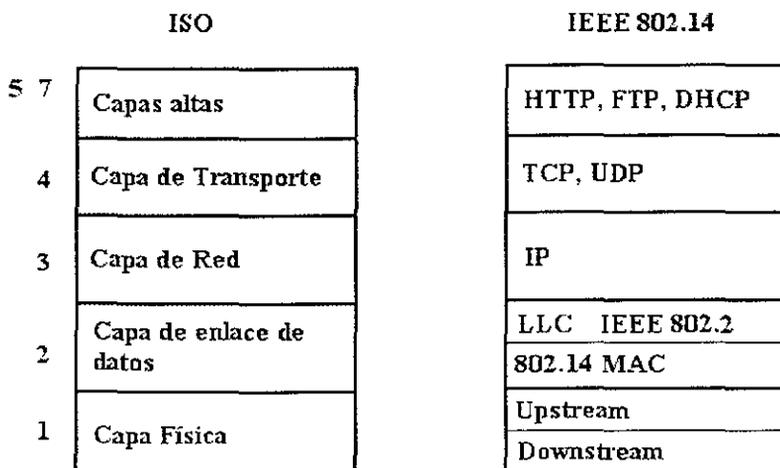


Figura 3.7 Arquitectura IEEE 802.14 y su relación con el modelo ISO

3.3.2 DOCSIS

En enero de 1996, MSOs, Cox, TCI y Time Warner formaron una asociación llamada Multimedia Cable Network System Partners Ltd (MCNS) para investigar y publicar las especificaciones de su propio sistema de distribución de servicios de datos sobre la red de cable

MSNC liberó su propio estándar, llamado Data Over Cable Service Interface Especification (DOCSIS 1.0) a la comunidad manufacturera en marzo de 1997. Los vendedores inmediatamente comenzaron a construir los productos prototipos y la primera demostración pública de interoperabilidad del equipo DOCSIS fue posible en diciembre de 1997

La función principal del protocolo DOCSIS 1.0 fue la transferencia transparente de mensajes del Protocolo Internet (IP) a través del sistema de cable. La Calidad de Servicio (QoS) estuvo limitada a la priorización y concatenación de tramas para una conectividad básica de Internet

En 1998 CableLabs comenzó un programa formal de certificación para el equipo DOCSIS para asegurar que los productos construidos por diferentes fabricantes fueran compatibles entre sí. En marzo de 1998, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU)⁶ aceptó al sistema DOCSIS como un estándar de la tecnología *cablemódem*, llamado ITU J.112

⁶ ITU, International Telecommunications Union

Para 1999 se liberó la especificación DOCSIS 1.1. Esta especificación, proporciona una definición extendida de la Calidad de Servicio (QoS). Soporta Calidad de Servicio (QoS) para IP basada tanto en el campo *Tipo de Servicio* (TOS) como en las técnicas de programación avanzada. Clasifica los paquetes de información para su distribución. Permite establecer el servicio dinámico. El Sistema de Terminación de Cable Módem (CMTS, Cable Modem Termination System) controla la fragmentación en el sentido *upstream*. Se hace un mejor uso del ancho de banda en ambos sentidos, *upstream* y *downstream*, mediante la supresión de encabezado de la carga útil. Contiene una aproximación estandarizada para el soporte de *multidifusión* IP sobre la red de cable.

La arquitectura de referencia, mostrada en la Figura 3.8 contiene las tres categorías de interfaces

- Interfaces de datos, las cuales incluyen la interfaz del CMTS del lado de la red (CMTS-NSI) entre el CMTS y la red de datos y la interfaz del equipo en la premisa del usuario y el *módem de cable*;
- Interfaces en la ruta de retorno para el sistema telefónico y sistemas de soporte de operaciones, las cuales corresponde a las interfaces de la capa de administración de elementos de red entre los elementos de red y los sistemas de soporte de operaciones de alto nivel (OSSs) y, la interfaz entre el *módem de cable* y la ruta de regreso en el servicio telefónico para aquellos casos donde la ruta de regreso no está disponible o proporcionada por la red de cable, respectivamente y ,
- Las interfaces RF, las cuales describen la interacción entre el *módem de cable* y la red de cable, el CMTS y la red de cable (en rutas *upstream* y *downstream*).

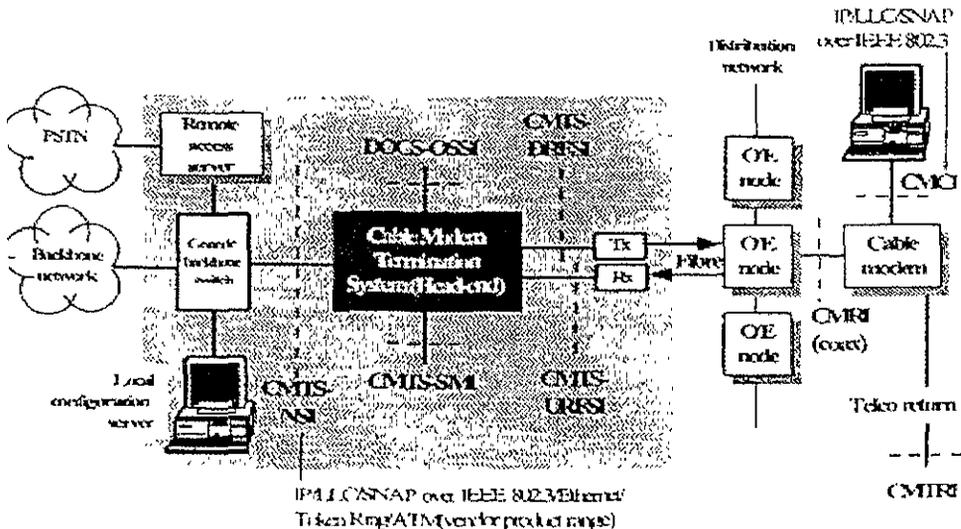


Figura 3.8 Arquitectura de referencia DOCSIS

La Figura 3.9 muestra la arquitectura del estándar DOCSIS y su relación con el estándar ISO.

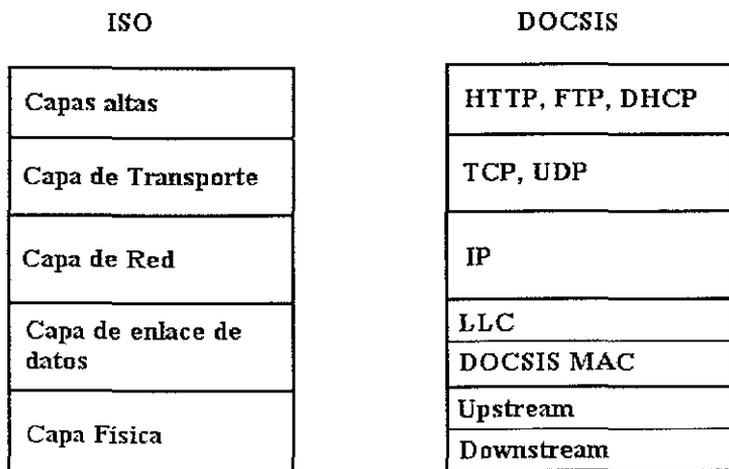


Figura 3.9 *Arquitectura DOCSIS y su relación con el modelo ISO*

3.3.3 DVB/DAVIC

La tecnología de Digital Video Broadcast (DVB) y Digital Audio Video Council (DAVIC) es el estándar europeo para la *set-top box* digital y ahora está trabajando en el área de la distribución de servicios de datos sobre la red de cable. El objetivo de DVB es la distribución de televisión digital sobre satélite (DVB-S), terrestre (DVB-T) y enlaces de cable (DVB-C) para la ruta *downstream* y DVB-RC para la ruta *upstream*.

Con el soporte de más de 15 vendedores, DVB/DAVIC está emigrando a los sistemas DOCSIS adaptados a las normas de Europa.

La Figura 3.10 muestra el modelo de referencia DVB/DAVIC para la distribución de servicios interactivos. En el modelo del sistema existen dos canales establecidos entre el proveedor de servicio y el usuario, existen el canal de difusión (BC) y el canal de interacción (IC). El canal BC es un canal de difusión unidireccional de banda ancha que incluye vídeo, audio y datos. El canal IC es un canal bidireccional de interacción, el cual es establecido entre el proveedor de servicio y el usuario para propósitos de interacción. Este canal está formado por

- La ruta interactiva de retorno (canal *upstream*), la cual es usada por el usuario para la petición del servicio al proveedor. Cuyo origen es el usuario y destino el proveedor de servicio.
- La ruta interactiva *downstream*, en la cual la información tiene su origen en el proveedor de servicio y su destino es el usuario.
- La NIU⁷ consiste del *Módulo de Interfaz Broadcast* (BIM) y del *módulo de Interfaz Interactiva* (IIM). El usuario terminal proporciona una interfaz a ambos canales, el interactivo y el de *broadcast*. La interfaz entre el usuario terminal y la red de interacción es vía el IIM.

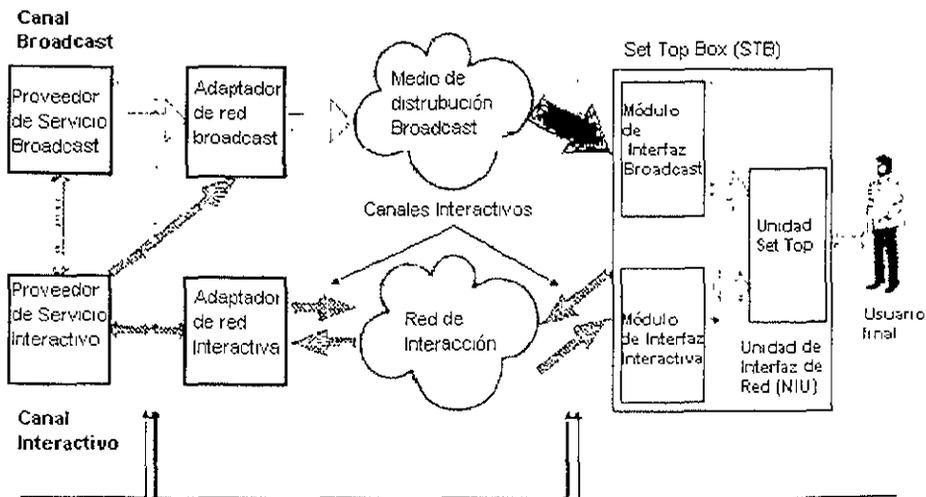


Figura 3.10 Modelo de referencia DVB

⁷ NIU Network Interface Unit

3.4 Características de arquitectura para la Capa Física

3.4.1 Transmisión *upstream*

3.4.1.1 IEEE 802.14

Para el estándar IEEE 802.14 una transmisión *upstream* se origina en el nodo del usuario final y llega al nodo de Cabeza Terminal a través de la red de acceso multipunto-punto (dirección *upstream*) donde el medio de acceso es compartido por todos los nodos de usuarios finales que se comunican con la misma Cabeza Terminal.

El espaciamiento de canales *upstream* depende de la técnica de modulación empleada. El espaciamiento mínimo de canales es de:

$$(1 + \alpha) * R_{S(\min)}$$

α y $R_{S(\min)}$ denotan el factor espectral y la tasa mínima de símbolos, respectivamente

El espaciamiento estándar de canales en la dirección *upstream* utilizado es de 200 KHz, 400 KHz, 800 KHz, 1.6, 3.2 y 6.4 MHz

Las frecuencias portadoras, f_c , para una transmisión *upstream* son seleccionadas de forma que

$$f_c = n * (32 \text{ KHz})$$

La capa física *upstream* soporta la transmisión de mensajes en forma de ráfagas con los parámetros proporcionados en la Tabla 3.1

Parámetro	Opciones
Codificación diferencial	On/Off
Tasa de símbolos(M bauds)	0.256, 0.512, 1.024, 2.048, 4.096
Contenido	Programable, 1024 bits
FEC ⁸ on/off	On/Off
FEC longitud de la palabra código, k (bytes)	TBD ⁹
FEC error corrección, t(bytes)	0 a 10
Longitud de ráfaga, m (minislots)	TBD
Longitud de última palabra código	Fija o corta
Tiempo de guarda	TBD

Tabla 3.1 Parámetros de ráfagas de canales *upstream*

Las transmisiones *upstream* provenientes de varias estaciones son registradas por la Cabeza Terminal de forma tal que el centro del último símbolo de una ráfaga y el centro del primer símbolo de la siguiente ráfaga inmediata estén separadas por al menos cinco símbolos. El tiempo de guarda es más grande o igual que la duración de los símbolos TBD más el máximo tiempo de error que es generado por la estación y la Cabeza Terminal

⁸ FEC, Forward Error Correction

⁹ TBD To Be Determined

3.4.1.2 DOCSIS

El espaciamiento de canales *upstream* es de 200 KHz, 400 KHz, 800 KHz, 1.6 MHz y 3.2 MHz. Las frecuencias portadoras son variables, y se encuentran en el rango de 200 KHz – 3.2 MHz.

La Figura 3.11 muestra la trama *upstream* del sistema DOCSIS.

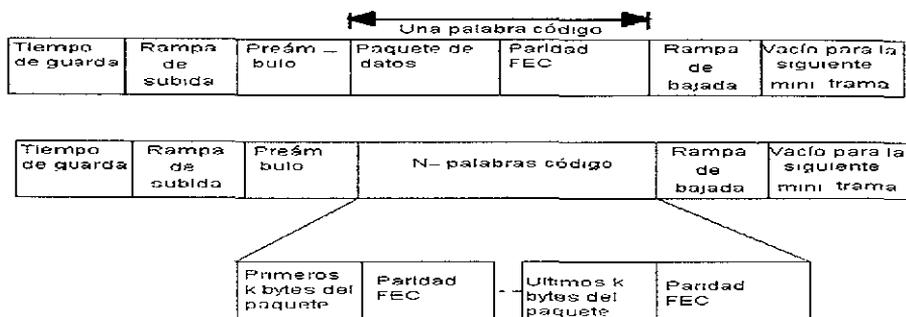


Figura 3.11 Trama *upstream* del sistema DOCSIS

Los mensajes *upstream* son protegidos utilizando codificación RS. El CMTS define la intensidad de la FEC a ser utilizada por el *módem de cable*, dentro del rango $t=0$ (no existe FEC) a $t=10$. La longitud de las palabras código es también programable y está basada en los códigos de acortamiento GF (256). Las longitudes de los campos restantes como la longitud de las miniranuras también son programadas por el CMTS, así como el esquema de modulación, tasa de transmisión, frecuencia de transmisión y longitud de preámbulo.

3.4.1.3 DVB/DAVIC

El espaciamiento de canales *upstream* es de 200 KHz, 1MHz y 2 MHz. Los parámetros de la capa física y la transmisión de tramas son fijos. La unidad básica de la transmisión *upstream* está constituida por 64 bytes. La Figura 3.12 muestra la estructura de la trama *upstream* para la especificación DVB/RC. El formato de la trama está formado de una palabra única de 4 octetos la cual proporciona el método de adquisición modo ráfaga, un área de carga de 53 octetos la cual contiene una celda de mensaje y el campo de paridad RS (*Reed-Solomon*) el cual proporciona 6 octetos de protección RS sobre el área de la carga, y un campo de Banda de Guarda de longitud 1 octeto, el cual proporciona espacio entre los paquetes adyacentes.

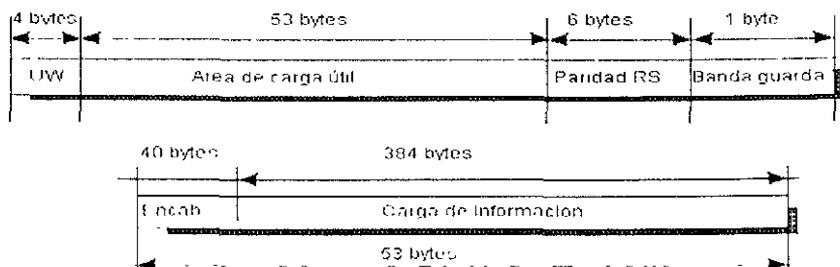


Figura 3.12 Trama *upstream* DVB-RC

3.4.1.4 EURODOCSIS

La capa física del estándar EuroDOCSIS está basada en la especificación DVB/DAVIC.

3.4.2 Transmisión downstream

3.4.2.1 IEEE 802.14

La red es del tipo punto-multipunto en la dirección *downstream*. La transmisión *downstream* se origina en el nodo de Cabeza Terminal y es transmitida a todos los nodos de usuarios finales.

Existen dos capas físicas diferentes soportadas por el estándar IEEE 802.14. Estas dos capas son denominadas capas físicas *downstream* tipo A y tipo B. La diferencia principal entre estas dos capas es el método de codificación utilizado para el FEC. El FEC para la capa física *downstream* tipo A está basado en la codificación RS (*Reed-Solomon*). Por otro lado, el FEC utilizado para la capa física *downstream* tipo B está basado en un método de codificación concatenado con la codificación RS externa y la modulación de Código de Trellis interna. Cada tipo de capa física *downstream* tiene diferentes modos de operación.

Las frecuencias portadoras *downstream* son seleccionadas de acuerdo a lo siguiente:

$$F_c = (n \cdot 250 \text{ KHz}) \pm 8 \text{ KHz}$$

Donde n es un entero tal que $63 \text{ MHz} < f_c < 803 \text{ MHz}$

Los niveles de señales espurias son menores que -75 dBc para la modulación IB ($f_c \pm 3 \text{ MHz}$), menores que -62 dBc para canales adyacentes ($f_c + 3$ a $f_c + 9$ y $f_c - 9$ a $f_c - 2$), y menores que -67 dBc para otros canales (47 MHz a 1 GHz). La capa física *downstream* es capaz de transmitir una señal sobre cable entre los rangos de $+50$ y $+61 \text{ dBmV}$.

El espacio entre canales *downstream* es de 6 y/o 8 MHz para la capa tipo A. Mientras que la capa tipo B y C tiene un espacio entre canales de 6 MHz .

3.4.2.2 DOCSIS

El espacio entre canales *downstream* es de 6 MHz . El flujo *downstream* es una serie continua de paquetes MPEG-2¹⁰ con una longitud de 188 octetos por cada paquete. El encabezado de MPEG (4 bytes) identifica a los paquetes transportados sobre el cable. Potencialmente, datos y vídeo sobre cable (u otros servicios) pueden ser multiplexados en el tiempo en el mismo flujo de transporte de multiprograma MPEG.

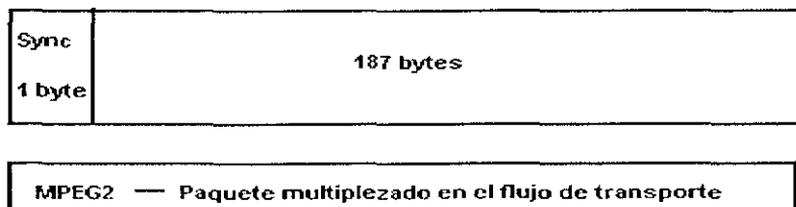


Figura 3.13 Estructura del paquete MPEG2

¹⁰ MPEG, Motion Pictures Experts Group

El estándar MPEG-2 pertenece a la familia MPEG (*Motion Picture Experts Group*, Grupo de Expertos en Imágenes en Movimiento).

Estándar MPEG

El primer estándar terminado fue el MPEG-1; su meta fue producir vídeo con calidad de videograbadora (352 * 240 para NTSC) usando una tasa de bits de 1.2 Mbps. El vídeo no comprimido por sí solo puede requerir una alimentación de 472 Mbps, se considera una pantalla XGA (1024 * 768) con 24 bits por píxel y 25 marcos /segundo. El estándar MPEG-1 también se usa para almacenar películas en CD-ROM.

El estándar MPEG-2 se diseñó originalmente para comprimir vídeo con calidad de difusión a 4-6 Mbps, de modo que pudiera ser distribuido en un canal de difusión NTSC¹¹ o PAL¹². Después se expandió el MPEG-2 para manejar definiciones mayores, incluida HDTV¹³. El MPEG-4 se utiliza para videoconferencias de mediana definición con tasas de marco bajas (10 marcos/seg) y a bajo ancho de banda (64 kbps). Los principios básicos del MPEG-1 y el MPEG-2 son parecidos, pero los detalles son diferentes. A primera vista, el MPEG-2 es un supergrupo del MPEG-1, con características, formatos de marco y opciones de codificación adicionales.

El estándar MPEG-2 reconoce cuatro niveles de definición: baja (352*240), principal (720*480), alta-1440 (1440*1152) y alta (1920*1080). La baja definición es para videograbadoras. La principal es la normal para difusión NTSC. Las otras dos son para HDTV. La tasa de datos comprimidos de cada combinación de definición y perfil es diferente, va desde 3 Mbps hasta 100 Mbps para HDTV. El caso normal es de unos 3 a 4 Mbps.

El MPEG-2 define una cantidad ilimitada de corrientes elementales, incluidos vídeo y audio, pero también corrientes de datos que deben sincronizarse con el audio y el vídeo, por ejemplo, subtítulos en varios idiomas.

Cada una de las corrientes se empaqueta primero con marcas de tiempo.

La salida de cada empaquetador es una PES (*Packetized Elementary Stream*, corriente elemental empaquetada). Cada PES tiene cerca de 30 campos de cabecera e indicadores, incluidas longitudes, identificadores de corriente, control de cifrado, estado de derechos de autor, marcas de tiempo y un CRC.

Las corrientes PES de audio, vídeo y posiblemente datos se multiplexan juntas en una sola corriente de salida para su transmisión. Se definen dos tipos de corriente. La **corriente de programa** MPEG-2, la cual se usa para multiplexar varias corrientes elementales que tiene una base común y tienen que presentarse de una manera sincronizada. La corriente de programa usa paquetes grandes de longitud variable.

La otra corriente MPEG-2 es la **corriente de transporte**. Se usa para multiplexar corrientes (incluidas corrientes de programa) que no usan una base de tiempo común. Los paquetes de corriente de transporte son de longitud fija (188 bytes), para simplificar la limitación del efecto de los paquetes dañados o perdidos durante la transmisión.

¹¹ El primer sistema de televisión a color fue estandarizado en Estados Unidos por el Comité Nacional de Estándares de Televisión, que presto sus siglas al estándar: NTCS.

¹² PAL, Phase Alternating Line (línea de fases alternas), sistema de televisión a color manejado en Europa, presenta mejor inmunidad contra el ruido y mejores colores que su antecesor NTSC.

¹³ HDTV, High Definition Television (Televisión de alta definición), este estándar produce imágenes más nítidas al duplicar la cantidad de líneas de barrido.

Los estándares MPEG se basan en el modelo de codificación con pérdidas seguida de transmisión sin pérdidas. Es decir, no pueden recuperar paquetes perdidos o dañados sin que se note el problema.

Composición de un Flujo de Transporte MPEG-2 (MPEG-2 TS)

El Flujo de Transporte MPEG-2 (MPEG-2 TS) proporciona un multiplexaje multi-programa de paquetes de longitud fija, cada uno con un campo de encabezado (4 bytes) y un campo de carga útil (184 bytes). El encabezado contiene un Identificador de Paquete (13 bits) el cual es único para cada flujo de audio, vídeo y datos dentro del multiplexaje. La Información Específica de Programa MPEG (PSI) proporciona tablas que identifican las combinaciones de flujos de audio, vídeo y datos los cuales forman programas particulares.

La Tabla de Asociación de Programa (PAT) tiene siempre el PID en valor 0 y proporciona una lista de los PIDs donde las Tablas de Mapeo de Programas (PMT) para los programas individuales son encontradas. Cada PMT lista los PIDs donde estos flujos de vídeo, audio y datos constituyentes de los programas son encontrados. Los valores del PID para el PMT y varios flujos de vídeo, audio y datos son enteramente arbitrarios, ellos solamente tienen que ser únicos dentro del Flujo de Transporte.

En adición al PAT y PMT, existen otras cuatro tablas que han sido especificadas como obligatorias por el organismo DVB. La Tabla de Información de Red (NIT) proporciona información acerca de la red física, tal como la frecuencia de transmisión y el esquema de codificación FEC. La Tabla de Descripción del Servicio (SDT) da los detalles tales como el nombre del servicio y el proveedor de servicio. La Tabla de Información de evento (EIT) es usada para transmitir información acerca de eventos presentes y futuros, donde un evento puede ser un programa completo de TV o una parte bien definida de este (tal como la primera parte de un juego de fútbol). La Tabla de Datos y Tiempo (TDT) puede ser utilizada para sincronizar el reloj interno de un decodificador. Existen algunas tablas opcionales, pero la más importante es la Tabla de Acceso Condicional (CAT).

Captura del Flujo de Transporte

La naturaleza compleja de las capas del sistema MPEG permite que el sistema se pueda analizar mediante software. Sin embargo, antes de que el análisis puede ser desarrollado, es necesario primero capturar el Flujo de Transporte en un disco. La tasa de bits del Flujo de Transporte es dependiente del ancho de banda del sistema de distribución, el esquema de modulación utilizado y la tasa del FEC, un requerimiento del peor caso es 60 Mbps.

3.4.2.3 DVB/DAVIC

Existen dos métodos de señalización *downstream In Band* (IB) y *downstream Out of Band* (OOB). Para la señalización *In Band*, las tramas MAC PDU (o datos del usuario) son encapsulados en tramas MPEG-2. Las tramas MPEG-2 están formadas por un encabezado MPEG de 4 octetos, un campo de control de información MAC para el control de sus ocho cabales asociados, un campo de 4 octetos adicionales el cual es reservado para futuras implementaciones y, finalmente un campo de mensaje MAC de 120 octetos el cual es la región de carga para la encapsulación de las PDU MAC cuando se convierten en tramas MPEG-2. En la capa física, un campo de paridad RS de longitud 16 octetos se adiciona a cada trama MPEG para formar un paquete codificado RS de 204 octetos.

3.4.2.4 EuroDOCSIS

La capa física del estandar EuroDOCSIS esta basada en la especificación DVB/DAVIC.

3.4.3 Utilización del espectro

Espectro	IEEE 802.14	DOCSIS	DVB/DAVIC	EURODOCSIS
Upstream	5-42 MHz (US) 5-65 MHz (EU) 5-55 MHz (JP)	5-42 MHz	5-65 MHz	5-65 MHz
Downstream	88-860 MHz (EU) 110-862 MHz (US) 90-770 MHz (JP)	80-600 MHz	70-130 MHz 300-862 MHz OOB 300-862 MHz IB	100-800 MHz

Tabla 3.2 Utilización del espectro

Eficiencia espectral downstream

El estándar DVB/DAVIC presenta tasas de transmisión *downstream* de 1 544 Mbps y 3 088 Mbps para canales OOB utilizando anchos de banda de 1MHz y 2MHz, respectivamente. Cada celda ATM es protegida por un código RS (55,53). Existen 3333 y 6666 celdas ATM por segundo enviadas en la dirección *downstream* utilizando anchos de banda de 1 MHz y 2MHz, respectivamente. Se utiliza en el transporte MPEG-2 RS (204,188), $\alpha=0.15$; *Interleave depth*=12. La eficiencia espectral es por lo tanto $0.80136 \cdot \log_2$ (orden de la constelación QAM) en bps / Hz. (Esto es la transmisión neta del código FEC, multiplicada por el logaritmo base dos del orden de la constelación QAM de la señal, dividida por uno más α).

El estándar DOCSIS presenta los siguientes datos: Transporte MPEG-2 RS (128,122), tasa de codificación Trellis= 14/15, $\alpha=0.18$ (64-QAM) o $\alpha=0.12$ (256-QAM); *Interleaving*=si, latencia variable. La eficiencia espectral es por lo tanto $0.7943 \cdot \log_2$ (256) para 256-QAM o $0.7539 \cdot \log_2$ (64) para 64-QAM en bps/Hz.

La eficiencia para el estándar EuroDOCSIS es mayor al 80% en servicios mezclados de voz y datos, donde se tienen 10.24 Mbps en 3.2 MHz. Mientras que para el estándar DVB/DAVIC la eficiencia va de 50-72%, en donde se tienen 3 088 Mbps en 2MHz.

Eficiencia Espectral Upstream

El estándar DVB/DAVIC presenta velocidades de transmisión de 0.256 a 6 176 Mbps para canales OOB (con un ancho de banda de 200 Hz a 4 MHz) cuando se utiliza un código RS (59,53) para proteger cada celda ATM del ruido impulsivo. La velocidad de transmisión de celdas ATM es superior a 12000 celdas por segundo a 6 178 Mbps.

Por otro lado, el estándar DOCSIS presenta velocidades de transmisión de 160,320,640,1280 y 2560 kilobaud en canales de 0.2, 0.4, 0.8,1.6 y 3.2 MHz, respectivamente. Los mensajes *upstream* son protegidos utilizando codificación RS. El CMTS define la intensidad del FEC a ser utilizada por el módem de cable en el rango de $t=0$ (no existe FEC) a $t=10$. La longitud de las palabras código es también programable y está basada en códigos cortados sobre GF (256).

3.4.4 Multiplexación

Todos los estándares de Módem de Cable tienen separados sus canales *upstream* de los canales *downstream* mediante la técnica de Multiplexación por División de Frecuencia¹⁴

3.4.4.1 IEEE 802.14

La Cabeza Terminal transmite en la etiqueta de tiempo de la transmisión *downstream* mensajes que son utilizados por la estación para establecer la sincronización TDMA en el sentido *upstream*. La tasa de transmisión de estos mensajes y su regularidad son TDB

Para sincronizar adecuadamente las transmisiones *upstream* originadas desde diferentes estaciones en el modo TDMA, se aplica una corrección de retraso (*ranging offset*) por la estación al tiempo de la Cabeza Terminal adquirido por la estación. Este proceso es llamado *ranging*. El *ranging offset* es un desarrollo aproximadamente igual al retraso de la transmisión de la Cabeza Terminal a la estación. Una vez que la recepción de una o más transmisiones *upstream* (desde una estación) han sido exitosas, la Cabeza Terminal proporciona a la estación un mensaje de retroalimentación conteniendo el *ranging offset*. La precisión del *ranging offset* debe ser mejor que la duración del símbolo TDB. Después de la primera iteración del *ranging*, la Cabeza Terminal envía los ajustes de *ranging* cuando son necesarios, a la estación. Un valor negativo de ajuste de *ranging* indica que el *offset de ranging* de la estación debe ser disminuido, teniendo como resultado retrasos en la transmisión hacia la estación.

La estación implementa el ajuste de *ranging* con una resolución de, al menos, la duración de un símbolo para una ráfaga determinada.

Actualmente se está investigando la posibilidad de utilizar la tecnología de acceso S-CDMA.

3.4.4.2 DOCSIS

El estándar DOCSIS utiliza el esquema de multiplexación TDM (*Time Division Multiplexing*)¹⁵ de estructuras MPEG para la capa física *downstream*. Mientras que se utiliza el esquema de acceso TDMA (mini ranura) para la transmisión en sentido *upstream*. Se denomina minirranura a la unidad de tiempo utilizada para transmisiones *upstream*. Estas minirranuras deben ser múltiplos enteros de 6.25 μ s. Por lo tanto, cada módem de cable es alineado a 6.25 μ s en el dominio del tiempo desde el CMTS. La minirranura tiene una longitud de 128 bytes.

Como se puede observar, cada canal *upstream* representa un flujo de minitramas. El CMTS envía paquetes de sincronía para generar una referencia de tiempo para que los módems de cable identifiquen estas minirranuras. Los módems de cable son sincronizados y como consecuencia conocen cuando comenzar una transmisión para hallar una minirranura específica. El CMTS controla el acceso a las ranuras asignando "oportunidades de transmisión" basadas en la contención y en la transmisión garantizada. La Figura 3.14 muestra la distribución de ancho de banda *upstream*.

¹⁴ Ver APENDICE A

¹⁵ Ver APENDICE A

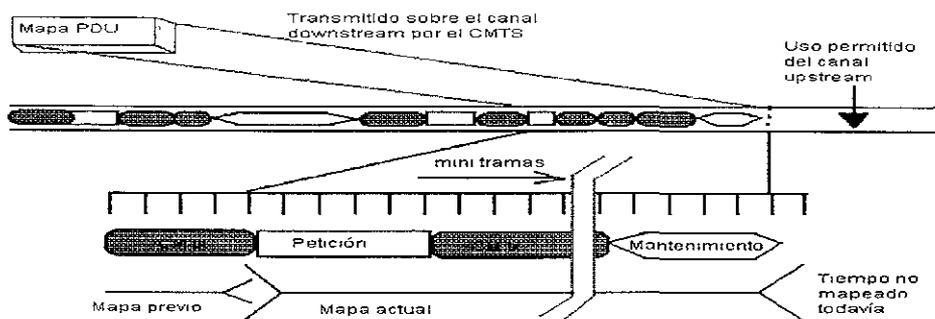


Figura 3.14 Distribución del ancho de banda upstream en DOCSIS.

3.4.5 Modulación

La tasa de modulación se refiere a la tasa a la cual los símbolos de modulación son transmitidos sobre el medio físico. La unidad de modulación es el *baud* (por ejemplo, modulación de símbolos/segundo). La tasa de datos se refiere a la tasa a la cual los bits de datos son transmitidos sobre el medio físico. La unidad de tasa de datos es *bits/segundo* (*bps*).

3.4.5.1 IEEE 802.14

Downstream

Se utiliza la modulación 64-QAM o 256-QAM¹⁶

Upstream

Se utiliza la modulación QPSK o 16-QAM, lográndose velocidades de transmisión de 0.256, 0.512, 1.0224, 2.048 y 4.096 Mbps.

3.4.5.2 DOCSIS

Downstream

Se utiliza la modulación 64-QAM lográndose velocidades de transmisión de 27 Mbps o 256-QAM lográndose velocidades de transmisión de 42 Mbps.

Upstream

Se utiliza la modulación QPSK lográndose velocidades de transmisión de 0.320, 0.640, 1.280, 2.560 y 5.120 Mbps o 16-QAM lográndose velocidades de transmisión de 0.640, 1.280, 2.560, 5.120 y 10.24 Mbps.

¹⁶ Ver APENDICE B

3.4.5.3 DVB/DAVIC

Downstream

Para el *módem de cable In-Band*, se tiene una modulación 64-QAM lográndose una tasa de transmisión de 38 Mbps, y 256-QAM lográndose una velocidad de transmisión de 52 Mbps. En la *Set-Top Box Out Of Band*, se logran velocidades de 1 544 Mbps y 3.088 Mbps. Canalización 8 MHz. El uso de una portadora QAM para el tráfico *downstream* se denomina señalización *In-Band*. Mientras que el uso de una modulación QPSK para el tráfico *downstream* se denomina señalización *Out Of Band*.

Upstream

Se utiliza la modulación QPSK, lográndose las velocidades de transmisión de 256 kbps, 1.544 Mbps, 3 088 Mbps y 6.176 Mbps. La velocidad 3.088 Mbps es la más utilizada.

3.4.5.4 EURODOCSIS

Downstream

Para la *Set-Top Box* y el módem de cable *In-Band* se utiliza la modulación 64-QAM, con la cual se logra una velocidad de transmisión de 38 Mbps y la modulación 256-QAM con la que se logra la velocidad de 52 Mbps. Canalización 8 MHz.

Upstream

Se utiliza la modulación QPSK, con la que se logran velocidades de 0 320, 0 640, 1 280, 2 560 y 5 120 Mbps. También se utiliza la modulación 16-QAM lográndose velocidades de transmisión de 0 640, 1 280, 2 560, 5 120 y 10.24 Mbps.

3.5 Características de arquitectura para la capa de Control de Acceso al Medio (MAC)

La red de cable se compone de un conjunto de usuarios que deben compartir la capacidad de transmisión de la red. Por tal motivo, para evitar conflictos y errores, se hace necesario utilizar algún método de control de acceso al medio de transmisión.

El protocolo de acceso al medio es el factor que más caracteriza el funcionamiento de una red de cable. De él dependen parámetros básicos en la evaluación de una red tales como el rendimiento, fiabilidad, disponibilidad y la gestión de la red.

- Rendimiento: depende del grado de aprovechamiento del medio, su capacidad para repartir el derecho de acceso y la resolución de conflictos de acceso.
- Fiabilidad: el protocolo debe proporcionar los mecanismos necesarios para asegurar un servicio continuo sin errores y debe ser capaz de detectar y corregir situaciones anómalas.
- Disponibilidad: la oportunidad de acceso debe estar en todo momento bien repartida entre todos los usuarios conectados a la red.
- Gestión de red: aspectos como la reconfiguración de la red, gestión de nodos con prioridades, direccionamiento a todas las estaciones (*broadcasting*), etc.

En la Figura 3.15 se representa una clasificación de los métodos de acceso.

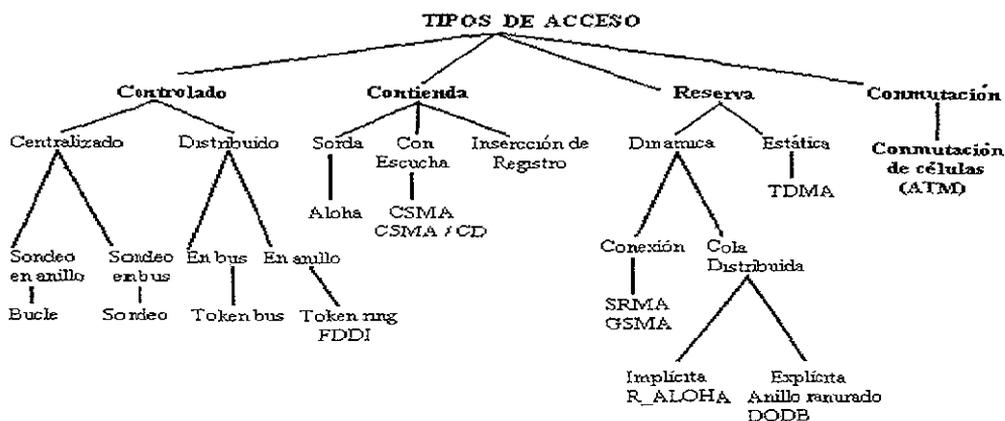


Figura 3.15 Clasificación de los métodos de acceso

3.5.1 Métodos de compartición del medio

3.5.1.1 Controlado

Las técnicas de *controlado* son conceptualmente simples, basadas en la filosofía de "conceder a cada uno una oportunidad". Cada estación, por turno, recibe el permiso para transmitir. Durante esta oportunidad la estación puede declinar transmitir, o bien transmitir sujeta a ciertos límites superiores, generalmente expresados en cantidad máxima de tiempo. En cualquier caso, la estación, cuando finaliza, debe ceder su turno, pasando el derecho de transmisión a la siguiente estación dentro de la secuencia lógica de estaciones.

El control de los turnos puede estar centralizado o distribuido. El sondeo es un ejemplo de técnica centralizada. Las técnicas de paso de testigo pertenecen al grupo de métodos distribuidos.

3.5.1.2 Contienda

En este tipo de técnicas un nodo es libre de lanzar sus mensajes en cualquier momento, sin estar seguro de que ningún otro dispositivo está intentando transmitir simultáneamente. Cuando dos o más estaciones intentan ocupar el canal al mismo tiempo, se produce una colisión – interferencias provocadas por la transmisión simultánea – entre los mensajes que estaban siendo emitidos. Acto seguido se desencadena un proceso o algoritmo de contienda para resolver la posesión del medio.

Los métodos de contienda pueden clasificarse en técnicas con o sin escucha (transmisión sorda), según si poseen o no información del estado del canal – libre y ocupado-. Normalmente esta escucha se efectúa por detección de la presencia de la señal, tomando el nombre de técnicas de Acceso Multiple con detección de Portadora (CSMA, Carrier Sense Multiple Access).

En un segundo nivel, las técnicas de contienda pueden clasificarse en troceadas o no troceadas. Este troceado puede ser de paquete o de retardo, diferenciándose en el intervalo que toman como referencia para dividir el tiempo con vistas a la transmisión de los paquetes.

Troceado de paquete. En las técnicas en las que se emplea el troceado de paquete, el tiempo se divide en intervalos iguales de un tamaño correspondiente a la duración de un paquete (cuya longitud ha de ser fija). Los dispositivos deben estar sincronizados con un reloj maestro que marca los intervalos. Cuando una estación tiene un paquete para transmitir, espera al principio del siguiente intervalo y si actúa sin escucha (técnica sorda) procede a su transmisión.

Troceado de retardo. Los métodos que hacen uso de este troceado dividen el tiempo en intervalos, llamados T-slots, cuya duración es igual al retardo máximo de propagación de extremo a extremo del canal. Los dispositivos se encuentran también sincronizados respecto a un reloj maestro. El troceado con retardo se utiliza en las técnicas con escucha donde dicho retardo incide en la decisión de tomar de sí el canal está libre o no. A diferencia de lo que ocurre en el troceado por paquete, la longitud de éste puede ser variable.

3.5.1.3 Reserva

Esta técnica se caracteriza porque los nodos solicitan una reserva y no inician la transmisión de la información hasta que ésta se les concede. Son métodos libres de colisiones en cuanto a la transmisión se refiere, pudiendo darse este hecho en el proceso de establecimiento de la reserva.

3.5.2 IEEE 802.14

La Figura 3.16 muestra los elementos de la topología MAC.

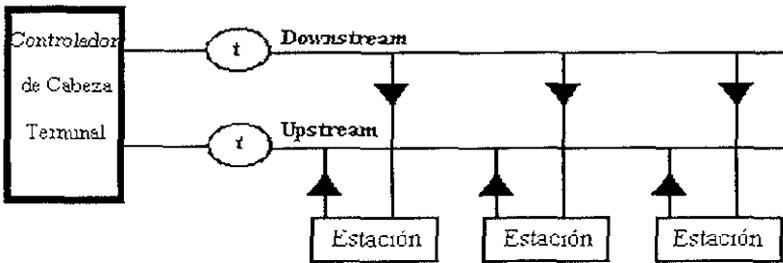


Figura 3.16 Elementos de la topología MAC.

Cada estación tiene amplificadores en cada dirección que restringe el flujo de datos unidireccionalmente. Todas las estaciones en la red reciben datos desde la misma ruta *downstream*. Las estaciones tienen que eliminar los mensajes que no son destinados para ellas. En la dirección *upstream* cualquier estación puede transmitir su información y el Controlador de Cabeza Terminal será el único receptor.

Sincronización

Todas las estaciones deben ser esclavizadas a una fuente de tiempo maestra que resida en el Controlador de Cabeza Terminal. Para proporcionar una base de tiempo a todas las estaciones, el Controlador de Cabeza Terminal emite una celda referenciada en el tiempo a todas las estaciones en intervalos periódicos (~2 ms). El controlador de Cabeza Terminal puede ajustar el tiempo base de la estación a través de mensajes por lo que todas las estaciones estarán sincronizadas en el tiempo.

Para cualquier par de estaciones en la red, es importante que, si ellas deciden transmitir en un tiempo determinado sobre la red, ambas transmisiones llegarán al Controlador de Cabeza Terminal al mismo tiempo

Jerarquía de canales

Jerarquía downstream

El flujo *downstream* está compuesto de seis unidades octetos de distribución. Una unidad puede ser un arreglo no utilizado o bien, múltiples unidades pueden ser usadas para crear celdas ATM o fragmentos de longitud variable. Algunas de las celdas ATM pueden transportar mensajes ATM como elementos de información. Todos los mensajes MAC están conformados dentro de celdas ATM con ciertos valores de encabezado. Esta jerarquía es ilustrada en la Figura 3.17.

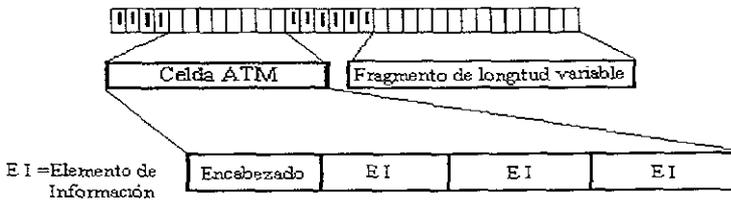


Figura 3.17 Flujo downstream en la capa MAC

Jerarquía Upstream

El canal *upstream* es un medio de acceso múltiple. Para cada canal *upstream* en la red, existe un grupo de estaciones que comparten el ancho de banda asignado. Cada canal *upstream* es dividido en el tiempo en series de minirranuras. Una minirranura tiene la capacidad de tiempo para la transmisión de ocho octetos de datos más el encabezado de la capa física y el tiempo de guarda. Una PDU (*protocol data unit*) que solamente ocupa una mini ranura es denominada *minipdu*. Las *minipdu*'s son utilizadas principalmente para la concatenación de oportunidades de petición de ancho de banda.

Múltiples mini ranuras pueden ser concatenadas dentro de un canal *upstream* para crear PDU largas tales como celdas ATM de longitud variable. Debido a la variación en la cantidad de encabezado y tiempo de guarda requerido por diferentes capas físicas, el número de mini ranuras requerido para transmitir una celda ATM varía desde una capa física *upstream* a otra. Existe un requerimiento de que un número integral de mini ranuras puede ser utilizado para transmitir una celda ATM. La asignación de mini ranuras parciales está prohibida. Algunas celdas ATM son utilizadas para transportar mensajes MAC desde una estación al Controlador de Cabeza Terminal (*headend controller*) como elementos de información.

Las PDU's son utilizadas para transferir datos entre la estación y el controlador de Cabeza Terminal. Cada PDU comienza con un octeto como prefijo, el cual es utilizado para indicar el tipo de PDU y, continúa con el cuerpo de la PDU. El octeto tipo PDU para la transmisión de ráfagas *upstream* se muestra en la Figura 3.18.

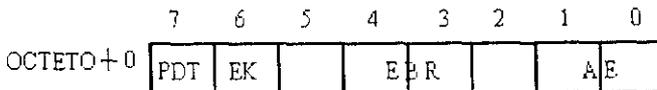


Figura 3.18 Octeto para la transmisión de ráfagas upstream

PDU de una celda ATM upstream (APDU) La estructura de una celda ATM que es transportada por la red 802.14 es ilustrada en la Figura 3.19. El formato de celda NNI es el único tipo de celda transportada por la red, ya que el campo GFC no está presente. En la dirección *upstream* todas las APDUs son direccionadas al controlador de Cabeza Terminal.

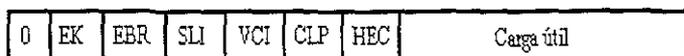


Figura 3.19 PDU de una celda ATM upstream

Campo	Utilización	Tamaño
PDT	Tipo de PDU (0=ATM)	1 bit
EK	Identificador par/impar de la clave de criptografía	1 bit
EBR	Campo de petición de ancho de banda	4 bits
SLI	ID local de la estación fuente	14 bits
VCI	Identificador del circuito virtual	16 bits
PT	Indicador de tipo de carga útil	3 bits
CLP	Prioridad de pérdida de celdas	1 bit
HEC	Verificación de error de encabezado	8 bits
Carga útil	Campo de carga útil ATM	48 octetos

Tabla 3.3 Campos de la PDU de una celda ATM upstream

PDU de Fragmento de Paquetes de Longitud Variable (VLPDU) La fragmentación de longitud variable permite un transporte más eficiente de tráfico LLC¹⁷. La fragmentación de longitud variable es opcional tanto para los usuarios del módem de cable como para los Controladores de la Cabeza Terminal y pueden operar sin ésta facilidad. El tamaño máximo de un fragmento *upstream* es determinado por la capa física. Véase Figura 3.20.

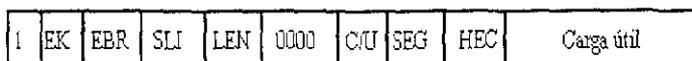


Figura 3.20 PDU de Fragmento de Paquetes de Longitud variable

¹⁷ LLC, Control de Enlace Lógico, es la parte superior de la capa de Enlace para redes LAN basadas en la serie de especificaciones IEEE 802. Esta subcapa tiene una interfaz con la capa MAC, la cual reside debajo de ésta en la capa 2 del modelo OSI. La capa MAC tiene su interfaz con la capa 1, la capa Física. La subcapa LLC acepta el tráfico de usuario proveniente de la capa 3 del modelo OSI.

Campo	Utilización	Tamaño
PDT	PDU Tipo=1, Fragmento de longitud variable	1 bit
EK	Identificador par/impar de la clave criptográfica	1 bit
EBR	Campo de petición de ancho de banda	4 bits
SLI	Identificador local de la estación fuente	14 bits
LEN	Longitud del fragmento	12 bits
Reservado	Relleno con ceros	5 bits
C/U	Identificador de control/usuario	1 bit
SEG	Control de Segmentación	2 bits
HEC	Revisión de errores en el Encabezado	8 bits
Carga útil	Carga útil del fragmento	ctetos LEN

Tabla 3.4 Campos de la PDU de Fragmentos de Paquetes de Longitud Variable

Direccionamiento de la estación

Existen dos alternativas de mecanismos de direccionamiento de la estación. Dirección MAC e ID local(LI)

Dirección MAC Cada estación tiene una dirección MAC de 48 bits administrada por el estándar IEEE 802.14. Esta dirección única identifica a cada estación.

ID local(LI). La dirección MAC no es normalmente utilizada por el protocolo IEEE 802.14. En su lugar, uno o más identificadores locales(LI) de 14 bits son asignados a la estación por el Controlador de Cabeza Terminal. El primer identificador asignado a la estación es denominado el identificador primario y está sujeto a la dirección MAC de la estación. El LI primario es utilizado para la MAC, seguridad y el control de la capa física así como para la transferencia de datos.

Los identificadores locales también son usados para identificar grupos de difusión y multidifusión. La sintaxis de un LI no difiere cuando se utiliza como el identificador de una estación simple o cuando se utiliza como el identificador de multidifusión, por lo tanto, todos los *identificadores de estaciones simple, identificadores de multidifusión e identificadores de difusión* son asignados por el Controlador de Cabeza Terminal con el mismo espacio de 14 bits.

Los identificadores locales tienen un significado fuerte dentro de una red simple 802.14 y pueden no ser utilizados por entidades externas a la red local 802.14 para direccionar entidades dentro de la red local 802.14.

Identificadores Locales de Multi difusión. La multidifusión dentro de la red está basada lógicamente en una dirección MAC de 48 bits y físicamente en un LI de 14 bits. Cuando un grupo de multidifusión está formado, ya sea por una estación o por el controlador de Cabeza Terminal, el Controlador de Cabeza Terminal asigna un identificador local al grupo de multi difusión y asocia a éste internamente con una dirección MAC de multidifusión de 48 bits. Como las estaciones son adicionadas, por una dirección MAC de 48 bits, al grupo de multidifusión, el Controlador de Cabeza Terminal debe enviar a cada estación nueva un mensaje para adicionar el LI al grupo de multidifusión a su lista para reconocer los identificadores locales. Si el grupo de multidifusión es encriptado, entonces el Controlador de Cabeza Terminal debe además informar a la nueva estación de las claves que son pertinentes al grupo de multidifusión. Estos mensajes son enviados en celdas unidifusión directamente al LI primario de la nueva estación.

Cuando una estación es removida del grupo de multidifusión, otra vez por una dirección MAC de 48 bits, el Controlador de Cabeza Terminal envía a la estación un mensaje donde le

notifica a ésta que no será reconocida más por el grupo de multidifusión. Si el grupo de multidifusión continua con la operación, entonces el Controlador de Cabeza Terminal asigna nuevas claves criptográficas al grupo cuando algunas estaciones han sido removidas. El mensaje utilizado para remover un identificador local de grupo es una difusión a los primarios de las estaciones. Cualquier distribución de claves criptográficas que ocurra después de remover estaciones de un grupo de multidifusión es unidifusión a cada estación, permaneciendo en el grupo multidifusión.

Elementos comunes de mensajes downstream y upstream

Los mensajes MAC *upstream* y *downstream* contienen el concepto de un *elemento de información*. Los elementos de información son transportados en la carga útil de las celdas ATM. El formato general de los elementos de información es el mostrado en la Figura 3.21.

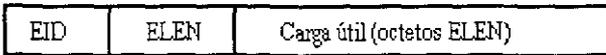


Figura 3.21 Elemento de información

Este formato está constituido de tal forma que los elementos no reconocidos puedan ser omitidos cuando un elemento dependiente de la implementación no sea entendido por la estación receptora. Cada elemento de información tiene un campo ID (EID) el cual identifica el propósito del elemento. El significado de un valor particular del EID varía entre los mensajes *upstream* y *downstream* y entre circuitos virtuales. La longitud de este campo es de 8 bits. El campo de Longitud del Elemento (ELEN) contiene la longitud del área de carga útil en octetos. La longitud de este campo es de 8 bits.

Operación downstream

Quando no hay datos para transmitir, La Cabeza Terminal continuamente envía segmentos IDLE. Un segmento IDLE es un fragmento de longitud variable con una dirección destino de 0x0000 (NULL) y un campo LEN de 0x000 (sin carga útil). El campo SEG es 0x3 que corresponde a la trama completa. C/U es 1, lo que indica el control de trama. Los bits restantes tiene un valor de cero excepto el campo HEC. El HEC es calculado de una forma normal.

Sincronización a los datos downstream Cuando una estación comienza a recibir el flujo de datos *downstream* debe primero adquirir la sincronización con los encabezados de la PDU. El método recomendado de acuerdo a IEEE 802.14 es comenzar buscando los valores del HEC congruentes con los 4 bytes previos. Cuando se han encontrado 2 de los valores, la distancia entre ellos será congruente con la longitud de la primera PDU (53 bytes si se tiene una celda ATM, LEN + 6 bytes si se trata de un fragmento de longitud variable). Si la distancia no es congruente, el primero debe ser desechado y se debe buscar un segundo encabezado. Una vez que se han encontrado los dos encabezados, separados por la distancia apropiada, el búsqueda debe continuar de la misma forma para encabezados adicionales. La detección de tres encabezados congruentes puede ser considerada como una alineación en la sincronización.

Tanto como la recepción continúe, la solidez del flujo *downstream* es revisada. La falla en dos revisiones de solidez en un sólo renglon constituye una pérdida de alineación de la sincronización, por lo que la estación debe comenzar de nuevo la adquisición de sincronización.

Celdas de invitación. Una celda de invitación es direccionada a una dirección multidifusión. Este elemento invita a las estaciones no registradas a intentar su registro en un tiempo específico. Los valores de encabezado de una celda de invitación son para la celda de administración de la capa MAC

Celdas de Administración del Ancho de Banda Downstream. Los mensajes de administración de ancho de banda son transportados dentro de celdas ATM. Cada celda ATM puede transportar un número entero de elementos de información. No está permitido que los elementos de información crucen las fronteras de la celda. Las celdas de administración pueden ser direccionadas a una dirección de estación grupal / global o a una estación particular. Los tipos de elementos de información que pueden estar contenidas dentro de las celdas de administración de ancho de banda son concesiones de distribución, distribución de minirutas de petición y retroalimentación de peticiones

Cada celda de administración de ancho de banda comienza con un octeto que especifica el número de elementos de información contenidos dentro de la celda. El octeto es seguido por los elementos de información. Cada elemento de información comienza con un octeto que especifica el tipo de elemento de información. Los elementos de información de ancho de banda siguen el mismo formato general que los elementos de administración upstream.

3.5.3 DOCSIS

- Todos los parámetros del transmisor son configurados por el CMTS via el administrador MAC, entre estos parámetros se encuentran esquema de modulación, codificación FEC, tasa de símbolos, frecuencias, nivel de potencia del transmisor. Los paquetes IP de longitud variable son encapsulados eficientemente con una resolución de mini trama
- El formato de la trama upstream y downstream es el mismo
- El direccionamiento es individual, soportando difusión y multidifusión.
- Gran eficiencia en el ancho de banda mediante el soporte de paquetes de longitud variable
 - Soporta PDUs de longitud variable basados en el estándar IEEE 802.3
- El encabezado MAC estándar tiene una longitud de 6 octetos. El encabezado extendido es opcional con una longitud de 240 octetos

Formato de trama MAC DOCSIS

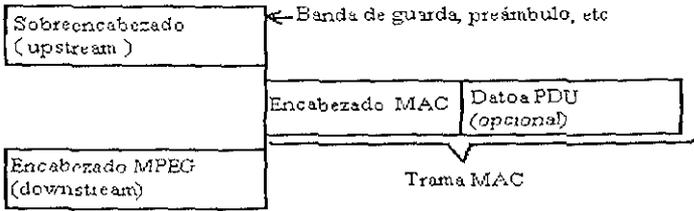


Figura 3.22 Formato de una trama MAC del estándar DOCSIS

Tipos de encabezados MAC

- Encabezado MAC de paquete PDU
 - Antecede todos los datos de longitud variable(VL)
 - Paquete PDU basado en *Ethernet* 802.3
- Encabezado MAC de celdas ATM
 - Precede los datos de las celdas ATM(para un uso futuro)
- Encabezados específicos MAC
 - Utilizados para la división del tiempo *downstream*, ajuste de potencia *upstream*, petición de ancho de banda, y para tramas MAC múltiples de fragmentación y concatenación

Encabezados específicos MAC

- Encabezado para la división del tiempo
 - Precede algunos Mensajes de Administración MAC sensitivos al tiempo (SYNC, RNG-REQ)
- Encabezado de Administración MAC
 - Precede a los restantes mensajes de Administración MAC
- Encabezado de Petición (en la dirección *upstream* solamente)
 - Utilizado solamente para petición de ancho de banda, encabezado que sigue a paquetes que no sean PDUs
- Encabezado de Fragmentación (en la dirección *upstream* solamente)
 - Utilizado para fragmentar una PDU larga en múltiples piezas.
- Encabezado de Concatenación (en la dirección *upstream* solamente)
 - Utilizado para concatenar múltiples tramas MAC

Direccionamiento MAC

- Utiliza direcciones MAC de 48 bits basadas en el estándar IEEE 802
- Cada módem de cable tiene una única dirección MAC, utilizada para los mensajes de unidifusión entre el módem de cable y el CMTS

Estándar IEEE 802.3

Una estación que desee transmitir escuchará el medio y actuará de acuerdo a las siguientes reglas.

- 1 La estación transmite si el medio está libre, si no se aplica la regla 2
- 2 Si el medio se encuentra ocupado, la estación continúa escuchando hasta que se encuentra libre el canal, en cuyo caso transmite inmediatamente
- 3 Si se detecta una colisión durante la transmisión, las estaciones transmiten una señal corta de alerta para asegurarse de que todas las estaciones constatan la colisión y cesan de transmitir.
- 4 Después de transmitir la señal de alerta se espera un intervalo de tiempo de duración aleatoria, tras el cual se intenta transmitir de nuevo (volviendo al paso 1)

Para mantener la estabilidad del sistema, la cantidad de retardo en el paso 4 se obtiene mediante la técnica denominada espera exponencial binaria. En esta técnica, la estación intentará transmitir por cada vez que colisione, si bien, tras cada colisión el valor medio del tiempo de espera se hace doble. Tras 16 intentos fructuosos, la estación cejará en su intento e informará sobre el error acontecido. De esta manera, cuando se incrementa la congestión en el sistema, las estaciones tendrán que esperar más, para así reducir la probabilidad de colisión.

Trama MAC IEEE 802.3

La Figura 3.23 muestra el formato de la trama del protocolo 802.3

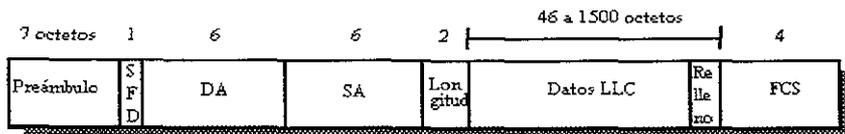


Figura 3.23 formato de la trama del protocolo IEEE 802.3.

Ésta consta de los siguientes campos:

- **Preámbulo:** el receptor usa un octeto patrón de 7 bits y unos alternados para establecer la sincronización entre el emisor y el receptor
- **Delimitador del comienzo de la trama:** consiste en la secuencia de bits 10101011, e indica el comienzo real de la trama y posibilita al receptor localizar el primer bit del resto de la trama
- **Dirección de destino:** especifica la estación o estaciones a las que va dirigida la trama. Esta estación puede ser única dirección física, una dirección de grupo o una dirección global

Mensajes de Administración MAC

- *Time Synchronization (SYNC)*
 - Transmitido por el CMTS a intervalos periódicos para establecer la división de tiempo MAC
- *Descriptor del canal upstream (UCD)*
 - Transmitido por el CMTS a intervalos periódicos para definir las características del canal upstream
- *Mapa de asignación del ancho de banda upstream (MAP)*
 - Transmitido por el CMTS a intervalos periódicos para definir la asignación de ancho de banda upstream
- *Ranging Request (RNG-REQ)*
 - Enviado por el módem de cable en la inicialización y periódicamente en las peticiones al CMTS
- *Ranging Response (RNG-RSP)*
 - Transmitido por el CMTS en respuesta a un RNG-REQ
- *Registration Request (REG-REQ)*
 - Transmitido por el módem de cable en la inicialización
- *Registration Response (REG-RSP)*
 - Transmitido por el CMTS en respuesta a un REG-REQ
- *Registration Acknowledge (REG-ACK)*
 - Transmitido por el módem de cable en respuesta a un REG-RSP
- *Upstream Channel Change Request (UCC-REQ)*
 - Transmitido por el CMTS para que el módem de cable cambie su canal upstream
- *Upstream Channel change Response (UCC-RSP)*
 - Debe ser transmitido por el módem de cable en respuesta a un UCC-REQ
- *Upstream Transmitter Disable (UP-DIS)*
 - Enviado por el CMTS para deshabilitar el transmisor upstream del módem de cable

3.5.4 DVB/DAVIC

En la capa MAC del estándar DVB/DAVIC se proporcionan cuatro modos de acceso.

- **El primer modo (acceso por contienda)**, está basado en mecanismos de acceso por contienda, los cuales permiten al usuario enviar información en cualquier tiempo con el riesgo de experimentar colisiones
- **El segundo y tercer modos (Tasa de transmisión fija y Acceso con Reservación)** no están basados en la contienda, sino que la INA o proporciona una cantidad predefinida de ranuras de tiempo a una NIU específica, o una tasa de transmisión pedida por una NIU hasta que la INA termine la conexión sobre la demanda de la NIU.

Estos modos de acceso son dinámicamente compartidos entre ranuras de tiempo, lo cual permite a las NIUs conocer cuando una transmisión basada en la contienda está o no está permitida. Esto se hace con el fin de evitar una colisión para los dos modos de acceso no basados en la contienda

- **El cuarto modo (Acceso por ranuras alineadas)**, en el cual las ranuras son utilizadas para medir y ajustar el retardo de tiempo y la potencia

Para la conexión a Internet, el DVB-RC debe encapsular cada datagrama en la capa AAL-5 de ATM y sufrir la penalidad de encabezado por Segmentación y Reensamblado (SAR) El paquete *upstream* IP más común, constituido de 64 octetos, requiere 2 celdas ATM con 30% de pérdidas en eficiencia ($64/128 = 50\%$ versus $64/80=80\%$)

3.5.5 EURODOCSIS

El protocolo control de Acceso al Medio (MAC) utilizado en el estándar EuroDOCSIS debe ser completamente compatible con el estándar DOCSIS Las características principales de la capa MAC del estándar EuroDOCSIS son las siguientes

- Mecanismos de acceso muy flexibles para soportar eficientemente todos los escenarios de tráfico, acceso de transmisión fija para el establecimiento de una conexión tipo ISDN, acceso por contención para aplicaciones de baja tasa de transmisión y correo electrónico, modo de miniranuras para aplicaciones WWW
- Soporte de Calidad de Servicio (QoS) dinámica
- Soporte flexible de varias terminales de usuario (por ejemplo, módem de cable, *set-top box*) incorporando el modo *in-band* y *out-of-band* en un solo sistema de Cabeza Terminal.
- Interfaz de control de alto nivel para proporcionar a las capas superiores servicios manejables fácilmente a aplicaciones individuales
- Esta interfaz de aplicación estandarizada asegura la transparencia de las capas inferiores para diferentes proveedores de servicio
- Mejoría en el desempeño utilizando supresión de encabezado (por ejemplo, la compresión del encabezado del protocolo VoIP incrementa la eficiencia)
- Utiliza optimizados componentes MAC para el manejo de servicios en tiempo real tales como telefonía, VoIP y video conferencia

Comparación de desempeño upstream y downstream¹⁸

Los parámetros considerados en la comparación de eficiencia *upstream* y *downstream* y datos volumétricos son presentados en Tabla 3.5 y Tabla 3.6

Parámetro	DOCSIS[bits]	DVB/DAVIC[bits]	IEEE [bits]
Longitud de Trama	128	512	48
Longitud de Preámbulo	16	---	16
Longitud de Palabra código	288	---	288
Paridad FEC	48	48	48
Longitud de Banda de guarda	8	8	8

Tabla 3.5 Parámetros para el canal upstream

Parámetro	DOCSIS[bits]	DVB/DAVIC[bits]	IEEE[bits]
Paridad RS	42	128	128
Block RS	976	1632	1632

Tabla 3.6 Parámetros para el canal downstream

La comparación del volumen de datos transferidos en los canales *upstream* y *downstream* por un usuario que ejecuta la petición de transmisión de datos utilizando los protocolos DVB/DAVIC, DOCSIS y IEEE 802.14 son mostrados en las Figuras 3.24 y 3.25, respectivamente. Las Figuras 3.26 y 3.27 muestran las eficiencias de los canales *upstream* y *downstream* para los mismos protocolos, respectivamente.

En las Figuras 3.24 y 3.25, las curvas lineales representan el valor de la salida esperada para cada mensaje de usuario asumiendo que no se presenta encabezado del protocolo. De esta forma, la longitud de un mensaje de usuario de 1500 octetos crea un volumen de salida de 1500 octetos.

Para los volúmenes de datos *upstream*, Figura 3.24, la forma escalonada de la curva del protocolo IEEE se debe a la encapsulación de celdas APDU¹⁹ en palabras código (de 36 octetos), las cuales son transmitidas como mini-ranuras continuas de longitud 6 octetos. Por consiguiente, un mensaje de usuario de longitud 1500 octetos causa que el canal *upstream* soporte (350 mini-tramas de 6 octetos cada una) 2096 octetos, lo cual resulta en 71.6% de eficiencia *upstream* y, el equivalente DVB es (32 ranuras de trama) 2048 octetos, lo que representa 73.2% de eficiencia, mientras que el volumen de salida de DOCSIS es (115 mini-ranuras) 1840 octetos, lo que representa una eficiencia de 81.5%. La curva del protocolo DOCSIS, en la misma figura, se debe a la encapsulación de tramas MAC en palabras código, las cuales son transmitidas como series continuas de mini-ranuras.

La curva escalonada del protocolo DVB se debe a la aproximación AAL5, produciendo celdas ATM, las cuales son encapsuladas y transmitidas a través del canal *upstream* como ranuras de trama de longitud 64 octetos.

Para el volumen de datos *downstream*, Figura 3.25, los datos de usuario (para los tres protocolos) son encapsulados y transmitidos utilizando una estructura de trama MPEG2-TS. El escalonamiento es causado por la longitud fija de la trama MPEG igual a 188 octetos. El volumen de salida IB²⁰

¹⁸ A COMPARISON OF THE DVB/DAVIC, DOCSIS AND IEEE 802.14 CABLE MODEM SPECIFICATIONS V Rangel, C. Smythe, P. Tzeferos, S. Cvetkovic and S. Landeros. The University of Sheffield

¹⁹ representa las siglas de ATM PDU

²⁰ IB In band

downstream para el protocolo DVB/DAVIC, es más grande que el producido por los protocolos IEEE y DOCSIS, debido a la considerable información de control MAC MPEG2 y al campo de paridad RS, el cual es adicionado a cada trama MPEG2 en la capa física. Para el mismo mensaje de usuario (1500 octetos), el volumen IB *downstream* DVB/DAVIC es (13 bloques codificados RS de 204 octetos) 2652 octetos, lo cual resulta en una eficiencia *downstream* de 56.6%, Figura 3.26, el equivalente IEEE es (10 bloques codificados RS de 204 octetos) 2040 octetos, lo que significa una eficiencia de 73.5%, mientras que el volumen DOCSIS es (14 bloques codificados RS de 128 octetos) 1792 octetos, lo que se traduce en una eficiencia de 83.7%.

La Figura 3.25 muestra que la eficiencia *upstream* para el protocolo DOCSIS es mayor que la equivalente para los otros dos protocolos. Esto es de esperarse, ya que tanto el protocolo DVB/DAVIC como el IEEE deben encapsular cada datagrama simple en celdas ATM (AAL5) y sufrir la desventaja de encabezado por Segmentación y Reensamblado (SAR). En la Figura 3.26, la eficiencia *downstream* para el protocolo DOCSIS es también mejor que para los otros dos protocolos restantes, DVB/DAVIC e IEEE. En este caso, el protocolo DVB presenta la eficiencia más baja, debido a la gran cantidad de información de control MAC (de longitud 60 octetos) contenida en cada trama MPEG2 en la capa física, donde solamente 120 octetos corresponden al mensaje MAC. La información de control MAC está formada de banderas MAC y control de banderas MAC, la cual contiene la configuración de ranuras para sus 8 canales *upstream* relacionados.

En la comparación anterior, se debe notar que el campo FEC(paridad RS) y la longitud de palabras código han sido seleccionados para minimizar el encabezado del protocolo. En una operación del sistema estos valores reflejarán la relación señal a ruido de la planta de CATV, de esta manera la eficiencia del volumen refleja el ambiente ruidoso.

Aunque el objetivo primario de los protocolos DVB, DOCSIS e IEEE es similar, existen muchas diferencias fundamentales en la forma en que cada uno de ellos desea realizar este objetivo. En esencia, esto es reflejado en el intento del IEEE de producir una solución abierta que sea capaz de operar a través de todo el mundo e interoperar con redes privadas. En contraste, la solución DOCSIS está enfocada en Estados Unidos, mientras que la solución de DVB está enfocada en Europa.

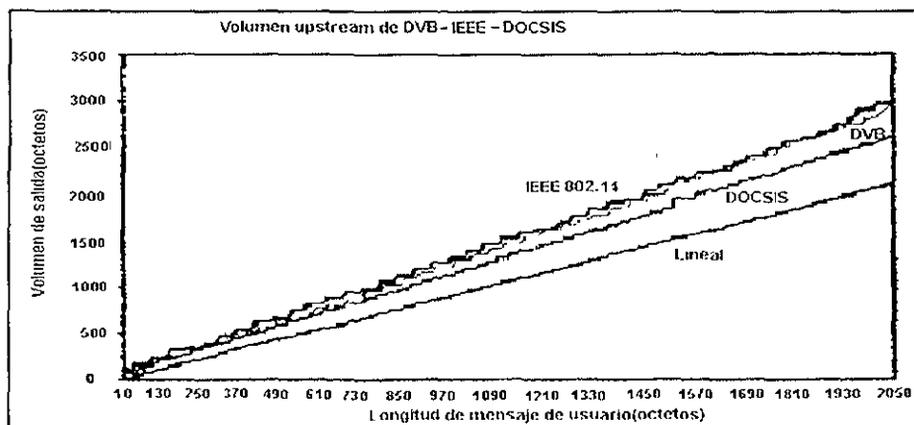


Figura 3.24 Comparación volumétrica upstream

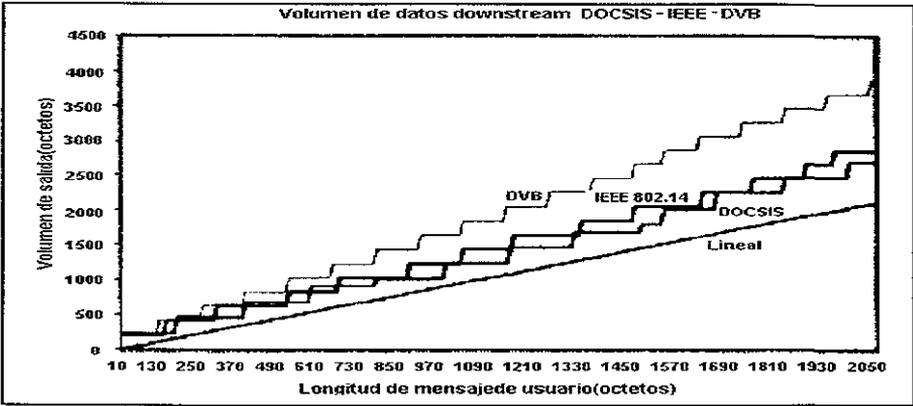


Figura 3.25 Comparación volumétrica downstream

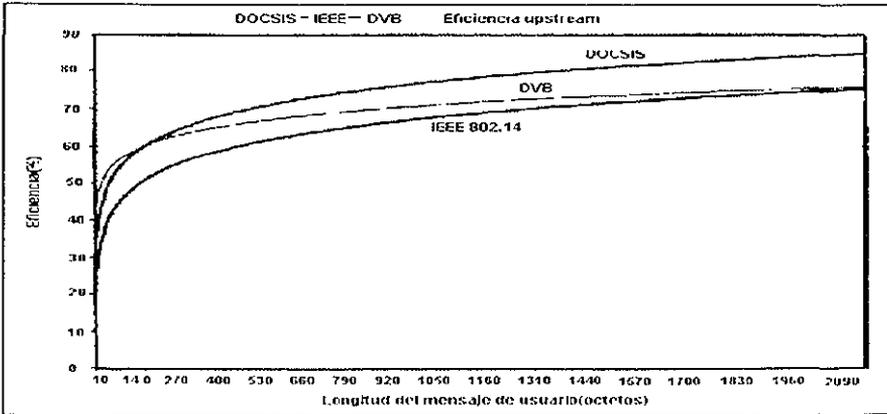


Figura 3.26 Comparación de eficiencia upstream

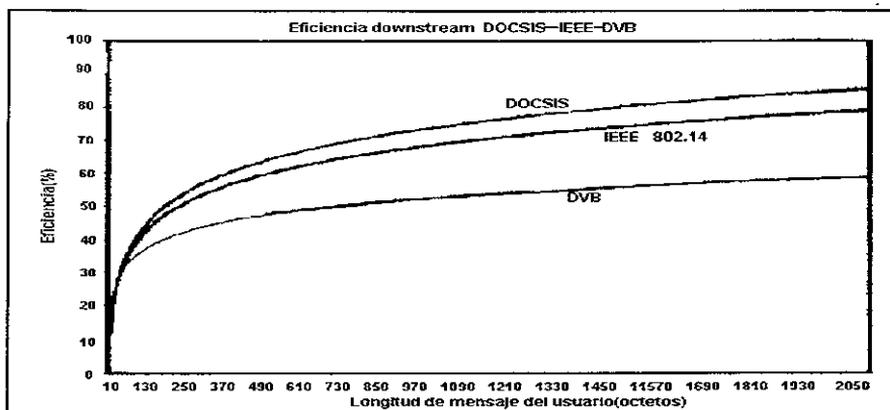


Figura 3.27 Comparación de eficiencia downstream

APDU

La estructura de una celda ATM transportada por la red 802 14 se ilustra en la Figura 3.28, y en la Tabla 3.7 se da una explicación de los campos que conforman la celda ATM. El formato de la celda NNI es solamente el tipo de celda transportada por la red, ya que el campo GFC no está presente. En la dirección *upstream* todas las APDU's son direccionadas al Controlador de la Cabeza Terminal.



Figura 3.28 Estructura de una celda ATM

Campo	Utilización	Tamaño
PDT	Tipo PDU(0 = ATM)	1 bit
EK	Identificador de llave de encriptación par/impar	1bit
EBR	Campo de petición para extensión de ancho de banda	4 bits
SLI	Identificador de Estación origen local	14 bits
VCI	Identificador de circuito virtual	16 bits
PT	Indicador de tipo de carga	3 bits
CLP	Prioridad de pérdida de celdas	1 bit
HEC	Header error check	8 bits
Carga	Campo de carag ATM	48 octetos

Tabla 3.7 Campos de la estructura de una celda ATM.

3.6 Seguridad y Privacidad

Debido a que las redes de cable utilizan un medio de transmisión compartido para conectar a los usuarios, la red por sí misma no puede distinguir hacia donde se envían todas las transmisiones *downstream* (todas las transmisiones *downstream* son difundidas a todos los dispositivos terminales) o de donde vienen las transmisiones *upstream* (todas las transmisiones *upstream* se transmiten sobre una misma ruta). Esta situación abre la posibilidad a problemas como por ejemplo un usuario puede ser capaz de recibir transmisiones que estén destinadas a otro usuario. Sin un método que pueda controlar esta situación, los operadores de cable tiene que enfrentar algunos problemas en la distribución de servicios de comunicación, principalmente: robo del servicio, donde usuarios maliciosos obtiene ilícitamente el acceso a los servicios, y la incapacidad de proporcionar privacidad, donde usuarios maliciosos escuchan comunicaciones privadas.

Los problemas de privacidad y seguridad son diferentes de los problemas de líneas telefónicas porque el servicio telefónico es proporcionado a través de líneas dedicadas las cuales conectan a cada uno de los suscriptores con la oficina central telefónica. El escuchar una conversación privada sobre una línea telefónica no puede ser realizado de una forma sencilla, este proceso requiere del acceso físico a la línea telefónica. De la misma forma, el obtener el servicio ilícitamente es difícil debido a que las compañías telefónicas tienen el conocimiento de las líneas que van a cada una de las casas.

Otros sistemas de comunicaciones presentan situaciones de privacidad y seguridad que son similares a los problemas de las redes de cable. Las redes de área local *Ethernet* (en su forma original) conectan las computadoras a una red que tiene configuración de bus pasivo, por lo que cada nodo puede ver todo el tráfico de la red. La red *Ethernet* es algunas veces utilizada en situaciones donde el robo de servicio no afectan del todo debido a que la red es compartida entre varios usuarios (por ejemplo, las personas que trabajan en una oficina). Pero en situaciones donde el tráfico de la red de área local no es confidencial ni seguro, las computadoras pueden utilizar sistemas de seguridad que son específicamente diseñados para proporcionar autenticación y privacidad a través de técnicas de criptografía.

La tecnología de criptografía²¹ de sistemas ofrece mecanismos que están diseñados para resolver exactamente los problemas de seguridad y privacidad que se originan en las redes de cable. La técnica denominada "Criptografía de claves públicas" es particularmente utilizada para comunicaciones por cable ya que simplifica el problema del intercambio de claves (proporcionando un mecanismo para comunicar de una forma segura sin un intercambio avanzado de claves secretas) y porque puede ser utilizado para llevar a cabo la autenticación de una transmisión. En la práctica, la criptografía de claves públicas y la criptografía simétrica más tradicional pueden ser integradas en un solo sistema de criptografía híbrido para tomar la ventaja de la velocidad de la criptografía simétrica preservando las ventajas de los métodos de claves públicas. Estos sistemas pueden ser implementados en software. Una implementación de sistemas de criptografía híbridos es compleja y requiere atención a las vulnerabilidades del software en el sistema para no socavar la seguridad proporcionada por la criptografía.

Debe una arquitectura digital de cable incorporar criptografía a la necesidad de privacidad en la dirección y de seguridad? Una forma en que esto podría ser realizado es implementando la *seguridad en la capa de enlace*, incorporando criptografía en el sistema MAC de tal forma que la comunicación entre el equipo terminal de usuario y la Cabeza Terminal pueda ser privada y autenticada.

3.6.1 IEEE 802.14

Para proporcionar mejor seguridad sobre las redes LANs, el proyecto IEEE 802.14 ha desarrollado una Arquitectura de Seguridad. Esta arquitectura proporciona la encriptación en la capa 2 del modelo de referencia OSI, como un anexo al Control de enlace lógico (LLC), este además proporciona la

²¹ Ver APENDICE C

distribución de claves en la capa de Aplicación. El algoritmo de criptografía a ser utilizado no es especificado por el estándar 802.10, pero la localización dentro de la pila del protocolo y sus interfaces están bien definidas

Los estándares a ser desarrollados para el uso de los sistemas de TV por cable deberán ser consistentes con la Arquitectura de Seguridad. El uso de las características de seguridad propuestas en el estándar 802.10 serán opcionales para el usuario final y/o el proveedor de servicio, pero el uso de tales facilidades no debe ser excluidos por la estructura de los estándares de TV por cable

Otras características de seguridad no deben ser excluidas, por ejemplo, la autenticación para propósitos de encriptación/desencriptación y la formación de bloques para la transmisión desde cualquier usuario cuyas acciones sean juzgadas por el operador de la red como incompatibles con la operación correcta de la red

Estándar IEEE 802.10

El objetivo del estándar IEEE 802.10 es proporcionar una serie de normas que dirijan la seguridad en redes de área local y redes metropolitanas, que sean interoperables y compatibles con las arquitecturas OSI e IEEE 802 existentes. El IEEE 802.10 agrupa cuatro normas diferentes

- El estándar interoperable para seguridad en redes locales, conocido por las siglas en inglés SILS (IEEE 802.10a), que describe el modelo para proporcionar servicios de seguridad, y que documentan las relaciones entre los cuatro estándares. SILS es acrónimo de *Standard for Interoperable Local Network (LAN) Security*
- El estándar para el intercambio seguro de datos (IEEE 802.10b), que define el protocolo SDE (*Secure Data Exchange*²²) para redes locales y metropolitanas, de forma independiente de los otros dos estándares.
- El protocolo de gestión de claves
- El estándar para la gestión de la seguridad

Cabe destacar que el uso de uno cualquiera de los tres últimos estándares no obliga al uso de cualquiera de los otros dos, lo que permite implementaciones que se adapten al intercambio seguro de datos SILS, a la gestión de claves SILS o a la gestión de seguridad del sistema, de forma totalmente independiente

El estándar SILS se divide en 8 partes

- Parte A define el modelo
- Parte B es el Secure Data Exchange (SDE)
- Parte C es la Administración de Claves
- Parte D es la Administración de Seguridad
- Parte E es el SDE de Ethernet
- Parte F es la Administración de Subcapa
- Parte G es el SDE de las Etiquetas de Seguridad
- Parte H es la Sentencia de Acuerdo de Información del Protocolo

²² El SDE es un protocolo de nivel 2 del modelo de referencia OSI, que proporciona servicios que permiten el intercambio seguro de datos

3.6.2 DOCSIS

La seguridad del sistema DOCSIS se divide en las siguientes categorías:

- Seguridad de los servicios de transporte de datos (por ejemplo, acceso a Internet, telefonía de paquetes, videoconferencia y acceso remoto a redes empresariales), y
- Seguridad de los dispositivos CPE (*Customer Premises Equipment*, o computadoras personales), los cuales utilizan módem de cable para realizar el enlace a redes públicas de datos

La arquitectura del sistema DOCSIS incluye componentes de seguridad que aseguran la privacidad de los datos del usuario a través de la red de cable, medio de transmisión compartido, y previene el acceso no autorizado a los servicios de transporte de datos basado en DOCSIS a través de la red de cable. Cualquier dispositivo CPE enlazado a una red pública estará sujeto de amenazas de seguridad. Dado que el propósito de una red de acceso es proporcionar a los suscriptores el acceso de datos a redes públicas, la red de acceso no puede tomar toda la responsabilidad de protección del sistema del suscriptor de ataques originados en una red pública. Las redes de cable basadas en DOCSIS proporcionan, filtrado de tráfico, el cual reduce las amenazas contra ataques que pueden ser el blanco de características de sistemas operativos comunes a muchos de los dispositivos CPE.

No obstante de la red de acceso que utilice el usuario, cable, líneas telefónicas o DSL, los usuarios no pueden confiarse solamente de la red de acceso para proteger su sistema de un ataque. Los suscriptores a estos servicios debe, en todos casos, tomar precauciones para asegurar sus sistemas antes de acceder a la red pública.

En la siguiente sección de Seguridad de Servicios de Transporte de Datos se examinan las características de la arquitectura DOCSIS para asegurar los servicios de transporte de datos a través de la red de cable.

Seguridad de servicios de Transporte de Datos

La seguridad de transporte de datos DOCSIS proporciona a los usuarios de módem de cable con la privacidad de datos a través de la red de cable encriptando el flujo de tráfico entre el *módems de cable* y el Sistema de Terminación (ST) localizado en la Cabeza Terminal de la red de cable.

Además, la seguridad DOCSIS proporciona a los operadores de cable protección contra el robo del servicio. Los servicios de transporte de datos de la capa MAC DOCSIS protegidos caen en las siguientes tres categorías:

- Mejor desempeño, alta velocidad, servicios de datos IP,
- Servicios de datos con Calidad de Servicio (QoS) Premium, y
- Servicios IP de grupos *multicast*

El sistema DOCSIS previene el acceso no autorizado a estos servicios de transporte de datos mediante el CMTS ejecutando métodos de criptografía del flujo de tráfico asociado a través de red de cable, y empleando un protocolo de administración de claves autenticadas cliente/servidor dentro del cual el CMTS (servidor) controle la distribución de material de claves a los clientes (módems de cable).

La seguridad de transporte de datos DOCSIS tiene dos componentes de protocolo:

- Un protocolo de encapsulación para la criptografía de datos de paquete a través de la red de cable, y
- Un protocolo de administración de claves para proporcionar la distribución segura de material de claves desde el CMTS al *modem de cable*

El protocolo de encapsulación define:

- El formato de trama para transportar los datos de paquete encriptado dentro de tramas MAC DOCSIS,
- Un conjunto de métodos de criptografía de datos algoritmos de autenticación, y
- Reglas para aplicar los algoritmos de criptografía a los datos de paquete de la trama MAC DOCSIS

Actualmente el sistema DOCSIS emplea el Encadenamiento de Bloque Cifrados (CBC) modo americano El Data Encryption Estándar(DES) para la criptografía de un dato de paquete de trama MAC DOCSIS El protocolo puede soportar múltiples algoritmos de criptografía y, será extendido para soportar el nuevo *Advanced Encryption Estándar (AES)* una vez que éste se encuentre disponible

El *módem de cable* utiliza el protocolo de administración de claves para obtener la autorización y el material de criptografía del tráfico desde el CMTS, y para soportar reautorizaciones periódicas y renovación de claves Además incluye un esquema simple y de bajo costo llamado Privacidad de Línea Base (BPI).

El protocolo de administración de claves utiliza el certificado digital X.509, la criptografía de claves públicas RSA y un DES triple para asegurar el intercambio de claves entre el *módem de cable* y el CMTS

La seguridad del transporte de datos DOCSIS proporciona un nivel de privacidad de datos a través de la cable de red igual o, mejor que la que se proporciona a los servicios de acceso a redes mediante líneas dedicadas(por ejemplo, el servicio telefónico, ISDN o DSL) Se debe notar, sin embargo, que estos servicios de seguridad solamente se aplican a las redes de acceso Una vez que el tráfico avanza desde la red de acceso a la red dorsal Internet estará sujeto a las amenazas de privacidad comunes a todo el tráfico que existe a través de la Internet, no obstante de la forma en la cual llegue a la Internet Si un suscriptor quisiera que la seguridad de su información fuera más allá de la red de acceso, el usuario debe usar soluciones de seguridad de alto nivel: por ejemplo, tecnología VPN, para asegurar la privacidad de datos a través de redes públicas, o seguridad en la capa de aplicación(por ejemplo, PGP(*Privacy-Enhanced Mail*) para correo electrónico o bien SSL (*Secure Sockets Layer*) para transacciones basadas en la web).

Seguridad en los sistemas CPE

Los sistemas de acceso a la red basados en el estándar DOCSIS soportan el mismo rango de funciones (filtrado) disponibles en servidores de acceso remoto empleados por proveedores de servicio de red a través de líneas dedicadas tradicionales

La controversia dentro de estos sistemas, los cuales han atraído la atención, es el acceso no autorizado a los archivos de sistema utilizando los protocolos de compartición de archivos TCP/IP NetBIOS (NBT) y *System Message Block (SMB)* que se ejecutan sobre la mayoría de las variantes de Microsoft Windows (por ejemplo, Windows para Grupos de Trabajo, Windows 95, Windows 98 y Windows NT)

Los *hackers* necesitan conocer la dirección de Internet para modificar el sistema – si un *hacker* obtiene el nombre y la dirección de sistema *host*, él puede comenzar a enviar tráfico de red al *host* para espiarlo y obtener un acceso no autorizado Dependiendo de la configuración del sistema, el servicio de nombre puede emplear la difusión de mensajes, lo cual permite a los sistemas que se encuentran sobre la red LAN intercambiar nombres y direcciones de los servicios compartidos directamente a través de la LAN

Los *módems de cable* presentan a sus dispositivos CPE una interfaz LAN de alta velocidad Las computadoras personales con sistema operativo Windows pueden ejecutar el servicio de nombre de

difusión NBT a través de estas interfaces para compartir la información de nombre y dirección con las PCs enlazadas a la misma LAN de cable. Por lo tanto, si una PC enlazada tiene un archivo e impresora compartidos, sus servicios estarán anunciados a través de esta interfaz LAN, y otros dispositivos que se encuentren sobre esta LAN basada en cable puede determinar el nombre y direcciones de estos servicios de archivo e impresora compartidos.

Esta difusión del servicio de nombre NBT emplea el puerto UDP 137, y por lo tanto puede ser filtrado fácilmente. Sin embargo, no todos los sistemas propietarios soportan el filtrado del tráfico, si ellos lo hace, los proveedores de servicio prefieren no emplear éste por razones de desempeño.

Los servidores de acceso remoto utilizados en arquitecturas de acceso a redes mediante líneas dedicadas no reflejan la difusión recibida desde un cliente externo a otros cliente; por consiguiente, los nombres y direcciones de una PC con servicios compartidos no pueden ser intercambiados a través de la difusión del servicio de nombre de NBT. Esto explica porque los propietarios de los sistemas de módem de cable son más vulnerables a la distribución no intencional de las direcciones y nombres de servicio compartido que los sistemas de líneas dedicadas.

Una vez que un *hacker* determina el nombre y dirección de servicio compartido de Windows, entonces puede establecer una sesión punto a punto entre el *NetBIOS* y el servicio compartido.

Por lo tanto, con observar los servicios de archivos e impresoras compartidos de Windows, la principal diferencia entre los sistemas de *módem de cable* propietarios y los sistemas de líneas de suscriptor dedicadas, es soportar, dentro del ambiente de cable, la difusión del servicio de nombre del NBT. Este es direccionado por el proveedor del servicio de cable mediante

- La concientización a los usuarios sobre este asunto
- La advertencia a los usuarios para deshabilitar los archivos e impresoras compartidos, y
- Educando a los usuarios en la forma de deshabilitar la compartición.

Los sistemas de *módem de cable* basados en DOCSIS, así como las sistemas de líneas dedicadas, pueden vigilar la red filtrando eficientemente el puerto UDP sobre la cual las difusiones del servicio de nombre del NBT son enviadas.

Se debe notar que aún si las difusiones del servicio de nombre del NBT son inhibidos, un *hacker* puede utilizar otros métodos para determinar los nombres de los *host* y las direcciones para comenzar un ataque. Alguien puede tratar de acceder a los archivos compartidos si conoce las direcciones IP, no obstante del tipo de red de acceso. Los administradores de sistemas inteligentes recomiendan que cualquier sistema Windows directamente enlazado a una red pública debe desatar el *NetBIOS* desde TCP/IP, en consecuencia deshabilitando el archivo SMB de Windows y la impresora compartida sobre Internet.

Se debe notar que las redes de empresas típicamente tiene un *firewall* separándolas de la Internet, este *firewall* filtra todo el tráfico *NetBIOS* TCP/IP. De esta forma, los sistemas Windows dentro de la red de las empresas pueden utilizar Windows para red (SMB sobre NBT) para compartir los archivos internamente y de esta forma estar protegidos de ataques externos.

El Encadenamiento de Bloques Cifrados es una forma del DES que incrementa la fuerza de la criptografía utilizando un vector de inicialización enviado con una clave para actualizar el estado de su hardware de criptografía. Para cada bloque de ocho bytes encriptado, en lugar de borrar o reinicializar, el circuito retiene el resultado de bloques previos de criptografía. Este cambio de resultados de un bloque al inicio del próximo hace el proceso de criptografía más fuerte ya que un *hacker* necesitaría reconstruir la secuencia completa para romper el código en lugar de un solo bloque.

3.6.3 DVB/DAVIC

El estándar DVB/DAVIC incluye la criptografía como una opción

3.6.4 EURODOCSIS

El estándar EURODOCSIS proporciona hardware basado en la Interfaz Privacidad de Línea Base(BPI) utilizando encriptación DES de 56 bits, y la Interfaz de Privacidad de Línea Base Plus(BPI+), ambas soportando Certificados Digitales. Estos métodos de seguridad proporcionan seguridad buena y autenticación fuerte para la prevención de robo de servicio y contenidos de alto valor

Interfaz de Privacidad de Línea Base (BPI)

Esta interfaz direcciona algunos de las vulnerabilidades presentadas por la red de cable compartida. En particular, la BPI proporciona mecanismos que son defensas efectivas contra el espionaje de información. La BPI proporciona un sistema de Criptografía de Datos (DES) de 56 bits y una Criptografía con método de cifrado en bloque (CBC), junto con el intercambio de teclas basado en la encriptación RSA de 768 bits

Mientras el sistema de seguridad no sea superado, este nivel de encriptación proporciona una combinación ilimitada de formas de proteger los datos de las redes, y un método sofisticado para enviar claves de autorización a los usuarios. Estos mecanismos, los cuales están soportados por algunos fabricantes en la fabricación del CMTS y el *módem de cable*, proporcionan una protección sustancial contra el espionaje sobre la red de cable

Interfaz de Privacidad de Línea Base Plus (BPI+)

La Interfaz de Privacidad de Línea Base Plus proporciona a los usuarios privacidad de datos a través de la red de cable. Esto se realiza mediante métodos criptográficos aplicados al flujo de datos entre el *módem de cable* y el CMTS

Además, la Interfaz BPI+ proporciona a los operadores de cable fuerte protección contra el robo de servicio. Los servicios de comunicaciones de datos de la capa MAC caen en las siguientes tres categorías.

- Servicios de alta velocidad, servicios de datos IP
- Servicios de datos con QoS (por ejemplo, tasa de bits constante), y
- Servicios multicast IP
- Bajo el protocolo BPI+, el CMTS protege contra acceso no autorizado a estos servicios de transporte de datos mediante la criptografía del flujo de tráfico asociado a la red de cable. La Interfaz BPI+ emplea un protocolo de administración de claves autenticado del tipo cliente/servidor en el cual, el servidor controla la distribución de material de claves al módem de cable del cliente.

La especificación BPI original tiene la protección de servicio débil ya que el protocolo fundamental de administración de claves no autentifica el *módem de cable*. La especificación BPI+ hace énfasis en esta protección de servicio adicionando certificados digitales basados en la autenticación del *módem de cable* a su protocolo de administración de claves

Arquitectura

La especificación *Baseline Privacy Plus* tiene dos protocolos como componentes

- Un protocolo de encapsulación para encriptar los paquetes de datos a través de la red de cable. Este protocolo define:
 - El formato de la trama para transportar los datos del paquete encriptado dentro de la trama MAC DOCSIS
 - Un conjunto de especificaciones soportadas por suites criptográficas, por ejemplo: encriptación de datos y algoritmos de autenticación, y
 - Las reglas que se aplican a algoritmos de los datos de un paquete de la trama MAC DOCSIS
- Un protocolo de administración de claves (Administrador de claves *Baseline Privacy*, BPKM) que proporcione una distribución segura de datos claves desde el CMTS al *módem de cable*. A través de este protocolo de administración de claves, el *módem de cable* y el CMTS sincronizan los datos clave, además, el CMTS utiliza el protocolo para forzar el acceso condicional a los servicios de red

Encriptación de los datos de paquete

Los servicios de encriptación de la especificación BPI+ son definidos como un conjunto de servicios extendidos dentro de la subcapa MAC DOCSIS. La información del Encabezado de Paquete especifica que la BPI+ es colocada en un elemento del Encabezado Extendido de la *Baseline Privacy* dentro del Encabezado Extendido de la MAC.

La BPI+ soporta un algoritmo de encriptación de datos de paquete simple: el modo *Cipher Block Chaining* (CBC) del algoritmo DES.

La BPI+ encripta los datos de paquete de la trama MAC DOCSIS, el encabezado de la trama MAC DOCSIS no es encriptado. Los mensajes de administración de la subcapa MAC DOCSIS deben enviarse lo más claros posible para facilitar el registro y la operación normal de la subcapa.

Protocolo de Administración de Claves

El *módem de cable* utiliza el protocolo de Administración de Claves *Baseline Privacy* para obtener la autorización y el material de claves de tráfico desde el CMTS, y para soportar periódicas reautorizaciones y actualización de claves. El protocolo de Administración de claves utiliza certificados digitales X.509 (algoritmo público de criptografía de claves) y dos algoritmos DES triples para asegurar el intercambio de claves entre el *módem de cable* y el CMTS.

El protocolo de Administración de claves *Baseline Privacy* se asemeja a un modelo cliente/servidor, donde el *módem de cable*, un "cliente" BPKM, pide material de clave, y el CMTS, un servidor "BPKM", responde a esta petición, asegurando que los clientes individuales de los *módems de cable* reciban solamente el material de claves a la que están autorizados. El protocolo BPKM utiliza los mensajes de administración de la subcapa MAC DOCSIS.

La BPI+ utiliza el método público de criptografía para establecer un secreto compartido (por ejemplo, la Clave de Autorización) entre el *módem de cable* y el CMTS. El secreto compartido es entonces utilizado para asegurar los subsecuentes intercambio de BPKM de claves de criptografía de tráfico. Estos dos mecanismos enfilados para la distribución de claves permite la actualización de claves de criptografía de tráfico sin incurrir en el sobre encabezado de operaciones de claves públicas.

Un CMTS autentifica un cliente de *módem de cable* durante el intercambio de autorización inicial. Cada *módem de cable* transporta un único certificado digital X 509 producido por el fabricante del *módem de cable*. El certificado digital contiene la Clave Pública del *módem de cable* además de otra información de identificación, por ejemplo, la dirección MAC DOCSIS, el ID del fabricante y el número de serie. Cuando se pide la clave de Autorización, un *módem de cable* presenta su certificado digital al CMTS. El CMTS verifica el certificado digital y entonces utiliza la Clave Pública verificada para encriptar una Clave de Autorización, la cual el CMTS envía de regreso a la petición del *módem de cable*.

El CMTS asocia la identidad autenticada del *módem de cable* a un suscriptor y a los servicios de datos a los cuales el suscriptor está autorizado. Por lo tanto, con el intercambio de Claves de Autorización, el CMTS establece una identidad autenticada de un *módem de cable* cliente, y los servicios (por ejemplo, claves de encriptación de tráfico específicas) a los cuales el *módem de cable* está autorizado a tener acceso.

Ya que el CMTS autentifica el *módem de cable*, éste puede protegerse contra la clonación de módems y claves. El uso del certificado X 509 previene la clonación de módems.

El *módem de cable* debe tener un par de claves pública/privada RSA o proporcionar un algoritmo interno para generar dinámicamente el par de claves. En el caso de que el *módem de cable* tiene un algoritmo interno para generar su par de claves RSA, éste debe generar el par de claves antes de su primera inicialización *Baseline Privacy*. Los *módems de cable* que utilizan el par de claves RSA deben tener instalado además el certificado X 509. Los *módems de cable* que utilizan algoritmos internos para generar su par de claves RSA deben agrupar mecanismos para la instalación de un certificado X.509 siguiendo la generación de claves.

Asociación de Seguridad BPI+

La Asociación de Seguridad BPI+ (SA) es un conjunto de información de seguridad que un CMTS y uno o más de sus clientes de *módem de cable* tienen, para soportar las comunicaciones de seguridad a través de la red de cable. La BPI+ define tres tipos de Asociación de seguridad:

- Primaria
- Estática
- Dinámica

Una Asociación de Seguridad Primaria es asociada a un solo *módem de cable* y es establecida cuando el *módem de cable* completa el registro MAC DOCSIS.

Las Asociaciones de Seguridad Estáticas son proporcionadas dentro del CMTS.

Las Asociaciones de Seguridad Dinámicas son establecidas y eliminadas al vuelo, en respuesta a la iniciación y terminación de flujos de tráfico específicos (*downstream* y *upstream*). Tanto las Asociaciones de Seguridad Estática como Dinámica pueden ser compartidas por múltiples *módems de cable*.

La información compartida de las Asociaciones de Seguridad incluye las claves de criptografía de tráfico y los vectores de inicialización del CBC. Los parámetros de la Asociación de Seguridad BPI+ incluyen un identificador suite criptográfico que indica a la pareja particular de encriptación de datos de paquetes y a los algoritmos de autenticación de datos de paquete empleados por la Asociación de Seguridad. Actualmente, las especificaciones DES de 56 bits y DES de 40 bits son los únicos algoritmos de autenticación de datos de paquete soportados.

La BPI+ identifica las Asociaciones de seguridad con un Identificador de Asociación de Seguridad de 14 bits (SAID)

Cada *módem de cable* establece una Asociación de Seguridad Primaria exclusiva con su CMTS. Todo el tráfico *upstream* del *módem de cable* debe ser encriptado bajo la Asociación de Seguridad Primaria exclusiva del *módem de cable*. El SAID correspondiente a la SA Primaria del *módem de cable* debe ser igual al ID de Servicios DOCSIS 1.1 Primario del *módem de cable*. Por otro lado, mientras que todo el tráfico *unidifusión downstream* direccionado a los dispositivos CPE, detrás del *módem de cable*, son encriptados bajo la Asociación de Seguridad Primaria exclusiva del *módem de cable*, el flujo de tráfico *unidifusión downstream* seleccionado puede ser encriptado bajo las SAs Estáticas o Dinámicas. El tráfico *downstream* puede ser encriptado bajo cualquiera de los tres tipos de SAs. Un paquete de datos *multidifusión IP downstream*, sin embargo, es típicamente utilizado para múltiples *módems de cable* y por consiguiente se prefiere para ser encriptado bajo SAs Estáticas o Dinámicas, a las cuales múltiples *módems de cable* pueden acceder, opuestamente a la SA Primaria, la cual está restringida a un solo *módem de cable*.

Utilizando el protocolo BPKM, un *módem de cable* pide a su correspondiente CMTS material de clave de la SA. El CMTS asegura que cada cliente de *módem de cable* tenga acceso a las Asociaciones de Seguridad a las que está autorizado a tener acceso.

EL SAID DE BPI+

El Elemento de Encabezado Extendido BPI+ en las tramas *downstream* de la subcapa MAC DOCSIS contienen el SAID BPI+ bajo el cual la trama *downstream* es encriptada. Si la trama *downstream* es un paquete *unidifusión* direccionado a un dispositivo CPE, la trama será típicamente encriptada bajo la SA Primaria del *módem de cable*, tal que el SAID será igual a la etiqueta SID Primario del *módem de cable*. Si la trama *downstream* es un paquete *multidifusión* intencional para recibir por múltiples *módems de cable*, el Elemento de Encabezado Extendido contendrá el SAID Estático y dinámico mapeado a este grupo *multidifusión*. El SAID (Primario, Estático o Dinámico), en combinación con otros campos de datos en el Elemento de Encabezado Extendido *Downstream*, identifica para un módem receptor el conjunto particular de material de claves requerido para desencriptar el campo de Datos de Paquete encriptado de la trama MAC DOCSIS.

Debido a que todo el tráfico *upstream* del MC es encriptado bajo su única SA Primaria, las tramas DOCSIS MAC *upstream*, a diferencia de las tramas DOCSIS MAC *downstream*, no necesitan transportar un SAID BPI+ en sus encabezados extendidos, en lugar del elemento EH *Baseline Privacy* contiene el SID QoS identificando el Flujo de Servicio *Upstream Activo* (DOCSIS 1) sobre el cual la trama DOCSIS MAC es transportada.

El Elemento de Encabezado Extendido *Baseline Privacy* sirve múltiples propósitos en las tramas MAC PDU del Paquete de Datos DOCSIS. Además, para identificar el particular material de claves utilizado para encriptar los datos del paquete de la Trama, éste proporciona además, un mecanismo para emitir peticiones de ancho de banda y puede transportar datos de control de fragmentación. Estas últimas dos funciones son unidas a un particular SID QoS, por esta razón, el elemento de Encabezado Extendido *Baseline Privacy* contiene un SID QoS más que un SAID Primario BPI+, el cual puede ser inferido desde el SID QoS.

3.7 Análisis de capas superiores

3.7.1 Capa de RED

La capa de red realiza la transferencia de información entre sistemas finales a través de algún tipo de red de comunicación. Libera a las capas superiores de la necesidad de tener conocimiento sobre la transmisión de datos subyacentes y las tecnologías de conmutación utilizadas para conectar a los sistemas. En esta capa, el computador establecerá un diálogo con la red para especificar la dirección destino y solicitar ciertas facilidades, como, por ejemplo, la gestión de prioridades.

Se utiliza el protocolo Internet (IP). Este protocolo es parte del conjunto de protocolos TCP/IP y es el protocolo de interconexión entre redes más utilizado. Como cualquier protocolo estándar, IP se especifica en dos partes:

- La interfaz con la capa superior (por ejemplo, TCP) especificando los servicios que proporciona IP.
- El formato real del protocolo y los mecanismos asociados.

Servicios IP

Los servicios que se van a proporcionar entre las capas de protocolos adyacentes (por ejemplo, entre IP y TCP) se expresan en términos de primitivas y parámetros. Una primitiva especifica la función que se va a ofrecer y los parámetros se utilizan para pasar datos e información de control. La forma real de una primitiva depende de la implementación.

IP proporciona dos primitivas de servicio en la interfaz con la siguiente capa superior. La primitiva *Send* (envío) se utiliza para solicitar la retransmisión de una unidad de datos. La primitiva *Deliver* (entrega) utiliza IP para notificar a un usuario la llegada de una unidad de datos. Los parámetros asociados con estas dos primitivas son los siguientes:

- **Dirección de origen:** dirección global de red de la entidad IP que envía la unidad de datos.
- **Dirección destino:** dirección global de red de la entidad IP de destino.
- **Protocolo:** entidad de protocolo recipiente (un usuario IP).
- **Indicadores del tipo de servicio:** utilizado para especificar el tratamiento de la unidad de datos en su transmisión a través de los componentes de las redes.
- **Identificador:** utilizado en combinación con las direcciones origen y destino y el protocolo usuario para identificar de una forma única a la unidad de datos. Este parámetro se necesita para reensamblar e informar de errores.
- **Identificador de no fragmentación:** indica si IP puede segmentar los datos para realizar el transporte.
- **Tiempo de vida:** medida en segundos.
- **Longitud de los datos:** opciones solicitadas por el usuario IP.
- **Datos:** datos de usuario que se van a transmitir.

Hay que indicar que los parámetros *identificador*, *indicador de no fragmentación* y *tiempo de vida*, se encuentran presentes en la primitiva *Send* pero no lo están en la primitiva *Deliver*. Estos tres parámetros proporcionan instrucciones a IP pero no son incumbencia del usuario IP destino.

El usuario IP que hace el envío incluye el parámetro *tipo de servicio* para solicitar una calidad de servicio particular. El usuario puede especificar uno o más de los servicios enumerados en la Tabla 3.8. Este parámetro se puede utilizar para orientar en las decisiones de encaminamiento. Por ejemplo, si un dispositivo de encaminamiento tiene varias opciones alternativas para elegir el siguiente salto en el encaminamiento del datagrama, podría elegir una red con una tasa de transferencia de datos mayor.

si se ha elegido la opción de gran rendimiento. Este parámetro también se pasa al protocolo de acceso a la red para que se use en redes individuales en caso de que sea posible

Precedencia	Una medida de la importancia relativa del datagrama. Se utilizan ocho niveles de precedencia. IP tratará de proporcionar un tratamiento preferencial a los datagramas con precedencias superiores
Seguridad	Se puede especificar uno de dos niveles: normal o alto. Un valor alto indica una petición para que se hagan intentos de minimizar la probabilidad de que este datagrama se pierda o resulte dañado.
Retardo	Se puede especificar uno de dos niveles: normal o bajo. Un valor bajo indica una petición para minimizar el retardo que experimentará este datagrama.
Rendimiento	Se puede especificar uno de dos niveles: normal o alto. Un valor alto indica una petición para maximizar el rendimiento para este datagrama.

Tabla 3.8 Servicios IP

Protocolo IP

El protocolo entre entidades IP se describe mediante la referencia al formato del datagrama IP, mostrado en la Figura 3.29. Los campos son los siguientes:

- **Versión (4 bits):** indica el número de la versión del protocolo, para permitir la evolución del protocolo
- **Longitud de la cabecera Internet (IHL, Internet Header Length) (4 bits) :** longitud de la cabecera expresada en palabras de 32 bits. El valor mínimo es de cinco, correspondiente a una longitud de la cabecera mínima de 20 octetos
- **Tipo de servicio (8 bits):** especifica los parámetros de seguridad, prioridad, retardo y rendimiento
- **Longitud total (16 bits):** longitud total del datagrama, en octetos
- **Identificador (16 bits):** un número de secuencia que, junto a la dirección origen y destino y el protocolo usuario se utilizan para identificar de forma única un datagrama. Por lo tanto, el identificador debe ser único para la dirección origen del datagrama, la dirección destino y el protocolo usuario durante el tiempo en el que el datagrama permanece en el conjunto de redes
- **Indicadores (3 bits):** solamente dos de estos tres bits están actualmente definidos. El bit "más" se usa para segmentación y reensamblado. El bit de "no fragmentación" prohíbe la fragmentación cuando es 1. Este bit es útil para conocer si el destino tiene la capacidad de reensamblar fragmentos. Sin embargo, si este bit vale 1, el datagrama se descartará si se excede el tamaño máximo de una red en la ruta. Por tanto, cuando el bit vale 1, es aconsejable utilizar encaminamiento por la fuente para evitar redes con tamaños de paquete máximos pequeños
- **Desplazamiento del fragmento (13 bits):** indica el lugar en donde se sitúa el fragmento dentro del datagrama original, medido en unidades de 64 bits. Esto implica que todos los fragmentos excepto el último contienen un campo de datos con una longitud múltiplo de 64 bits
- **Tiempo de vida (8 bits):** especifica cuanto tiempo, en segundos, se le permite a un datagrama permanecer en la red. Cada dispositivo de encaminamiento que procesa el datagrama debe decrementar este campo al menos en una unidad, de forma que el tiempo de vida es de alguna forma similar a una cuenta de saltos.
- **Suma de comprobación de la cabecera (16 bits):** un código de detección de errores aplicado solamente a la cabecera. Ya que algunos campos de la cabecera pueden cambiar durante el viaje (por ejemplo, el tiempo de vida, campos relacionados con la segmentación), este valor se verifica y recalcula en cada dispositivo de encaminamiento. El campo suma de

comprobación es la suma complemento a uno de todas las palabras de 16 bits en la cabecera. Por motivos de cálculo, este campo se inicializa a sí mismo a un valor de todo cero

- **Dirección origen (32 bits):** codificada para permitir una asignación variable de bits para especificar la red y el sistema final conectado a la red

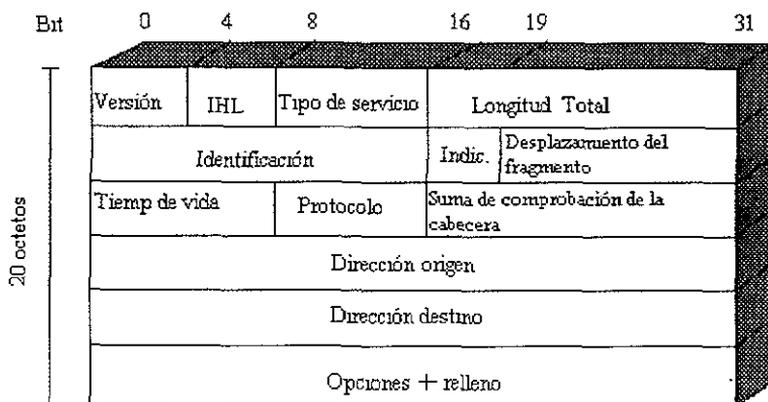


Figura 3.29 Datagrama IP

3.7.2 Capa de Transporte

La capa de transporte proporciona un mecanismo para intercambiar datos entre sistemas finales. La capa de transporte también puede estar involucrada en la optimización del uso de los servicios de red, proporcionando la Calidad del Servicio (QoS) solicitada. Por ejemplo, la entidad de sesión puede solicitar una tasa de error determinada, un retardo máximo, una prioridad y un nivel de seguridad dado.

En una arquitectura de protocolos, el protocolo de transporte se sitúa encima de la capa de red o de interconexión que proporciona los servicios relacionados con la red, y justo debajo de las aplicaciones a los usuarios del servicio de transporte (TS, Transport Service), como son FTP, SMTP y TELNET. La entidad local de transporte se comunica con alguna otra entidad de transporte remota utilizando los servicios de algún protocolo inferior, como puede ser el Protocolo Internet. El servicio general proporcionado por un protocolo de transporte es el transporte de datos extremo a extremo de forma que aísla al usuario TS de los detalles de los sistemas de comunicaciones subyacentes.

El conjunto de protocolos TCP/IP incluye dos protocolos en la capa de transporte: el protocolo de control de la transmisión (TCP, *Transmisión Control Protocol*), que es un protocolo orientado a conexión, y el protocolo datagrama de usuario (UDP, *User Datagram Protocol*), que es no orientado a conexión.

Un servicio orientado a conexión proporciona el establecimiento, mantenimiento y cierre de una conexión lógica entre usuarios TS. El servicio orientado a conexión implica generalmente que el servicio es seguro, es decir, que los datos se entregan libres de errores, en orden y sin pérdidas ni duplicaciones.

En la capa de transporte de los sistemas DOCSIS e IEEE 802.14, se utilizan los protocolos TCP y UDP.

Protocolo TCP

Servicios TCP

TCP está diseñado para proporcionar una comunicación segura entre pares de procesos (usuarios TCP) a través de una gran variedad de redes seguras e inseguras así como sobre un conjunto de redes interconectadas. TCP suministra dos facilidades útiles para etiquetar datos: cargar y urgente.

- **Cargar flujo de datos:** normalmente, TCP decide cuando se han acumulado suficientes datos para formar un segmento para su transmisión. El usuario TCP puede requerir que TCP transmita todos los datos pendientes a los que incluye una etiqueta con un indicador de carga. En el extremo receptor, TCP entregará los datos al usuario en la misma forma. Un usuario puede requerir esto si en los datos se detecta una interrupción lógica.
- **Indicación de datos urgentes:** esta posibilidad proporciona un medio para informar al usuario TCP destino que en el flujo de datos entrantes existen datos significativos o "urgentes". Es responsabilidad de usuario destino realizar la acción apropiada.

Como con IP, los servicios suministrados por TCP se definen en términos de primitivas y parámetros. Los servicios proporcionados por TCP son considerablemente más ricos que los proporcionados por IP y, por tanto, el conjunto de primitivas y parámetros es más complejo.

Formato de la cabecera TCP

TCP utiliza un único tipo de datos de protocolo, llamado segmento TCP. La cabecera se muestra en la Figura 3-30. Ya que la cabecera debe servir para implementar todos los mecanismos del protocolo. Ésta es más bien grande, con una longitud mínima de 20 octetos. Los campos son los siguientes:

- **Puerto origen (16 bits):** usuario TCP origen
- **Puerto destino (16 bits):** usuario TCP destino
- **Número de secuencia (32 bits):** número de secuencia del primer octeto en este segmento excepto si el indicador SYN está presente. Si el indicador SYN está presente, es el número de secuencias inicial (ISN, *Initial Séquense Number*) y en este caso el primer octeto de datos es el ISN + 1.
- **Número de confirmación (32 bits):** una confirmación *piggybacking*. Contiene el número de secuencia del siguiente octeto que la entidad TCP espera recibir.
- **Longitud de la cabecera (4 bits):** número de palabras de 32 bits en la cabecera.
- **Reservados (6 bits):** bits reservados para un uso futuro.
- **Indicadores (6 bits):**
 - URG el campo puntero urgente es válido
 - ACK el campo de confirmación es válido
 - PSH función de carga
 - RST puesta a cero de la conexión
 - SYN sincronizar los números de secuencia
 - FIN el emisor no tiene más datos
- **Ventana (16 bits):** asignación de créditos de control de flujo, en octetos. Contiene el número de octetos de datos comenzando con el que se indica en el campo de confirmación y que él que envía está dispuesto a aceptar.
- **Suma de verificación (16 bits):** El complemento a uno de la suma módulo $2^{16} - 1$ de todas las palabras de 16 bits en el segmento más una pseudo-cabecera.
- **Puntero urgente (16 bits):** señala el octeto que sigue a los datos urgentes. Esto permite al receptor conocer cuantos datos urgentes llegan.
- **Opciones (variable):** si esta presente, solamente se define una opción, que especifica el tamaño máximo del segmento que será aceptado.

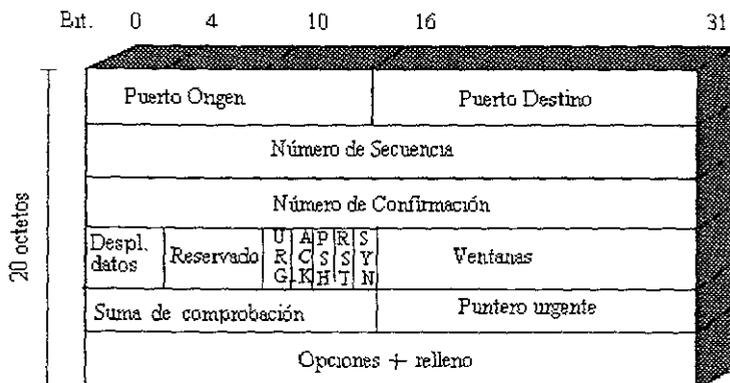


Figura 3.30 Cabecera TCP

Protocolo UDP

El protocolo de datos de usuario (UDP) ofrece a las aplicaciones un mecanismo para enviar datagramas IP en bruto encapsulados sin tener que establecer una conexión. Muchas aplicaciones cliente-servidor que tienen una solicitud y una respuesta usan el UDP en lugar de tomarse la molestia de establecer y luego liberar una conexión. El UDP se describe en el RFC 768. Un segmento UDP consiste en una cabecera de 8 bytes seguida de los datos. La cabecera se muestra en la Figura 3.31. Los dos puertos sirven para lo mismo que en el TCP, para identificar los puntos terminales de las máquinas de origen y destino. El campo de longitud UDP incluye la cabecera de 8 bytes y los datos. La suma de comprobación UDP incluye la misma pseudocabecera de formato mostrada en la Figura 3.32, la cabecera UDP y los datos UDP, rellenos a una cantidad par de bytes de ser necesario. Esta suma es opcional y se almacena como 0 si no se calcula (un cálculo real de 0 se almacena como una sucesión de unos, que es lo mismo en complemento a 1). Inutilizarla resulta absurdo, a menos que la calidad de los datos no importe (por ejemplo, voz digitalizada).

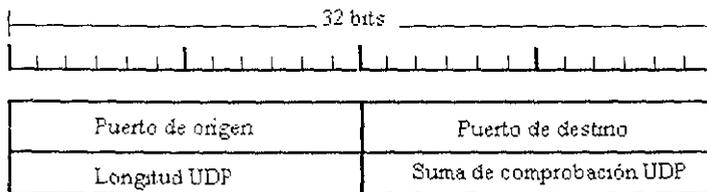


Figura 3.31 La cabecera UDP

INSTITUTO ICAE

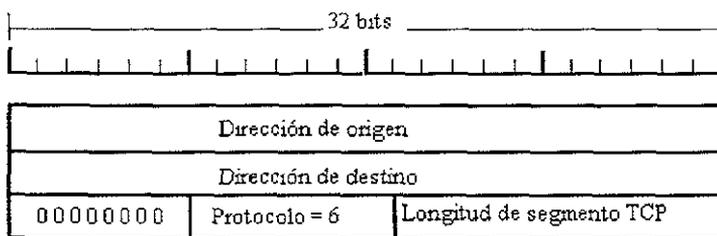


Figura 3.32 Pseudocabecera incluida en la suma de comprobación

3.7.3 Capas superiores (Aplicaciones)

La Figura 3.33 muestra la organización de los protocolos más importantes de la familia de TCP/IP. Se resaltarán tres protocolos que históricamente han sido considerados esenciales en TCP/IP. Y que se diseñaron como estándares militares junto a TCP e IP.

El **protocolo sencillo de transferencia de correo (SMTP, Simple Mail Transfer Protocol)** proporciona una función básica de correo electrónico. Proporciona un mecanismo para transferir mensajes entre computadores remotos. Entre las propiedades del SMTP cabe destacar la utilización de listas de mensajería, la gestión de acuses de recibo y el reenvío de mensajes. El protocolo SMTP no especifica cómo se crean los mensajes, para este fin se necesita un programa de correo electrónico nativo o un editor local. Una vez que se ha creado el mensaje, SMTP lo acepta y hace uso del TCP para enviarlo al módulo SMTP en el computador remoto. En el receptor, el módulo SMTP utilizará su aplicación de correo electrónico local para almacenar el mensaje recibido en el buzón de correo del usuario destino.

El **protocolo de transferencia de ficheros (FTP, File Transfer Protocol)** se utiliza para enviar ficheros de un sistema a otro bajo el control del usuario. Se permite transmitir ficheros tanto de texto como en binario, además el protocolo permite controlar el acceso de los usuarios. Cuando un usuario solicita la transferencia de un fichero, el FTP establece una conexión TCP con el sistema destino para intercambiar mensajes de control. Esta conexión permite al usuario transmitir su identificador y contraseña, además de la identificación del fichero junto con las acciones a realizar sobre el mismo. Una vez que el fichero se haya especificado y su transferencia haya sido aceptada, se establecerá una segunda conexión TCP a través de la cual se materializará la transferencia. El fichero se transmite a través de la segunda conexión, sin necesidad de enviar información extra, o cabeceras generadas por la capa de aplicación. Cuando la transferencia finaliza, se utiliza la conexión de control para indicar el fin, además esta misma conexión estará disponible para aceptar nuevas ordenes de transferencia.

TELNET facilita la posibilidad de conexión remota, mediante la cual el usuario en un terminal o computador personal se conecta a un computador remoto y trabajar como si estuviera conectado directamente a ese computador. El protocolo se diseñó para trabajar con terminales poco sofisticados en modo *scroll* (*avance de pantalla*). En realidad, TELNET se implementa en dos módulos: el usuario TELNET interactúa con el módulo de E/S para comunicarse con terminal local. Este convierte las particularidades de los terminales reales en una definición normalizada de terminal de red, y viceversa. El servidor TELNET interactúa con la aplicación, actuando como un sustituto del gestor del terminal, para que de esta forma el terminal remoto le parezca local a la aplicación. El tráfico entre el terminal del usuario y el servidor TELNET se transmite sobre una conexión TCP.

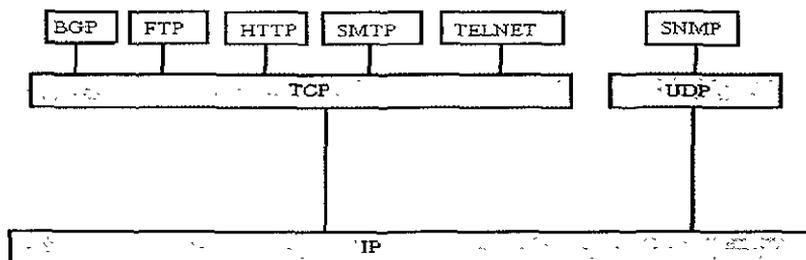


Figura 3.33 Protocolos de la familia TCP

- BGP Protocolo de pasarela de frontera
- FTP Protocolo de transferencia de ficheros
- HTTP Protocolo para la transferencia de hipertextos
- SMTP Protocolo sencillo de transferencia de correo electrónico
- SNMP Protocolo sencillo de gestión de redes
- TCP Protocolo de control de transmisión
- UDP Protocolo de datagramas de usuario
- IP Protocolo Internet.

3.8 Conclusiones

En este capítulo se han analizado los principales estándares de la tecnología *cablemódem*, de acuerdo a este análisis se puede concluir que cada uno de los estándares tiene un sector de la población bien definido hacia el cual está dirigido, esto se debe principalmente a sus características de operación. Considero que el estudio de las características de operación de la tecnología es muy relevante debido a que para poder utilizarla primero hay que conocer la forma en que ésta funciona. La gran referencia que tenemos y de la cual podemos auxiliarnos es el modelo OSI con el cual, como ya se mencionó, puede compararse cada uno de los estándares de la tecnología *cablemódem* y estimar la funcionalidad de éstos últimos. De la comparación podemos concluir que la introducción de la tecnología *cablemódem* al mercado de las telecomunicaciones, técnicamente no presentará mayor problema debido a que en las capas superiores maneja protocolos que actualmente ya están siendo utilizados, y principalmente, soporta aplicaciones que últimamente han tenido un gran desarrollo y demanda. Los estándares presentados intentan ser una referencia para los operadores de cable quienes deben adaptar su red de cable a las condiciones que imponen los estándares, tanto en la capa física como en la capa de enlace de datos, principalmente, en la subcapa de acceso al medio para poder distribuir servicios digitales a través de la red de cable. La seguridad que ofrece este tipo de tecnología a la transmisión de información hará que cada vez sea mayor el número de personas que la utilicen debido a que permite la transmisión de información confidencial y previene el robo y espionaje del servicio.

CAPÍTULO 4

Calidad de Servicio

Un sistema de cable utilizado para la distribución de servicios digitales e integrados debe ser capaz de soportar características específicas de desempeño para operar correctamente. La necesidad es más pronunciada cuando se distribuyen aplicaciones de tiempo real, tales como telefonía y videoconferencias, donde una falla en la distribución de datos dentro de las restricciones de corto tiempo puede resultar en retardos o interferencias que los usuarios percibirán y traducirán como un servicio no útil. El problema de proporcionar la Calidad de Servicio (QoS) en redes digitales es un problema que ha sido estudiado extensamente dentro del contexto de distribución de servicios en tiempo real sobre redes tales como la Internet y redes ATM

La investigación de la Calidad de Servicio en los servicios distribuidos sobre la Internet y redes ATM es inmediatamente relevante al problema de diseño de un sistema de cable utilizado para la distribución de servicios digitales e integrados y tiene como objetivo determinar la mejor forma de compartir los recursos de una red congestionada entre múltiples aplicaciones, algunas de ellas en tiempo real. Por un lado, el problema de diseño para la distribución de servicios en tiempo real sobre una red de cable es mucho más simple que hacer lo mismo pero sobre una red de comunicaciones con mayor capacidad de usuarios. En una red multipunto como la Internet, una conexión sencilla puede involucrar muchos recursos de red, y puede no ser posible entender completamente el estado de esos recursos en algún punto dentro de la red. Pero sobre una red de cable, se tiene el propósito de compartir justamente un recurso sencillo en enlace de comunicación que conecta los dispositivos terminales del suscriptor con la Cabeza Terminal, donde la red puede poseer control centralizado.

Por otro lado, puesto que un sistema digital de cable es una parte de las redes grandes, éste debe ser capaz de operar con la Calidad de Servicio (QoS) soportada por los sistemas o redes restantes con los cuales está interconectado. Por ejemplo, los mecanismos IP que la Internet utiliza actualmente pueden usar al menos algún tipo de infraestructura fundamental de red: *Ethernet*, FDI, módems, ATM, *Frame Relay*, entre otros. Esto funciona porque IP ofrece el servicio de "mejor esfuerzo". Si adicionáramos a IP la noción de desempeño garantizado para una conexión, esto daría lugar a que el número de demandas sobre la red se incrementara, en términos de interoperabilidad, nosotros necesitaríamos una forma de traducir las necesidades de servicio de IP dentro de lo que la red puede proporcionar, y las capacidades de la red necesitarían ser lo suficientemente ricas para soportar lo que a IP le gustaría proporcionar.

La mayoría de la investigación de Calidad de Servicio para sistemas de la Internet y ATM se enfoca en dos problemas: poner un precio a los servicios de red y a la distribución de éstos eficientemente. Si la eficiencia es medida solamente en términos de la cantidad de información que es transmitida dentro de las restricciones de un sistema, lo que se denomina *eficiencia de red*, entonces el ser eficiente no va más allá de ser un problema técnico y para resolverlo sólo basta con encontrar mecanismos buenos para el transporte de tráfico. Pero una medida que es algunas veces más relevante es cuanta *utilidad* es ganada por el desempeño de la red, lo que se puede denominar *eficiencia económica*. La eficiencia económica toma en cuenta el valor de la transmisión a los usuarios y el costo de transmisión a los

operadores de la red. La eficiencia de la red puede ser una medida técnica muy útil de, por ejemplo, la cantidad de los recursos de red que son perdidos por un protocolo de comunicación. Pero para hacer decisiones acerca de la forma de utilizar la red donde existe contienda de recursos, esto es, la eficiencia económica, se debe tener en cuenta otros factores. Por lo tanto, se une el problema técnico de distribución de servicios de red al problema económico de poner precios a esos servicios.

Debido a la importancia de la Calidad de Servicio (QoS) en una red, como se ha mencionado en los párrafos anteriores, en este capítulo se analizará la Calidad de Servicio (QoS) de una red de cable, las soluciones propuestas de Calidad de Servicio (QoS) para la distribución de servicios sobre la red Internet y redes ATM, este punto se considera muy importante debido a la operación de la red de cable como medio de distribución de servicios digitales e integrados. Como resultado de lo anterior, se analizarán los mecanismos que proporcionan garantías y se compararán los costos y desempeños de las categorías de servicios de la red ATM.

4.1 Definición de Calidad de Servicio

La definición de Calidad de Servicio (QoS) tomada de la ITU (International Telecommunications Union) es la siguiente

"La Calidad de Servicio es un conjunto de requerimientos sobre el comportamiento colectivo de uno o más objetos"

La Recomendación E 800 de la CCITT nos dice lo siguiente con relación a la Calidad de Servicio (QoS):

"La Calidad de Servicio es el efecto de servicio colectivo de desempeño, el cual determina el grado de satisfacción de un usuario de este servicio"

Otra definición de Calidad de Servicio es la siguiente

"La Calidad de Servicio (QoS) es la habilidad de un elemento de red (por ejemplo, un aplicación, un *host* o un ruteador) de tener el mismo nivel de seguridad de tal forma que los requerimientos de tráfico y servicios puedan estar satisfechos. Para habilitar la Calidad de Servicio(QoS) se requiere la cooperación de todas las capas de red así como de cada elemento de red "

La Calidad de Servicio (QoS) no crea ancho de banda. No es posible para la red dar algo que no se tiene. La Calidad de Servicio (QoS) solo administra el ancho de banda de acuerdo a las demandas de aplicaciones y de administración de la red. Por consiguiente, la Calidad de Servicio (QoS) con un nivel de servicio garantizado requiere de la asignación de recursos a flujos de datos individuales

El tráfico en una red puede dividirse en las siguientes tres categorías.

- **Multimedia en Tiempo real.** Es el tráfico intolerante a retardos absolutos (latencia) mayores a 150 ms. Ejemplo: Video interactivo y voz
- **Procesamiento de transacciones.** Protocolos y aplicaciones sujetos a tiempos de descanso o usuarios que requieren bajas variaciones en el tiempo de respuesta para mantener la productividad. Por ejemplo: Procesamiento de datos
- **Tráfico elástico.** Tráfico ordinario, tolerante a retardos y variaciones de retardos. Por ejemplo: Correo electrónico, transferencia de archivos, servicios de impresión y archivos, flujos de audio y video

Existen esencialmente dos tipos de Calidad de Servicio (QoS) disponible

- **Reservación de recursos** (servicios integrados): los recursos de la red son divididos igualmente de acuerdo a las peticiones de Calidad de Servicio (QoS) de las aplicaciones, y sujetos a las políticas de administración de ancho de banda. El RSVP proporciona el mecanismo para realizar esto
- **Priorización** (servicios diferenciados) el tráfico de la red es clasificado y dividido igualmente de acuerdo al criterio de política de administración de ancho de banda. Para habilitar la Calidad de Servicio (QoS), las clasificaciones dan tratamiento preferencial a las aplicaciones identificadas como aquellas de mayores requerimientos. Los ruteadores de servicios diferenciados utilizan el campo *tipo de servicio* (TOS) en el encabezado IP de paquetes para clasificar los paquetes y aplicar esquemas de coqueo específicos basados en el resultado de la clasificación.

Estos protocolos de Calidad de Servicio (QoS) y algoritmos no son competitivos o mutuamente exclusivos, por el contrario, ellos son complementarios. Como resultado, ellos están diseñados para usarse en combinación para acomodar los requerimientos operacionales variables en diferentes contextos de red.

El ancho de banda asignado a una aplicación en una "reservación de recursos" no es mayor que el disponible para el uso de aplicaciones con "mejor esfuerzo". Considerando que el ancho de banda es un recurso finito, una prioridad para los diseñadores de Calidad de Servicio (QoS) ha sido asegurar que el tráfico de mejor esfuerzo no se muera después de que se realice una reservación de recursos. Las aplicaciones con Calidad de Servicio (QoS) (alta prioridad) no deben deshabilitar las aplicaciones mundanas de Internet (baja prioridad).

4.2 Calidad de Servicio en la red de cable

Los servicios de datos de mejor esfuerzo proporcionan crecimiento limitado para los operadores de cable. Sin embargo, implementando control de Calidad de Servicio (QoS) los operadores pueden expandir el servicio base del cliente al ofrecer una amplia variedad de servicios residenciales y de negocios, servicios que soporten tráfico de voz, datos, audio y vídeo, y crear múltiples flujos rentables sobre la red híbrida fibra-coaxial. La disponibilidad de contenidos diversos y servicios distribuidos sobre la infraestructura de la red híbrida fibra-coaxial llevará a más consumidores y clientes de negocios a adoptar el cable como medio preferido de banda ancha. Los operadores serán capaces de

- Expandir sus oportunidades de mercado
- Prevenir a sus clientes de migrar a otros medios de banda ancha como DSL, satélites, etc
- Desarrollar flujos nuevos y rentables que ayudarán al crecimiento de la compañía

Como los Operadores de Sistemas Múltiples (MSOs) buscan cosechar máximas ganancias financieras de la inversión en la infraestructura de la red híbrida fibra-coaxial, la habilidad para distribuir múltiples niveles de Calidad de Servicio (QoS) es la clave para el éxito. La compatibilidad de estándares y la adopción de tecnologías de nueva generación están habilitando a los operadores para que proporcionen Acuerdos de Nivel de Servicio Medibles (SLAs) a través de la red de cable y soporten aplicaciones en tiempo real como Voz sobre IP, flujos de vídeo, y aplicaciones de juegos y entretenimiento. Los operadores pueden soportar aplicaciones de negocios robustas para los clientes de su empresa, incluyendo redes privadas y virtuales (VPNs), vídeo corporativo y acceso remoto. Ellos pueden crear flujos rentables adicionales desde los Proveedores de Servicio de Aplicación (ASPs) así como desde los Proveedores de Servicio de Internet (ISPs) y otros patrones que compartan las rentas que distribuyan servicios o contenidos de cliente.

4.2.1 Calidad de Servicio en la red de acceso

Actualmente, los operadores de redes están habilitados para ofrecer servicios múltiples vía la infraestructura de cable compartida mientras se proporcionan niveles de Calidad de Servicio (QoS) garantizados a cada servicio y usuario. Con el desarrollo de productos basados en la especificación DOCSIS 1.1, las redes de cable se están moviendo desde el servicio de *mejor esfuerzo* definido en DOCSIS 1.0 hacia la distribución de SLAs garantizados para aplicaciones de negocios críticas.

Mientras el servicio de mejor esfuerzo es adecuado para el acceso básico a la Internet, este no es suficiente para las necesidades de voz y otros servicios de baja latencia. La especificación DOCSIS 1.1 fue desarrollada para definir las mejoras al protocolo de Control de Acceso al Medio (MAC) de la especificación DOCSIS 1.0 para habilitar métodos de acceso más sofisticados sobre las redes de acceso híbridas cable-coaxial adicionando lo siguiente:

- Los paquetes están clasificados dentro de flujos de servicio basados en su contenido. Por lo tanto, cada aplicación puede ser mapeada a un flujo de servicio único.
- El acceso a la red (*upstream* y *downstream*) es catalogado por flujo de servicio utilizando uno de un número de mecanismos de catalogación definidos incluyendo una tasa de bits constante y mejor esfuerzo.
- Los flujos de servicio²³ pueden ser configurados a través de las aplicaciones de administración (como parte de la configuración del proceso de registro) o ser creadas y borradas dinámicamente en respuesta al comienzo y fin de las aplicaciones (puede ser iniciado por el módem de cable o por el CMTS).
- La fragmentación²⁴ de paquetes grandes es requerida para permitir que los servicios de baja latencia operen sobre canales *upstream* de bajo ancho de banda.

Estas características permiten a los proveedores aislar múltiples flujos de datos desde cada módem de cable y por lo tanto, habilitar la distribución de aplicaciones con un trato de Calidad de Servicio (QoS) dentro de las redes de acceso híbridas fibra-coaxial para cada flujo de tráfico.

La especificación DOCSIS es necesaria para proporcionar Calidad de Servicio (QoS) dentro de la red de acceso híbrida fibra-coaxial pero ella por sí misma no es suficiente para controlar la Calidad de Servicio (QoS) fin a fin. La especificación DOCSIS 1.1 es una especificación de interfaz por lo que ésta no regula la forma en que los vendedores implementen la Calidad de Servicio (QoS). Los operadores pueden extender los beneficios de la especificación DOCSIS 1.1 seleccionando el CMTS de nueva generación y soluciones de ruteo que ofrezcan inteligencia incrementada para clasificar y tratar los flujos de tráfico.

Por lo tanto, es crítico que los MSOs evalúen cuidadosamente las capacidades técnicas y las limitaciones del CMTS y el equipo del ruteador dentro de la red de acceso híbrida fibra-coaxial para

²³ Un servicio de la capa MAC que distribuye paquetes upstream o downstream a un conjunto de requerimientos de Calidad de Servicio (QoS) para ese flujo, tales como latencia y jitter.

²⁴ El proceso de fragmentación:

- I Ayuda a reducir el jitter de los flujos de servicio durante periodos de alta demanda.
- II Promueve la utilización del ancho de banda upstream.
- III Puede ser desactivado.
- IV Tiene un mayor impacto en las tasas más bajas de la dirección upstream, pero sin embargo ayuda a todas las tasas.

Además el CMTS solamente inicializa el proceso de fragmentación cuando se necesita conocer los requerimientos de flujo de servicio, esto resulta en menos bytes de protocolo a ser transmitidos y mayor número de datos para tasas de encabezado.

que ellos puedan seleccionar el equipo que proporcione la mayor habilidad para crear múltiples flujos distribuyendo controles extensivos de Calidad de Servicio (QoS)

Las implementaciones de los vendedores van desde un tráfico dividido dentro de un conjunto de colas con capacidades limitadas de políticas a un conjunto de colas sofisticadas y políticas que habilitan la Calidad de Servicio (QoS) fin a fin a través de la red de acceso HFC, la red de área metropolitana (MAN), y el corazón, la red de área ancha (WAN) de múltiples servicios o proveedores de contenido

Coleo FIFO

El coleo FIFO (*First-In-First-Out*) es un mecanismo de coleo y un mecanismo de catalogación. En el coleo FIFO todos los paquetes son almacenados en una cola sencilla y son transmitidos para ser recibidos. El coleo FIFO es fácil de implementar y sólo requiere poca configuración. Sin embargo, el coleo FIFO no proporciona ningún soporte para los niveles de Calidad de Servicio (QoS) requeridos por muchas aplicaciones de valor adicionado.

El método de coleo FIFO puede soportar muchos tipos de aplicaciones. Por ejemplo, un servicio de baja latencia puede ser ofrecido si la cola está siempre vacía o casi vacía, o un gran ancho de banda, servicio de pérdidas moderadas puede ser proporcionado por un FIFO el cual está lleno por aplicaciones utilizando control de flujo tal como TCP. Los mecanismos tales como una Detección Casi Aleatoria (RED) procuran realizar una base media previniendo que la cola se llene por desechos de algunos de los paquetes que llegan, pero el resultado es un compromiso que satisface pocos requerimientos de Calidad de Servicio (QoS) – especialmente conforme el número de flujos que comparten la cola FIFO se incrementa.

Coleo basado en clases proporciona control limitado de QoS

El coleo basado en clases intenta evitar este problema clasificando el tráfico en diferentes clases mediante el análisis del encabezado de paquete, y algunas veces el contenido tanto como lo determine el tipo de tráfico al cual el paquete pertenece. Una vez que el paquete ha sido clasificado, este es colocado en una cola FIFO que contiene solamente otros paquetes del mismo tipo. Las colas de clases diferentes son entonces servidas – usualmente por la compartición de ancho de banda – de acuerdo a las políticas establecidas.

En teoría, esto permite al FIFO de cada clase proveer el tipo de servicio deseado, pero en la práctica existen numerosos problemas con esta aproximación. Esto requiere una constante y pesada configuración porque el operador tiene que configurar la asignación de servicio a las diferentes clases, por ejemplo, 1/10 para correo electrónico, 1/10 para voz, 1/3 para tráfico web, etc. En un ambiente de red dinámica, el método de coleo para la asignación de servicio basado en clases es impráctico porque la asignación es independiente del número de usuarios para una clase determinada. Este proporciona mínima flexibilidad para la distribución de servicios premium y la creación de nuevos flujos.

La aproximación del coleo basado en clases asume que es posible determinar el tipo de tráfico -y por lo tanto el tipo de servicio deseado- simplemente observando un paquete. La teoría es que el tipo de paquete puede ser determinado por las propiedades sencillas del paquete, tales como su número de puerto. Sin embargo, actualmente, muchos tipos de aplicaciones se ejecutan sobre http y no existe forma de decir si una conexión a la Web transporta información de negocios o es simplemente una sesión Web. Como la criptografía fin-a-fin ha llegado a ser mas extendida, será imposible ver dentro del paquete para determinar la clase de paquete del cual se trate. Los operadores por tanto pierden la visibilidad del tráfico cuando los flujos están encriptados, previniendo así la aplicación de algunos parametros de Calidad de Servicio (QoS) significativos. Conforme la criptografía vaya extendiendose,

el coleo basado en clases será una aproximación menos óptima para la Calidad de Servicio (QoS) futura

Las limitaciones del coleo basado en clases algunas veces resulta en una deserción inapropiada de paquetes. Como el flujo de tráfico está alineado dentro de las colas compartidas, es imposible aislar y descartar aquellos flujos que exceden las garantías de SLAs antes de descartar el flujo de tráfico que está dentro de sus SLAs.

Coleo por jerarquía de flujo requerido en la Calidad de Servicio fin-a-fin

El coleo por flujo asigna cada flujo de paquetes a su propia cola y proporciona una tasa garantizada para flujos con reservaciones de Calidad de Servicio (QoS). Para asignar flujos sin reservaciones a una cola, un método por flujo conocido como Coleo Estocástico puede ser utilizado. Las partes del encabezado del paquete que son las mismas para todos los paquetes de un flujo tales como la dirección fuente y destino IP y los números de puerto origen y destino son alimentadas a una función la cual es usada para mapear el paquete a una cola. Esto elimina la necesidad de configurar el ancho de banda que se compare por clase, y consecuentemente evita la pérdida de asignación causada por los patrones variables utilizados o la necesidad de actualizar constantemente los clasificadores de paquetes.

Si un sistema puede soportar más colas que flujos existentes entonces la mayor parte de flujos o tiene su propia cola o comparten ésta entre un número pequeño de flujos. Esto permite a los MSOs soportar cientos de colas en lugar de docenas soportadas por implementaciones de colas basadas en clases. El coleo por flujo crea grandes oportunidades a los proveedores para clasificar y tratar a los flujos de paquetes para habilitar la Calidad de Servicio (QoS) fin-a-fin. Los operadores pueden rastrear los flujos de tráfico individuales y asegurar que están dentro de sus requerimientos de SLA. Ellos pueden implementar las políticas de deserción de paquetes para descartar primero los flujos de tráfico que excedan los límites de la SLA.

La habilidad de rastrear y programar basada en flujos individuales puede ser utilizada para crear un sistema dentro del cual las decisiones de programación estén basadas en los flujos de aplicación, los suscriptores y proveedores de servicio con los cuales estos flujos estén asociados. Con el coleo por jerarquía de flujo, los operadores pueden programar la transmisión de paquetes y descartar paquetes durante una congestión basada en las necesidades de la aplicación y basada en la concurrencia de los SLAs de aplicaciones, suscriptores y proveedores de servicio.

4.2.2 Clasificación del flujo de tráfico en la red dorsal

La especificación DOCSIS 1.1 proporciona Calidad de Servicio (QoS) para la red de cable de acceso. Para que las aplicaciones tengan el máximo beneficio, la Calidad de Servicio (QoS) debe ser proporcionada sobre la base fin-a-fin. Así el flujo de tráfico habilitado con Calidad de Servicio (QoS) desde la red de acceso debe ser mapeado a los mecanismos de Calidad de Servicio (QoS) utilizados en las redes regional y dorsal. Los operadores utilizan la especificación DOCSIS 1.1 para clasificar sus paquetes en flujos específicos sobre la red de acceso HFC, y entonces aplican las políticas de Calidad de Servicio (QoS) sobre las bases de flujo. Existen dos métodos primarios para proporcionar control de Calidad de Servicio (QoS) en la red dorsal: basado en prioridad y basado en conexión.

Calidad de Servicio basada en Prioridad

Los flujos individuales son marcados en la red, utilizando un marcador *Dif-Serv*, en el encabezado IP de tal forma que los flujos agregados son distribuidos al núcleo de la red con cada flujo etiquetado para el tratamiento apropiado de Calidad de Servicio (QoS). El estándar *Dif-Serv* define los puntos código utilizados y el ambiente de adelantado a ser aplicado a cada paquete marcado.

Calidad de Servicio basada en la conexión

La Calidad de Servicio (QoS) basada en la conexión puede ser implementada utilizando el modo ATM o conmutación de etiquetas multiprotocolo (MPLS). Las conexiones son establecidas a través de la red con una Calidad de Servicio (QoS) definida por conexión. Los flujos de tráfico son mapeados a una conexión apropiada- un circuito virtual ATM o una ruta de conmutación de etiquetas MPLS.- por el dispositivo final y los flujos son adelantados a través de la red basados en el identificador de conexión. Esto requiere un estado de conexión para el adelanto y Calidad de Servicio (QoS) en cada nodo.

Mecanismos de política

Los mecanismos de política cuentan con un conjunto de datos que describen la forma en la cual los recursos pueden ser asignados a quienes los solicitan. En las redes dentro de las cuales la Calidad de Servicio (QoS) es señalada, los administradores de red deben mantener una lista de los nombre de los usuarios y recursos asociados. La señalización RSVP creará entonces el la liga entre los nombres de los usuarios y la información de clasificación tales como la dirección IP y el puerto. Además, la cantidad de recursos disponibles para un usuario o un flujo particular puede depender del nivel de servicio comprado por el usuario

Los puntos de ejecución de las políticas son típicamente los conmutadores y los ruteadores. Para los MSOs, el CMTS funciona como una clave PEP. Estos dispositivos tienen un control esencial sobre el cual se asignan o no recursos al tráfico. En este caso de Calidad de Servicio (QoS) configurada, la política es típicamente "llevada" a estos ruteadores en la forma de información de clasificación (direcciones IP y puertos) y los recursos correspondientes. En este caso, los ruteadores actúan de acuerdo a las políticas sobre las bases de paquete-por-paquete. Tan pronto como los paquetes llegan, estos son clasificados para determinar los recursos para los cuales están calificados, y entonces con manejadas adecuadamente

En el caso de la Calidad de Servicio (QoS), los mensajes RSVP transitan a través de la red junto con la ruta de datos. Las decisiones de política son iniciadas cuando los mensajes RSVP llegan a los puntos de ejecución de políticas. Cuando un mensaje RSVP llega a un CMTS, el CMTS extrae el elemento de política del mensaje, como una descripción del tipo de servicio requerido y el contorno de tráfico. Los elementos de políticas generalmente contienen la identificación de usuario autenticada. El CMTS entonces compara los recursos solicitados con aquellos permitidos para el usuario (por políticas en los datos almacenados)

Se puede notar que la Calidad de Servicio (QoS) señalada proporciona retroalimentación directa a los *hosts*, en la forma de rechazo o admisión de recursos de petición de mensajes RSVP. Si la decisión de política es negativa, la petición de recursos es explícitamente rechazada y el CMTS es automáticamente configurado para no asignar la petición de recursos al tráfico identificado en los mensajes RSVP. Si la decisión de política es afirmativa, la petición de recursos es explícitamente admitida y el CMTS es automáticamente configurada para reconocer el tráfico descrito en la petición de recursos y para tratar a ésta con el servicio pedido.

Protocolos de política

En los escenarios de Calidad de Servicio (QoS) un alto grado de cooperación entre los dispositivos de la red es esperado y consecuentemente, los protocolos estándares están en petición. En el caso de que los puntos de decisiones de políticas estén colocados con los puntos de ejecución de políticas (en el CMTS), se requiere un protocolo entre el CMTS y el almacén de datos. Este protocolo es típicamente el LDAP. En el caso de que un servidor de políticas sea utilizado, el punto de decisiones de políticas no es colocado con el punto de ejecución de políticas y se requiere un protocolo entre los dos. Este protocolo es el Servicio Común de Políticas Abiertas (COPS).

Implementación

La política de Calidad de Servicio (QoS) es un poco primitiva. Los administradores de red deben configurar los parámetros de Calidad de Servicio (QoS) en los dispositivos de red para priorizar el tráfico agregado basado en las direcciones y puertos. Por ejemplo, el tráfico del departamento de ingeniería puede tener una prioridad sobre el tráfico proveniente del departamento de ventas, basado en direcciones IP de fuentes diferentes.

Los fabricantes de ruteadores están desarrollando una administración basada en políticas integradas, utilizando un almacén de datos central para enviar información de configuración a múltiples dispositivos. Además, los ruteadores están siendo extendidos para reconocer los elementos de políticas RSVP y para comunicarse directamente con los datos de políticas basados en directorios, utilizando LDAP, o indirectamente, vía COPS y servidores de políticas emergentes.

4.3 Recuperación de una red de cable que distribuye servicios digitales cuando se presenta una falla en el suministro de energía eléctrica

Las fallas en el suministro de energía eléctrica a gran escala pueden causar serios problemas a los servicios digitales que se transmiten sobre la red de televisión por cable. En las siguientes líneas se estudia la disponibilidad de las redes de cable diseñadas con el protocolo DOCSIS, para la transmisión de datos, después de sufrir una falla en el suministro de energía eléctrica.²⁵ Para el estudio se utilizó un modelo de simulación programado en OPNET.

Definición del problema

El resultado de una falla en el suministro de energía eléctrica puede ser causa de la terminación de una comunicación entre el CMTS y los *módems de cable*. Una vez que el servicio es restaurado, todos los *módems de cable* intentarán reiniciar la comunicación con el CMTS simultáneamente vía el Mensaje de Mantenimiento Inicial (MAP) siguiendo un proceso de inicialización.

Se ha realizado el estudio basándose en redes que trabajan con el protocolo DOCSIS ya que es el protocolo líder para redes de TV por cable bi-direccionales que transporten datos.

Los parámetros principales que afectan el tiempo de recuperación del sistema son

- El CRA²⁶
- Las oportunidades de transmisión asignadas por el CMTS mediante el proceso de inicialización de las estaciones activas
- El número de intentos que el módem de cable hace antes de reconfigurar su energía de transmisión

El objetivo del estudio es evaluar la habilidad de recuperación de redes basadas en el estándar DOCSIS debido a una falla en el suministro de potencia eléctrica e identificar las consecuencias de la variación de algunos parámetros sobre el sistema.

Algoritmo de Retroceso Exponencial Binario Truncado

²⁵ V. Srdala, P. Tzeforos, C. Smythe y S. Cvetkovic. Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de Sheffield, Reino Unido

²⁶ El CRA que los estándares DOCSIS 1.0 y DOCSIS 1.1 especifican es el algoritmo de retroceso exponencial binario truncado.

Este algoritmo determina el número de oportunidades de transmisión que una estación debe posponer antes de programar su propia transmisión. Este algoritmo es caracterizado por la ventana de retroceso inicial y máxima, números enteros [0 15] los cuales son especificados como parte del mensaje MAP y representa un valor de potencia 2. El número de oportunidades de cada *módem de cable* es calculado como una variable aleatoria uniforme en el rango de $0..2^k$, k = retroceso inicial. En el caso de que más de una estación intente transmitir en la misma oportunidad de transmisión ocurrirá una colisión y no todas las estaciones serán reconocidas por el CMTS. Como resultado, la ventana de retroceso inicial es incrementada por un factor de 2, tantas veces como ésta sea menor o igual al valor de ventana máxima. Una vez que la ventana inicial alcanza el valor máximo, permanece constante. Este proceso continua hasta que el máximo número de intentos (el valor máximo aceptable de intentos especificado por DOCSIS) haya sido alcanzado.

En el algoritmo del proceso de inicialización cuando se presenta una falla, el *módem de cable* asume que esto es debido a que la energía de transmisión no es suficiente y no debido a colisiones. Por lo que éste configura sus parámetros de potencia y reintenta transmitir. Sin embargo, en este estudio se utiliza una aproximación diferente. Específicamente, el *módem de cable* trata de transmitir utilizando la misma energía de transmisión para un número igual al número de intentos predefinido. Después de que el número límite se alcanza, el *módem de cable* altera sus parámetros de energía y comienza el proceso nuevamente. Esta variación fue aplicada debido al hecho de que después de una falla en el suministro de energía un gran número de colisiones ocurrirá debido a que todos los *módems de cable* tratarán de inicializar simultáneamente. Consecuentemente, el continuo cambio de energía puede llevar a un retraso excesivo en la recuperación del sistema.

En este estudio una sola oportunidad de inicialización en cada MAP fue direccionada. Sin embargo, en cada intervalo de inicialización dos mensajes MAP secuenciales son enviados. Este esquema fue seleccionado, como opuesto al envío de dos oportunidades de transmisión dentro de una MAP, para sobrellevar los efectos de retrasos de propagación desconocidos los cuales previenen la sincronización de tiempo exacto del *módem de cable* con el CMTS. Consecuentemente, en ningún intervalo de inicialización dos *módems de cable* pueden intentar realizar el proceso de inicialización con el CMTS, en caso contrario ocurrirá una colisión.

Modelo de simulación

Para el propósito de este estudio un modelo de red OPNET fue desarrollado basado en el modelo CSF13 (*Common Simulation Framework v 13*) creado por *CableLabs Ltd*. Para la versión DOCSIS 1.0, El modelo consiste de un solo canal *upstream* y un *downstream*.

Parámetros de simulación

Dos conjuntos de simulaciones fueron ejecutadas en las cuales el número de intentos fue 16 y 5

Parámetros	Valores
Número de intentos	5 y 16
Número de <i>módems de cable</i>	25 a 400 por 25
Tamaño de mini-ranura	16 bytes
Intervalo UCD	1 s
Intervalo SYNC	3 ms

Intervalo MAP de Mantenimiento inicial	500 ms
Ventana de retroceso inicial	1 a 11
Ventana de retroceso máxima	5 a 15
Tiempo límite de recuperación	2 horas

Tabla 4.1 *Parámetros de simulación*

Resultados

La Tabla 4.2 describe los tiempos de recuperación óptimos para diferentes conjuntos de *módems de cable* y el número de intentos

Número de módems de cable	5 intentos (s)	Ventana de retroceso	de 16 intentos (s)	Ventana de retroceso
100	88	5,7	96,5	6,7
150	124,5	6,7	140	6,7
200	192	7,8	184,5	7,8
250	214,5	6,8	244,5	6,8
300	278	7,8	269,5	7,8
350	362	7,9	333	6,8
400	416	8,9	414,5	8,9

Tabla 4.2 *Tiempos de recuperación óptimos*

Los valores de la ventana de retroceso que corresponden a los tiempos óptimos son igualmente mostrados. Se debe notar que el aspecto más importante del desempeño del algoritmo de la ventana de retroceso es la ventana de retroceso inicial más que la ventana de retroceso máxima. Comparando los resultados para 5 y 16 intentos (Tabla 4.2 y Figura 4.1) se puede ver que el tiempo de recuperación óptimo es aproximadamente el mismo.

Cuando se analizan las diferencias entre los resultados de 5 y 16 intentos para el evento de la estación de energía se puede ver que los efectos de un gran número de intentos durante el tiempo de recuperación de la red de cable ocurre para valores de ventana de retroceso inicial menores a 7. Se ha obtenido una disminución del 18% - 27% de los tiempos de recuperación para cada topología de red utilizando 16 intentos. Esta reducción varía entre pocos segundos y 1,5 horas. La varianza de pocos cientos de segundos es nuevamente debido a un incidente del suministro de energía.

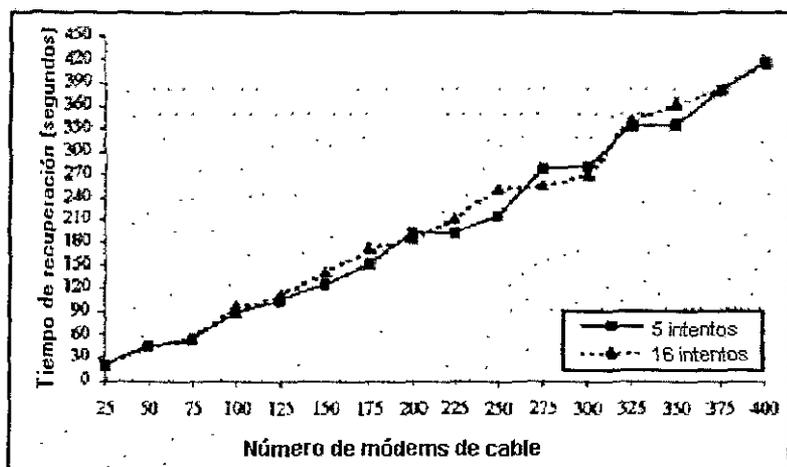


Figura 4.1 Tiempos de recuperación

4.4 Soluciones de Calidad de Servicio (QoS)

Las soluciones actuales que implementan los compromisos de Calidad de Servicio (QoS) en las redes de servicios integrados presentan una solución más práctica que teórica. A continuación se analizarán brevemente dos de tales soluciones, una propuesta para la Internet y la otra para redes ATM. Ambas son relevantes al problema de distribución de Calidad de Servicio (QoS) sobre una red de cable de servicios integrados ATM porque sus mecanismos son utilizados como la base para los mecanismos de comunicación en algunas propuestas de redes de cable digitales, y la Internet porque ésta se convertiría en una plataforma ubicua para la distribución de servicios en tiempo real. Antes de comenzar, mencionaremos los tipos de Calidad de Servicio (QoS) que existen para IP, y son los siguientes:

- Servicios integrados de Internet (IntServ)
- Servicios diferenciados (DiffServ)
- Conmutación de etiquetas multiprotocolo (MPLS)

El modelo de servicios diferenciados se basa en tráfico sin reservación y emplea:

- Clasificación de los paquetes
- Mecanismos de prioridad

Su objetivo es asignar ancho de banda a los diferentes usuarios en una forma controlada.

4.4.1 Calidad de Servicio (QoS) en los servicios integrados para la Internet

Antes de iniciar, debemos conocer el modelo de Servicios Integrados de Internet, este se muestra en la Figura 4.2

Los mecanismos que adicionarían el soporte de servicios en tiempo real sobre la Internet están siendo discutidos actualmente, y estandarizados. Se considerará el trabajo del *Internet Engineering Task Force* (IETF), particularmente el Grupo de Trabajo de Servicios Integrados (IISWG, *Integrated Services Working Group*)

El problema de ingeniería para el soporte de servicios en tiempo real sobre la Internet es en muchos sentidos más difícil de solucionar que el problema del soporte de servicios en tiempo real por las redes de cable digitales. La Internet está compuesta de muchos elementos de red que intentan distribuir el tráfico en una forma que involucra un poco de control centralizado, y por lo tanto la información acerca de las características de una porción de la red no es, generalmente, conocida por otra porción de la red.

Además, los protocolos de la Internet trabajan sin mantenimiento con la información de la red acerca de conexiones individuales, y esto es impráctico para servicios en tiempo real. Con las redes de cable digitales, es posible mantener el control centralizado y un estado de conexión en la Cabeza Terminal.

El Protocolo de Reservación de Recursos (RSVP, *Resource Reservation Protocol*) propuesto direcciona los problemas de dificultad para el establecimiento de rutas a través de la Internet la cual soportará el tráfico en tiempo real y el estado de mantenimiento para las conexiones dentro de la red. El RSVP presenta una interfaz a través de la cual las aplicaciones pueden pedir conexiones que soporten servicios en tiempo real. El RSVP actúa como un mecanismo generalizado que pasa las peticiones de servicios sin ser atado a un modelo particular de servicios.

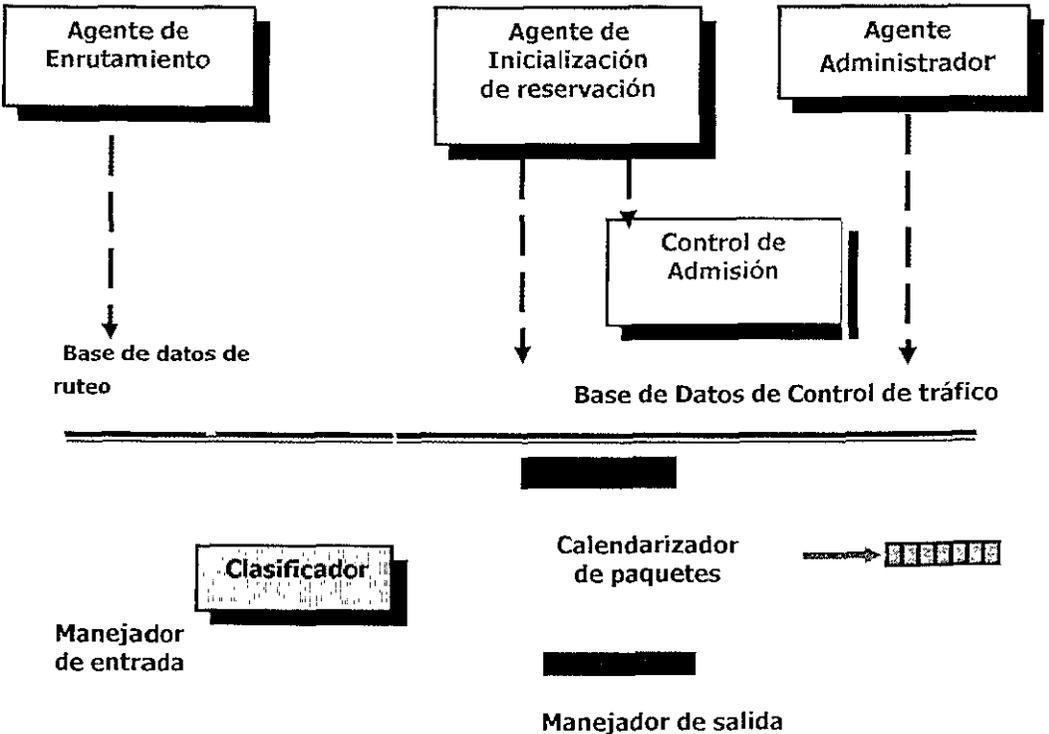


Figura 4.2 Modelo de Servicios Integrados de Internet

Características y metas del RSVP

Las metas de diseño que guiaron el desarrollo de las especificaciones de RSVP son las siguientes

1. **Proporcionar la capacidad de hacer reservas a receptores heterogéneos** diseñados específicamente para sus propias necesidades. Algunos miembros de un grupo multidifusión pueden ser capaces de manejar o pueden que quieran manejar sólo una parte de la transmisión multidifusión, como puede ser la componente de baja resolución de una señal de vídeo. Se debe permitir diferenciar reservas de recursos entre los miembros del mismo grupo multidifusión.
2. **Tratar elegantemente los cambios en la pertenencia a un grupo multidifusión**. La pertenencia a un grupo puede ser dinámica. De esta forma, la reserva debe ser dinámica y, de nuevo, esto sugiere que son necesarias las reservas dinámicas separadas para cada miembro del grupo multidifusión.
3. **Especificar necesidades de recursos** de tal forma que el total de los recursos reservados para un grupo de multidifusión refleje realmente los recursos necesarios. El encaminamiento multidifusión tiene lugar sobre un árbol de forma que la duplicación de paquetes se minimice. Por lo tanto, cuando se reservan recursos para miembros individuales de un grupo, estas reservas se tienen que agregar para tener en cuenta los segmentos de caminos comunes por las rutas a los diferentes miembros del grupo.
4. **Permitir a los receptores seleccionar una fuente entre varias fuentes** que transmiten a un grupo multidifusión. Ésta es la capacidad de cambiar de canal.
5. **Tratar elegantemente los cambios en las rutas**, restablecer automáticamente la reserva de recursos a lo largo de un camino nuevo mientras los recursos adecuados estén disponibles.
6. **Controlar la información suplementaria del protocolo**. Justo cuando las reservas de recursos se agregan para tener ventaja de los segmentos de caminos comunes entre receptores multidifusión los mensajes RSVP de solicitud de reserva se deben de agregar para minimizar la cantidad de tráfico RSVP en el conjunto de redes.
7. **Ser independiente del protocolo de encaminamiento**. RSVP no es un protocolo de encaminamiento, su tarea es establecer y mantener las reservas de recursos sobre un camino a un árbol de distribución, independientemente de la forma de creación del camino o el árbol.

En esencia, un esquema orientado a conexión hace uso de un enfoque de estado rígido ("hard"), en el que la naturaleza de las conexiones a lo largo de una ruta fija está definida por la información de estado en los nodos de conmutación intermedios. RSVP hace uso de un enfoque de estado flexible²⁷, o no orientado a conexión, en el que el estado de reserva es información almacenada temporalmente en los dispositivos de encaminamiento que están instalados y se refresca periódicamente por los sistemas finales. Si un estado no se refresca dentro del límite de tiempo requerido el dispositivo de encaminamiento descarta el estado. Si se prefiere una nueva ruta para un flujo dado, el sistema final proporciona la reserva a los dispositivos de encaminamiento nuevos en la ruta.

La base del funcionamiento de RSVP la forman tres conceptos relacionados con los flujos de datos: sesión, especificación de flujo y especificación de filtro.

Una **sesión** es un flujo de datos identificado por su destino. Una vez que se ha hecho la reserva en un dispositivo de encaminamiento por un destino particular, el dispositivo de encaminamiento considera esto como una sesión y asigna recursos durante la vida de esta sesión.

²⁷ El concepto de estado flexible fue introducido por primera vez por David Clark, 1988.

Se llama **descriptor de flujo** a una solicitud de reserva emitida por un sistema final destino y consta de una **especificación de flujo** y un **filtro de flujo**. La especificación de flujo indica una Calidad de Servicio (QoS) deseada y se utiliza para establecer parámetros en el gestor de salida de paquetes de un nodo. Esto es, el dispositivo de encaminamiento transmitirá los paquetes con un conjunto dado de preferencias basándose en la especificación de flujo actual. La especificación de filtro define un conjunto de paquetes para los que se solicita la reserva. Así, la especificación de filtro y la sesión definen el conjunto de paquetes, o flujo, que van a recibir la Calidad de Servicio (QoS) deseada. Cualquier otro paquete que va dirigido al mismo destino se trata como tráfico de mejor esfuerzo.

Como un mecanismo que trabaja independientemente de la noción de servicios que estarían proporcionados sobre la Internet, el RSVP es justamente el tipo de solución de arquitectura por el cual se puede interceder. Pero el RSVP no es una muestra completa de los servicios en tiempo real sobre la Internet. Los modelos actuales de servicios que trabajan debajo del nivel del RSVP no son visibles a las aplicaciones (las cuales piden específicos servicios a través del RSVP). Los elementos de red dentro de la Internet, específicamente ruteadores, deben implementar mecanismos que sean específicos a los modelos de servicios que ellos soportan. Esto da lugar a la pregunta de cómo los servicios serán soportados cuando diferentes elementos de red soporten diferentes modelos de servicio. *Breslau* y *Shenker* sugieren que son alguna habilidad de remplazar un servicio con otro, las aplicaciones pueden ser capaces de hacer frente con servicios heterogéneos dentro de la red.²⁸

El ISWG propone un cuadro como modelo de servicio para servicios específicos, y dentro del cuadro se han definido los siguientes servicios que serían ofrecidos en adición al servicio de mejor esfuerzo que la actual Internet proporciona

- **Servicio garantizado**, distribuye paquetes dentro de los tiempos de retraso límites, sin pérdidas por congestión siempre que el tráfico cumpla las especificaciones. Esto es intencional para aplicaciones que son intolerables al retraso y pérdidas de paquetes
- **Servicio predictivo**, proporciona un límite de retraso que es bastante seguro, pero puede, ocasionalmente, imponer pérdidas por congestión al tráfico. La intención de este servicio es permitir una mejor utilización de la red
- **Servicio con retraso controlado**, permite a las aplicaciones dinámicamente adaptar sus peticiones de servicio cambiando las condiciones de la red.
- **Servicio de carga controlada**, proporciona comportamiento que se aproxima al servicio de mejor esfuerzo bajo condiciones de no carga

Cada una de estas clases de servicios es parametrizada de forma tal que estas aplicaciones pueden especificar la cantidad de ancho de banda y los límites de retraso que son requeridos. El modelo común que es usado para parametrizar los requerimientos de tráfico es un *token bucket*, el cual especifica una tasa de tráfico sostenido (la tasa token) y una cantidad de datos que pueden exceder esta tasa para un periodo corto de tiempo (el tamaño del bucket). Un *token bucket* controla el la extensión a la cual el uso en un periodo de tiempo puede afectar el uso en otro.

Cada uno de estos servicios ejecuta el control de admisión, por lo que cuando la red está demasiado cargada para soportar la conexión pedida, el servicio es denegado. Una vez que la admisión es otorgada, la red ha confiado soportar la conexión indefinidamente, tanto como la aplicación conserve la conexión abierta. Este paradigma de admisión es similar a lo que los sistemas telefónicos hacen: nosotros hacemos una petición de llamada marcando el número telefónico, y una vez que la llamada es establecida esta no se desconecta debido a la congestión. Esto simplifica el problema de hacer decisiones de control de admisión, ya que las preguntas solamente llegan a ser sea que los recursos necesarios estén disponibles inmediatamente. Pero con esta simplificación un usuario puede pedir con anticipo una necesidad de servicio o especificar cuando el servicio terminará. En

²⁸ L. Breslau y Scott Shenker, "Una propuesta para acomodar la heterogeneidad", IETF Grupo de Trabajo de Servicios Integrados

algunos casos, las aplicaciones pueden tener información disponible que permitiría a sus necesidades ser especificadas con anticipo: algunas aplicaciones pueden requerir regularmente la comunicación programada, y cualquier transferencia de archivos (tales como una imagen o texto transferido iniciado por un *browser WWW*) deberían ser capaces de especificar la cantidad de datos transferidos.

Algunos de los modelos de servicio ISWG, particularmente el servicio de carga controlada, son propuestos para que sean implementados de forma que un proveedor pueda confiar la distribución de sus servicios bajo todas las circunstancias, esperando que el uso promedio no sobrecargue sus recursos. Si el servicio de carga controlada significa distribuir el desempeño de la red que imita una red de mejor esfuerzo no cargada para aplicaciones que trabajan bien en este ambiente, entonces quizás las peticiones de los usuarios con este servicio es la habilidad para comunicarse ahora y entonces con el entendimiento de que ellos están usualmente inútiles.

Los servicios del ISWG limitan la forma en la cual los usuarios expresan sus demandas para los servicios ofreciendo un pequeño conjunto de servicios parametrizados. Las peticiones en el modelo ISWG incluyen información no costeadas: los usuarios no expresan lo que ellos están dispuestos a pagar por un servicio y por lo tanto el costo de servicio está implicado en los servicios que los usuarios piden.

4.4.2 Calidad de Servicio (QoS) en los servicios de ATM

La Calidad de Servicio (QoS) es un asunto importante para las redes ATM, en parte porque se usa en la distribución de tráfico en tiempo real, como audio y video. Al establecerse un circuito virtual, tanto la capa de transporte (por lo común un proceso de la máquinas *host*, el "cliente") como la capa de red ATM (por ejemplo, un operador de red, la "portadora") deben ponerse de acuerdo en un contrato que defina el servicio. En el caso de una red pública, este contrato debe tener implicaciones legales. Por ejemplo, si la portadora está de acuerdo en no perder más de una célula por cada mil millones y si pierde dos células por cada mil millones, los abogados del cliente pueden alterarse y comenzar a gritar "¡incumplimiento de contrato!"

El contrato entre el cliente y la red tiene tres partes

- 1 El tráfico que se generará
2. El servicio acordado
- 3 Los requisitos de cumplimiento.

Vale la pena apuntar que el contrato puede ser diferente para cada sentido. En una aplicación de video a solicitud, el ancho de banda necesario para el control remoto del usuario al servidor de video podría ser de 1200 bps. En el otro sentido podría ser de 5 Mbps. Cabe señalar que, si el cliente y la portadora no pueden acordar los términos, o si la portadora es incapaz de proporcionar el servicio deseado, no se establecerá el circuito virtual.

La primera parte del contrato es el **descriptor de tráfico** que caracteriza la carga que se generará. La segunda parte del contrato especifica la calidad del servicio deseada por el cliente y aceptada por la portadora. Tanto la carga como el servicio deben formularse en términos de cantidades medibles, para que el cumplimiento pueda determinarse objetivamente. Decir simplemente "carga moderada" o "buen servicio" no es suficiente. Para hacer posible tener contratos de tráfico concretos, el estándar ATM define una serie de parámetros de Calidad de Servicio (QoS) cuyos valores pueden negociar el cliente y la portadora. Para cada parámetro de Calidad de Servicio (QoS) se especifica el desempeño de peor caso y se requiere que la portadora lo cumpla o lo mejore. En algunos casos, el parámetro es un mínimo, en otros es un máximo. Nuevamente, la Calidad de Servicio (QoS) se especifica por separado para cada sentido, algunas de las más importantes se listan en la Tabla 4.3, pero no todas aplican a todas las categorías de servicio.

Parámetro	Siglas	Significado
Tasa de células pico	PCR	Tasa máxima a la que se enviarán células
Tasa de células sostenida	SCR	Tasa de células promedio a largo plazo
Tasa de células mínima	MCR	La tasa de células mínima aceptable
Tolerancia de variación de retardo de células	CDVT	La fluctuación de células máxima aceptable
Tasa de pérdida de células	CLR	Fracción de las células perdidas o entregadas demasiado tarde
Variación de retardo de células	CTD	El tiempo que se lleva la entrega (medio y máximo)
Tasa de errores de células	CCDV	La variación en los tiempos de entrega de células
Tasa de errores de células	CER	Fracción de las células entregadas sin error
Proporción de bloques de células con errores severos	SECBR	Fracción de los bloques alterados
Tasa de mala inserción de células	CMR	Fracción de las células entregadas a un destino equivocado

Tabla 4.3 Parámetros de Calidad de Servicio (QoS).

Los primeros tres parámetros especifican la rapidez a la que quiere transmitir el usuario. La **PCR** (*Peak Cell Rate, tasa de células pico*) es la rapidez máxima con que el transmisor planea enviar células. Este parámetro puede ser menor que lo permitido por el ancho de banda de la línea. Si el transmisor planea sacar células cada 4 μ seg, su PCR es de 250,000 células / seg, aun si el tiempo real de transmisión de células puede ser de 2.7 μ seg

La **SCR** (*Sustained Cell Rate, tasa de células sostenida*) es la tasa esperada o requerida de células promediada en un intervalo de tiempo grande. Para el tráfico CBR, la SCR será igual a la PCR, pero para las demás categorías de servicio será sustancialmente menor. La razón PCR/SCR es una medida de las ráfagas del tráfico.

La **MCR** (*Minimum Cell Rate, tasa de células mínima*) es la cantidad mínima de células/seg que el cliente considera aceptable. Si la portadora es incapaz de garantizar esta cantidad de ancho de banda, debe rechazar la conexión. Cuando se solicita el servicio ABR, el ancho de banda real debe estar entre la MCR y la PCR, pero puede variar dinámicamente durante el tiempo de vida de la conexión. Si el cliente y la portadora acuerdan establecer la MCR en 0, entonces el servicio ABR se vuelve similar al servicio UBR.

La **CDVT** (*Cell Variation Delay Tolerance, tolerancia de variación de retardo de células*) indica la cantidad de variación que habrá en los tiempos de transmisión de las células, se especifica independientemente para la PCR y la SCR. Con un origen perfecto que opera a la PCR, cada célula aparecerá exactamente $1/PCR$ después de la previa. Ninguna célula llegará temprano y ninguna llegará tarde, ni siquiera un picosegundo. Para un origen real que opera a la PCR, habrá un poco de variación en los tiempos de transmisión de las células. La CDVT controla la cantidad de variabilidad aceptable usando un algoritmo de cubeta con goteo.

Los siguientes tres parámetros describen las características de la red y se miden en el receptor. Los tres son negociables. La **CLR** (*Cell Loss Ratio, tasa de pérdidas de células*) es autoexplicativa. Mide la fracción de las células transmitidas que no se entregan en absoluto o que se entregan demasiado tarde, siendo inservibles por lo mismo (por ejemplo, en el tráfico en tiempo real). El tránsito del origen al destino. La **CDV** (*Cell Delay Variation, variación de retardo de células*) mide la uniformidad con que se entregan las células.

Los últimos tres parámetros QoS especifican características de la red, y generalmente son negociables. La CER (*Cell Error Ratio*, **razón de errores de células**) es la fracción de las células que se entregan con uno o más bits equivocados. La SECBR (*Severely-Errored Cell Block Ratio*, **tasa de bloques de células con errores severos**) es la fracción de bloques de N células en los que M o más células contienen errores. Por último, la CMR (*Cell Misinsertion Rate*, **tasa de mala inserción de células**) es la cantidad de células/seg que se entregan al destino equivocado debido a un error no detectado en la cabecera.

La tercera parte del contrato de tráfico indica lo que constituye el cumplimiento de las reglas. Si el cliente envía una célula demasiado pronto, al respecto surgen las siguientes cuestiones. ¿Invalida esto el contrato? Si la portadora no alcanza a cumplir uno de los objetivos de calidad durante un período de 1 mseg, ¿puede interponer una demanda el cliente? De hecho, esta parte del contrato se negocia entre las partes y dice qué tan estrictamente se harán cumplir las primeras dos partes.

Las redes ATM actualmente proporcionan cinco categorías de servicio:

- Tasa de bits constante (CBR, constant bit rate)
- Tasa de bits variable en Tiempo Real (rt-VBR, real-time variable bit rate)
- Tasa de bits variable en no Tiempo Real (nrt-VBR, non-real-time variable bit rate)
- Tasa de bits no especificada (UBR, unspecified bit rate)
- Tasa de bits disponible (ABR, available bit rate)

Los servicios CBR, rt-VBR están definidos para transportar tráfico en tiempo real, mientras que los servicios nrt-VBR, UBR y ABR están diseñados para tráfico que no es en tiempo real. Además de estas categorías, el servicio tasa de trama garantizada (GFR, *guaranteed frame rate*) está siendo actualmente estandarizado por el Grupo de Trabajo de Administración de Tráfico del Forum ATM. La Recomendación ITU-T I.371 también define categorías similares llamadas capacidades de transferencia ATM.

El servicio CBR es utilizado para pedir conexiones que una cantidad constante de ancho de banda (caracterizado por una tasa de células pico) está disponible a través del tiempo de vida de la conexión. La fuente puede transmitir a la PCR o bajo de ella para cualquier longitud de tiempo, y la red asegura la Calidad de Servicio (QoS) negociada. Los ejemplos de aplicaciones que pueden utilizar el servicio CBR son voz, vídeo y aplicaciones de emulación de circuitos.

El servicio rt-VBR está también diseñado para aplicaciones en tiempo real que requieren un retraso constante. Ejemplos de tales aplicaciones incluyen voz con supresión de silencios, así como el tráfico de vídeo comprimido. La diferencia entre la CBR y la rt-VBR es que las conexiones rt-VBR están caracterizadas en términos de una tasa de células sostenida y el tamaño máximo de la ráfaga, además de la PCR. Por lo tanto, se espera que la fuente transmita a una tasa variable. Las conexiones nrt-VBR están caracterizadas además en términos de la PCR, SCR y MBS. La nrt-VBR, sin embargo, está diseñada para tráfico por ráfagas que no sea en tiempo real sin retrasos o con límites en la variación del retraso, pero con un requerimiento en la tasa de pérdidas bajo.

El servicio UBR es el servicio más simple. Está diseñado para el tráfico de datos tradicional, tal como la transferencia de archivos y correo electrónico. Este servicio es un servicio de mejor esfuerzo. Como el UBR, el servicio ABR está diseñado para aplicaciones de datos sin garantías de retraso. La ABR, sin embargo, intenta minimizar la tasa de pérdidas de celdas, y da una garantía de tasa de celdas mínima a través de un mecanismo de control de flujo. La red proporciona retroalimentación a los recursos cuando la carga de red cambia, y los recursos ajustan sus tasas de transmisión adecuadamente. Los recursos ABR comparten equitativamente el ancho de banda disponible, y el recurso nunca es requerido para enviar abajo su MCR especificada.

Como la UBR y la ABR, el servicio GFR está diseñado para soportar aplicaciones que no son en tiempo real. El servicio es particularmente marcado a los usuarios quienes no son habilitados para especificar todas las necesidades de parámetros de tráfico para pedir servicios tales como la VBR, y no están equipados para cumplir con el ambiente de sistema final requerido por la ABR. Aunque tales usuarios pueden actualmente pedir conexiones UBR. La GFR garantiza una tasa mínima y una tasa de pérdidas de células baja, mientras requiere poca interacción entre los usuarios y la red. La característica atractiva de la GFR es que su visibilidad de nivel de tramas y sus garantías, resultan ser muy útiles a los datos que se distribuyen.

4.5 Mecanismos que proporcionar garantías

Esta sección da más detalles de los mecanismos de uso de sistemas finales y los elementos de red para proporcionar las garantías para cada categoría de servicio.

4.5.1 CBR, rt-VBR y nrt-VBR

Las tres categorías: CBR, rt-VBR y nrt-VBR proporcionan control de tráfico en lazo abierto y la evasión preventiva de congestión. Durante el control de admisión de conexión (CAC), las reservaciones son hechas en los nodos de red para conocer el contrato de tráfico y los compromisos de Calidad de Servicio (QoS). El contrato de tráfico puede ser conocido por el sistema final fuente si se ejecuta un tráfico apropiado. Alternativamente, la red o sistema final destino pueden hacer cumplir el contrato utilizando funciones de control de parámetros (UPC). El tráfico y la UPC pueden ser ejecutadas utilizando el algoritmo de tasa de células genérico (GCRA). Para cada célula que llega, el GCRA determina si las células conforman el contrato de tráfico de la conexión o no. Las células que no conforman el tráfico pueden ser marcadas (su prioridad de pérdida de celdas (CLP) es colocada en 1) u omitidas. Todas las células marcadas son descartadas antes de que una célula no marcada sea descartada (por ejemplo, las células no marcadas tiene una mayor prioridad). La CBR, rt-VBR y la nrt-VBR proporcionan un aislamiento completo entre conexiones: las conexiones que exceden su contrato de tráfico no deberían afectar la Calidad de Servicio (QoS) experimentada por otras conexiones.

4.5.2 UBR

El servicio básico UBR no tiene mecanismos de control de congestión explícitos. La señalización UBR y los parámetros son mínimos: solamente la PCR es especificada, y precisamente este no puede estar sujeto a procedimientos CAC o UPC. Los conmutadores responden a la congestión descartando células cuando sus *buffers* se llenan. Las políticas de deserción de conmutadores inteligentes y las políticas de sistemas finales pueden mejorar el desempeño de la UBR con *buffers* limitados. Los mecanismos de deserción de paquetes inteligentes también se aplican a todos los servicios los cuales usan la capa 5 de adaptación ATM (AAL5), tales como la VBR-nrt y la ABR.

4.5.3 ABR

La ABR permite a la red dividir el ancho de banda disponible imparcial y eficientemente entre las fuentes activas. El modelo de administración de tráfico ABR es:

- 1) "basado en tasa" porque las fuentes transmiten a una "tasa" especificada.
- 2) "de lazo cerrado" porque, diferentes a la CBR y a la VBR, existe una continua retroalimentación de control de información a la fuente a través del tiempo de vida de la conexión, y
- 3) "fina a fin" porque las células de control viajan desde la fuente a su destino y regresan a la fuente.

4.5.4 GFR

El servicio GFR requiere el uso de datos para ser divididos en tramas que pueden estar descritas en la capa ATM. Si el usuario envía tramas que no exceden el tamaño máximo de trama (MFS) en una ráfaga que no exceda el tamaño máximo de ráfaga (MBS), el usuario puede esperar que sus tramas sean distribuidas con pérdidas mínimas. La GFR permite a los usuarios distribuir tráfico en exceso si las fuentes están disponibles. Tales fuentes deben ser compartidas "justamente" entre los usuarios.

4.6 Comparación de costos y desempeños entre las categorías de servicio ATM

La Tabla 4.4 y Tabla 4.5 comparan las seis categorías de servicios ATM en términos de la complejidad de la admisión de conexión, el costo de sistemas finales (tarjetas de interfaz de red o NICs) y elementos de red (conmutadores), requerimientos de buffer y garantías proporcionadas.

Categoría	COMPLEJIDAD DE				Complejidad Total
	Admisión de Conexión	Agregación de conexión	Sistema Final	Elemento de Red	
CBR	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
rt-VBR	Alta	Alta	Media	Media	Media
nrt-VBR	Alta	Alta	Media	Media	Media
UBR	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
ABR	Media	Media	Alta	Alta	Alta
GFR	Media	Media (tamaño de trama)	Media	Media	Media

Tabla 4.4 Costo / Complejidad de las categorías de Servicios ATM

Categoría	REQUERIMIENTOS DE BUFFER		GARANTÍAS			
	Elemento de Red	Sistema Final (o ruteador)	Aislamiento	Retraso	Pérdidas	Tasa
CBR	Muy baja	Depende del tráfico	Si	Si	Si	Si
rt-VBR	Medio	Bajo	Si	Si	Si	Si
nrt-VBR	Alto	Bajo	Si	No	Si	Si
UBR	Alto	Bajo	No	No	No	No
ABR	Bajo	Alto	Si	No	Si	Si
GFR	Alto	Bajo	Si	No	Si (basado en tramas)	Si

Tabla 4.5 Desempeño de las categorías de servicio ATM

Como se puede ver en las tablas, la UBR es el servicio más simple en términos de señalización, por tener un parámetro sencillo, la PCR. Además, los sistemas finales y los elementos de red son sencillos ya que no requieren ejecutar ninguna función. La UBR, no da garantía aunque si requiere un alto almacenamiento en el conmutador.

La CBR y la rt-VBR dan las garantías más estrictas, pero requieren especificar al usuario el número de parámetros que definen exactamente el contrato de tráfico y los requerimientos. La CBR requiere la especificación de la PCR y la CDVT, en adición a los parámetros de Calidad de Servicio (QoS).

requeridos, y dan un estricto retraso, variación de retraso. Los sistemas finales y los elementos de red son un poco sencillos, ya que ellos solamente necesitan mejorar las funciones requeridas en el control de admisión de conexión, y mejorar las funciones de políticas. Se necesita un poco de almacenamiento en los conmutadores. El problema con la CBR, sin embargo, es que ésta gasta ancho de banda: el tráfico va en ráfagas, y la mayoría del tráfico va por ráfagas. La CBR es muy ineficiente en el ancho de banda porque durante la admisión de conexión, los elementos de la red asumen que la conexión siempre enviará a la tasa pico, y los recursos deben ser reservados para satisfacer los requerimientos de Calidad de Servicio (QoS) bajo tales condiciones.

4.7 Conclusiones

Del estudio de este capítulo podemos concluir en primer lugar, que actualmente los servicios de banda ancha deben de llevar consigo un contrato que defina los términos mediante los cuales deba ser distribuido, la Calidad de Servicio (QoS). Este contrato se puede visualizar como un valor agregado al servicio y que ayudará a que cada vez sea mayor el número de personas que contraten este tipo de servicios ya que lleva garantizados ciertos aspectos en la distribución. En cuanto a la Calidad de Servicio (QoS) de servicios distribuidos sobre la red de cable, los parámetros de esta deben configurarse directamente ya sea en el *módem de cable*, en el CMTS o en ambos. La Calidad de Servicio (QoS) que ofrece el estándar DOCSIS en su última versión es mucho mejor con relación a la primera ya que ofrece garantías adicionales, proporcionando mayor integridad a la entrega de información. En cuanto a la Calidad de Servicio (QoS) de los servicios distribuidos sobre las redes ATM y la Internet, se pudo analizar cada uno de los parámetros y se puede concluir que cada vez se está integrando un mayor número de parámetros con la finalidad de satisfacer las demandas de los usuarios. La Calidad de Servicio (QoS) se aplica de acuerdo al servicio que se esté distribuyendo y a las prioridades que tengan los servicios para el usuario, es por ello que es muy importante que el proveedor conozca bien las necesidades de sus usuarios para poder distribuir sus servicios con una calidad adecuada.

CAPÍTULO 5

Análisis económico de la tecnología de cabledem en México

Actualmente las industrias se están reestructurando para sobrevivir. Las divisiones tradicionales de la industria representadas por la televisión, el teléfono y la computación están definidas por sistemas integrados verticalmente y distintos en contenido, distribución y utilización. Además operan con diferentes modelos de negocio y bajo diferentes restricciones regulatorias. Cada una de ellas es amenazada por un mercado nuevo donde los viejos distintivos serán suspendidos para que existan o sean relevantes nuevos distintivos los cuales requerirán cambios fundamentales en la forma de conducir el negocio.

Un nuevo modelo emerge donde la distinción significativa se hace entre el contenido, comunicaciones e interacción. La interoperabilidad a través de sistemas distintivos previos será requerida para capitalizar el mercado de la información.

Las industrias que están involucradas directamente son el teléfono, la televisión por cable y terrestre y las redes de datos (Internet y redes privadas de datos).

En el caso de la televisión por cable, para que la infraestructura de ésta pueda utilizarse eficazmente, por ejemplo para la distribución de nuevos servicios (acceso a Internet, telefonía, etc.) los cableoperadores tienen que planear la infraestructura que permita el tráfico IP en su red de banda ancha. La penetración de PCs en el hogar crece vertiginosamente así como el acceso a Internet y el número de cuentas de correo electrónico. En el caso de México, para julio del 2000 se tenían 2.5 millones de usuarios de Internet, lo que representa el 2.49% de los usuarios totales de Internet en el mundo.²⁹ El acceso convencional a Internet a través de la línea telefónica tiene la desventaja de ser lento, bloquear en algunos casos el acceso a llamadas telefónicas simultáneas y algunas veces, dificultad para establecer enlace en horas de tráfico pesado.

El operador de cable puede ofrecer un servicio de acceso inmune a esas tres desventajas con la gran ventaja de cobrar un servicio adicional al suscriptor y así permitir esquemas de promociones o paquetes atractivos para una mayor población. También, al agregar un servicio adicional a la oferta, la decisión de cancelar dos servicios se vuelve más complicada que cancelar solo uno.

En este capítulo analiza las cuestiones económicas involucradas en la distribución de servicios digitales e integrados sobre las redes de cable. Como se ha señalado, el cambio económico de las redes tradicionales de TV por cable involucraba la administración de distribución de una sola aplicación, tomando en cuenta la competencia, y utilizando la tecnología que no cambiaba rápidamente. Al distribuir servicios múltiples sobre la red de cable, esta situación cambia drásticamente. La clave del cambio de los operadores de cable radica en que estos busquen la mejor

²⁹ Fuente: http://www.nua.ie/surveys/how_many_online/index.html

forma de realizar la transición del negocio para la distribución de servicios múltiples y la mejor forma de operación de la red para que se logre la distribución de tales servicios

La transición para la distribución de servicios digitales múltiples puede requerir de una gran inversión de los operadores de cable en la red. En este capítulo se identifican las fuentes de estos costos y las formas en las cuales una arquitectura de comunicación puede afectar los costos. Posteriormente, se muestra como el costo de la distribución de servicios nuevos puede afectar la habilidad de los operadores de cable de hacer frente a los proveedores competencia de estos servicios. Finalmente, se analiza la posición económica de los fabricantes del *módem de cable* así como de los operadores que ofrecen el servicio de esta tecnología.

5.1 Los operadores de cable como operadores de acceso a Internet

Para que un operador de cable se convierta en un operador de acceso a Internet, deben pensarse cuidadosamente las diferentes opciones disponibles. Antes que nada, es de vital importancia que el operador tenga una idea de penetración de PCs en el área donde ofrece servicio y en paralelo obtenga información sobre los costos implicados en la distribución de servicios digitales integrados a través de la red de cable.

Cabe recordar que, técnicamente es necesario que la planta externa cuente con la vía de retorno activada para la zona donde se planea ofrecer acceso a Internet por cable. Aunque existe la tecnología para que el *módem de cable* tenga retorno telefónico, esto implica perder la ventaja competitiva e inversiones mayores por parte del operador (troncales, módems, servidores y ruteadores adicionales para acceso telefónico), así como un incremento en el costo del módem de cable (\$20 dólares en promedio más alto que para el módem de dos vías).

Otra consideración que deben tomar en cuenta los operadores es decidir si ofrece solamente el acceso a los Proveedores del Servicio de Internet (ISPs) a través de su planta o se convierte en un Proveedor de Servicio de Internet también. Puede ser que esta decisión esté influenciada por la reglamentación local y es necesario verificar esto con el tipo de licencia que se obtenga. Ofrecer acceso a estos servicios únicamente, implica que el usuario tenga su cuenta de correo electrónico e Internet con un ISP separado del sistema de cable y utilice el cable solamente para establecer esta comunicación. Este esquema requiere de inversiones menores en la infraestructura, pues simplemente se requiere enrutar cada usuario a su ISP externo. En este caso el usuario paga una cuota de servicio a su ISP y el operador de cable decide si se emiten una sola factura o la emisión de dos facturas separadas.

La otra opción de convertirse en un ISP, tiene la ventaja de que todo lo que paga el usuario va a una sola empresa, pero esto requiere de recursos humanos talentosos que puedan generar material atractivo para los usuarios. Deberán ofrecer sistemas confiables de cuentas de correo electrónico y acceso a Internet externo, pero también deberán generar contenido local atractivo para los usuarios. Por ejemplo, la guía de programación, resúmenes sobre películas transmitidas por cable, guías de restaurantes locales, noticias locales, etc. Mientras más tiempo pase el usuario navegando en los servicios locales, menor será la inversión en equipo y enlaces del ISP. Cada vez que un usuario sale a Internet externo, ocupa un ancho de banda de los enlaces que el ISP haya contratado para salir externamente. Si esta cantidad de usuarios es alta y el tráfico es pesado (bajan archivos pesados), se satura rápidamente el enlace externo.

5.2 Importancia e implicaciones económicas de la distribución de servicios digitales e integrados sobre la red de cable

5.2.1 Beneficios de la integración de servicios

Las ventajas de un sistema que está construido para permitir la distribución de servicios específicos se pueden agrupar en dos categorías: economía del campo que permite que múltiples servicios puedan ser transportados a un menor costo que si los sistemas estuvieran separados y las ventajas estratégicas que permiten a los operadores de cable mayor flexibilidad en sus negocios

La economía del campo ofrecida por una arquitectura de cable digital puede provenir de diversas fuentes:

- *Capacidad de la planta:* Las modificaciones a gran escala a la planta de cable tales como la adición de amplificadores upstream, incremento en la capacidad del canal, y la eliminación de fuentes de ruido pueden ser muy caras. Un sistema de cable de servicios integrados puede reducir o eliminar la necesidad del trabajo de la capacidad de la planta mientras mayor sea el número de servicios distribuidos sobre la línea, permitiendo que nuevos servicios compartan algunos canales o bien asegurando que una planta calificada continúe trabajando mientras una nueva capacidad sea demandada. Esto podría significar reducir los costos que de otra forma incurrirían como servicios adicionales.
- *Equipamiento terminal:* Una arquitectura digital podría permitir a los componentes físicos del equipamiento terminal ser compartidos entre los múltiples servicios. Esto podría reducir el costo de proporcionar servicios juntos, lo cual sería crítico a los operadores vendiendo servicios en competencia con otros proveedores.
- *Compartición de ancho de banda:* Al permitir que múltiples servicios operen dentro del mismo canal en un sistema de cable, una arquitectura múltiservicios hace más eficiente el uso de los recursos de cable además resulta ser más atractivo para los operadores de cable.

Los beneficios estratégicos que los operadores de cable podrían esperar de una arquitectura de cable digital con servicios integrados son más difíciles de predecir, particularmente sin el conocimiento detallado de los costos de diseño de un sistema. Sin embargo se han identificado algunas ventajas potenciales de estrategias que incluyen lo siguiente

- Un sistema que tiene los costos fijos más bajos para proporcionar servicios podría ayudar a los operadores de cable a desplegar servicios a pesar de la demanda, competencia o regulación inciertas.
- Un sistema de servicios integrados puede proporcionar oportunidades para reducir el costo de distribución de servicios empaquetando varios servicios juntos, o bien proporcionar servicios que puedan ejecutarse mejor que los que distribuye la competencia. Aún si tal diferenciación adicional costo, puede permitir a los operadores de cable evitar una guerra de precios con la competencia.

5.2.2 Implicaciones económicas de la distribución de servicios digitales sobre la red de cable

El análisis de la economía de la operación de un sistema de cable digital nos da la visión no solamente en la forma en que dicho sistema puede beneficiar a los operadores de cable sino que también nos permite conocer la forma en que se puede desarrollar una mejor arquitectura de red. El diseño ingenieril debe tomar en cuenta la arquitectura que afecte adecuadamente tanto los costos como la funcionalidad de los sistemas que distribuyen servicios.

En este trabajo no se expondrá el diseño, pero sin embargo se identificaran algunos principios importantes

- Una ventaja importante de un sistema de cable digital de servicios integrados debe ser la proporción de economía del campo en la distribución de múltiples servicios, reduciendo la inversión y los gastos de operación fijos además de permitir a algunos servicios ser empaquetados juntos cuando son distribuidos a los usuarios. Por lo tanto, los diseñadores de la red deben tener en cuenta que tanto el equipo de la Cabeza Terminal como el equipo terminal localizado en la premisa del usuario deben ser compartidos entre múltiples servicios.
- En un ambiente donde los servicios de comunicación son distribuidos competitivamente, el bajo costo del equipo terminal puede dar al operador de cable una ventaja estratégica de un costo marginal menor
- Las ventajas estratégicas y competitivas que permiten la distribución de servicios a bajo costo dependen tanto del costo del equipo como del costo de la operación del servicio. La necesidad de seguridad para algunos servicios, particularmente el telefónico, puede manejar efectivamente los costos. El encontrar formas mediante las cuales la arquitectura de cable pueda reducir sus costos de operación (tales como un monitoreo efectivo de la red) puede ser válido
- El uso flexible de recursos es muy importante. En el largo plazo los operadores de cable derivan ventajas de la arquitectura de cable cuando ellos pueden reasignar recursos como la demanda lo indica y cuando la arquitectura soporta nuevos servicios y capacidades que pueden llegar a ser populares en el futuro. En el corto plazo, los operadores derivan una ventaja estratégica si ellos pueden utilizar su planta para proporcionar capacidades que sus competidores no pueden proporcionar
- La escalabilidad del sistema es muy importante. Los diseñadores de una arquitectura de cable digital deben considerar la forma en que el sistema pueda adaptar el incremento de servicios y la demanda de futuras aplicaciones

5.2.3 Implicaciones económicas de la distribución de servicios integrados sobre la red de cable

Una parte muy importante en el estudio de la distribución de servicios integrados sobre la red de cable son sus implicaciones económicas ya que de ellas depende el que un operador pueda ofrecer este tipo de servicios a los usuarios y de que los usuarios renten este tipo de servicios al proveedor

A continuación se presentan algunas de las implicaciones económicas que han sido detectadas en la distribución de servicios integrados sobre la red de cable

Con la introducción del estándar DOCSIS³⁰, específicamente, es posible migrar de las Cabezas Terminales analógicas a las Cabezas Terminales Digitales, mapear video digital en paquetes MPEG, véase la Figura 5.1, transportar paquetes IP en tramas DOCSIS y tratar la transmisión de voz como voz sobre IP, todo ello utilizando el estándar DOCSIS. La transmisión de voz sobre IP es realizada a través de la segmentación, fragmentación y concatenación de paquetes MPEG y la adición de Calidad de Servicio (QoS)

La migración de nodos de fibra a mini nodos de fibra los cuales den servicio de 10 a 20 casas puede ser justificada de una forma más sencilla a través de la eliminación del equipo costoso de los concentradores y nodos de fibra. La adopción IP sobre DOCSIS muestra el beneficio más reciente que ha sido logrado

³⁰ Se hablara del estándar DOCSIS debido a que es el estandar con mayor oportunidad de mercado en la industria del modem de cable

Considerando que el estándar DOCSIS para la distribución de datos de alta velocidad está basado en el transporte de paquetes MPEG donde IP es mapeado dentro de tramas DOCSIS o paquetes MPEG. La misma construcción de MPEG es también utilizada para vídeo digital y el fundamento de voz sobre IP, que habilita la eficiente distribución de múltiples servicios. Si todo el vídeo analógico fuera convertido a vídeo digital y después transportado sobre IP, una fábrica de difusión/ ruteo podría ser utilizada para todo el tráfico.

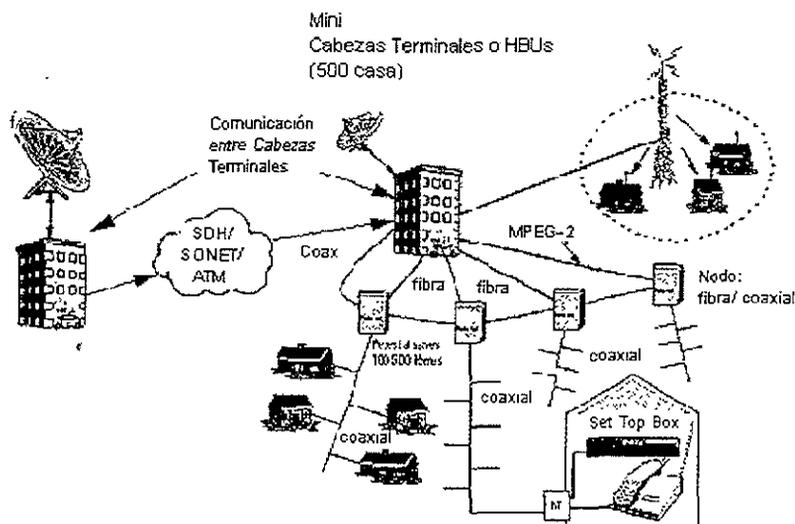


Figura 5.1 Distribución de vídeo sobre la red de cable

Al realizar la transición de todo el tráfico a DOCSIS, la configuración de la Cabeza Terminal puede ser enormemente simplificada. En lugar de que existieran la Cabeza Terminal Analógica, el conmutador de circuitos y el CMTS, la arquitectura de Cabeza Terminal podría ser consolidada a un CMTS sencillo que podría ser utilizado para distribuir servicios de vídeo, voz y datos a una fábrica común de difusión/ruteo existente. Mientras que el CMTS actualmente soporta el acceso a un solo canal de 6 MHz, el nuevo CMTS soportaría múltiples ranuras de 6 MHz.

Al eliminar la necesidad de numerosas y complejas configuraciones de la Cabeza Terminal, las compañías reducen el costo de distribución de datos a la infraestructura. Los productos del CMTS pueden estar asignados donde se necesitan, simplificando la distribución de infraestructura completa. Las funciones que actualmente son duplicadas en cada Cabeza Terminal analógica/digital pueden ser adelantadas un nivel en la jerarquía de red con funciones regionales centralizadas. Una configuración de oficina centralizada puede administrar regiones geográficas más grandes.

La siguiente generación de oficinas reemplazarán los numerosos sistemas distribuidos de Cabezas Terminales con una implementación que soporte

- Sistemas de Acceso Condicional (CAS)
- CMTS
- Conmutadores de circuitos (existencia de soluciones de acceso a sistemas telefónicos hasta la transición de redes públicas a IP)
- MPEG o multiplexores estadísticos
- Servidores VOD
- Vídeo analógico
- *Servidores de archivos*
- Conmutadores Ethernet
- Pasarelas
- Inserción de anuncios

Debido a que muchas funciones pueden ser centralizadas a un nivel más alto para reducir los costos de equipo y simplificar la administración, la nueva infraestructura IP/DOCSIS también permite que la colocación de inteligencia en las dos vías de transmisión, upstream y downstream. Por ejemplo, los dispositivos inteligentes en una casa podrían ser diseñados de tal forma que pudieran controlar la descarga de anuncios. Las conexiones del CMTS y el módem de cable soportan una gran variedad de dispositivos con inteligencia colocados donde estos logran los mejores rendimientos y satisfacción del consumidor.

Con la llegada del protocolo DOCSIS, la transmisión de IP sobre DOCSIS ha habilitado no solamente la transmisión de datos a alta velocidad, sino también la transmisión de voz sobre IP y vídeo digital sobre DOCSIS

Los elementos clave que forman parte del hardware son el CMTS y el *módem de cable*, combinados con el uso de ruteadores desplegados en el concentrador para rutear el tráfico a varios nodos de fibra. Estos componentes de sistema están basados en estándares que sirven como plataforma para DOCSIS

Beneficios de la solución IP- MPEG

El colapso de la arquitectura tradicional de las Cabezas Terminales dentro de la red distribuida de dispositivos CMTS resulta en beneficios difíciles de alcanzar para proveedores de cable individuales y la industria completa.

En nuestros días, la logística y el sobresalto de costos por la introducción de nuevos servicios demandan planeaciones e implementaciones costosas ya que cada nuevo servicio puede traducirse en gastos de infraestructura adicional! Al poder transmitir IP sobre DOCSIS a través de la infraestructura completa de la red, los operadores de cable pueden reducir el costo incremental por la introducción de un nuevo servicio utilizando la misma fábrica de difusión/ruteo y el mismo CMTS del sistema de distribución que como lo hace con los servicios existentes. Los costos de mantenimiento son también significativamente menores al tener una arquitectura menos compleja

Una infraestructura común capaz de transmitir cualquier tipo de datos da a las compañías de cable la oportunidad de desplegar nuevos servicios rápida y económicamente. Los nuevos servicios no requieren ningún cambio en el equipo de la Cabeza Terminal, equipo de red o en la Unidad de Interfaz de Red (NIU)³¹. Las compañías pueden introducir rápidamente los nuevos servicios a los usuarios

³¹ La NIU es el módem de cable. Este reduce la complejidad sobre la red

El CMTS, el módem de cable y el transporte de IP sobre MPEG definido por los estándares DOCSIS 1.0 y 1.1 da a los MSOs³² de cable la flexibilidad de maximizar la inteligencia del lugar para conocer las metas del negocio asegurando la satisfacción del usuario. Con servicio de juegos, por ejemplo, los servidores de juegos pueden ser centralizados de forma tal que la duplicación de costos de los servidores se pueda evitar al cubrir una larga región geográfica con el servicio

Al soportar la asignación dinámica del espectro basada en requerimientos de tráfico en tiempo real, la infraestructura de IP sobre MPEG hace uso óptimo del ancho de banda. Con un mayor ancho de banda disponible, las compañías de cable no solamente pueden introducir más servicios y llegar a un mayor número de casas con cualquier infraestructura, sino también pueden garantizar varios niveles de garantía de servicio y desarrollar una estructura de precios basada en la Calidad de Servicio (QoS)

La convergencia de varios tipos de servicios crea una simplificación para la infraestructura de red y para las funciones de la oficina tales como administración de la red, Calidad de Servicio (QoS), señalización, seguridad, fábrica de ruteo y administración de ancho de banda

Las redes basadas en DOCSIS permiten a los operadores de cable grandes y pequeños, con sistemas grandes y pequeños, ofrecer un conjunto de servicios. El reto con muchos de estos nuevos servicios y tecnologías ha sido que muchos operadores pequeños y medianos no pueden ofrecer una serie de servicios que muchos de los grandes operadores ofrecen actualmente. Una fábrica sencilla proporciona una aproximación escalable para ofrecer una opción completa de servicios sin una inversión de múltiples sistemas discretos.

5.2.4 Cofización del ancho de banda en un sistema de cable

La distribución de servicios digitales e integrados pueden requerir ancho de banda dedicado, o pueden hacer uso del ancho de banda bajo demanda. Una opción para la distribución de servicios digitales a través de la red de cable es que los operadores de cable reserven parte del ancho de banda disponible para esta distribución o bien desplacen en el ancho de banda los servicios ya existentes, lo cual representa una gran oportunidad para ellos

Al tener más canales disponibles sobre un sistema de televisión por cable brinda la oportunidad de negocio de incrementar su potencial de crecimiento, ofreciendo una mayor y mejor programación atrayendo de esta forma a más suscriptores o bien ofreciendo una programación por la cual los suscriptores pagarán más, debido a la inclusión de nuevos servicios. Dado que las preferencias entre los televidentes son algunas veces similares entre ellos mismos, se espera que mientras más canales sean adicionados a un sistema cada canal tradicional tendrá un efecto pequeño en la demanda para la difusión por cable. Es decir, se espera que el valor marginal de la capacidad de canales adicionales en un sistema de televisión por cable disminuya a medida que el número de canales se incremente

Si no hubiera tal valor de disminución marginal y todos los canales tuvieran el mismo valor, entonces se podría decir que el valor de cada canal es una fracción del valor del sistema de cable completo. Para un sistema de televisión por cable valuado en \$12,000 pesos por cada casa que pasa, transportando 50 canales, el valor medio de un canal sería \$240³³ por cada casa que pasa. Pero debido a que existe una disminución del valor a cada canal adicionado, se puede decir que el valor del ancho de banda de cada canal debe ser menor que éste. Intuitivamente se puede esperar que el valor marginal sea menor ya que los últimos canales visitados son menos popular que los canales más visitados

³² MSO, Múltiple System Operators

³³ El costo de construcción de un sistema de cable sería significativamente menor que \$12,000 por cada casa que pasa. Pero aquí se usa una estimación del valor del sistema más que el costo ya que se está analizando la cantidad que el usuario debe pagar por la renta de una fracción del servicio

Una mejor aproximación del valor marginal de la capacidad del canal es realizada examinando la forma en que las compañías de cable construyen sus sistema de cable. Si se asume que los operadores de cable han construido su sistema, aproximadamente, en las proporciones correctas, entonces ellos deben tener suficiente capacidad económica para adicionar más capacidad a su infraestructura.

Un sistema típico moderno de cable puede transportar 60 canales de televisión, utilizando toda la capacidad del sistema para los servicios de televisión. Al construir un sistema con capacidad para un mayor número de canales afecta el costo y por lo tanto el número de amplificadoras dentro del sistema. Se ha estimado que el costo de componentes electrónicos en un sistema de cable representa la cuarta parte del costo total del sistema³⁴. Si se construyese un sistema de cable con la mitad de la capacidad total, 60 canales, el costo de los componentes electrónicos se duplicaría, por lo que el costo de \$4240 pesos por cada casa que pasa un sistema con 64 canales de transmisión, se elevaría a \$5360 pesos por cada casa por la adición de 32 canales. Esto nos muestra que para adicionar capacidad al sistema, el costo por cada canal de 6 MHz sería de \$33.0 por cada casa que pase el sistema. Si los operadores de cable desean incrementar la capacidad de sus sistema de cable para transportar un número mayor de canales del que se tiene, entonces esta estimación representa el valor marginal del ancho de banda del sistema.

Costo del ancho de banda por servicio

Si un nuevo servicio que un operador de cable puede transportar requiere sus propios canales de 6 MHz sobre la red, es el costo del ancho de banda lo suficientemente alto como para imposibilitar el transporte de un servicio con baja penetración de mercado? Supongamos que un operador de cable está considerando ofrecer un servicio que requerirá dos canales, servirá a solamente 1% del total de usuarios de cable y es vendido a un costo mensual de \$300 a cada usuario, la mitad del cual es un beneficio para la operación. El valor del transporte de este servicio es \$18.0 pesos por cada usuario por año. Si el operador de cable espera el 10% de recuperación anual de las inversiones, entonces al entregar dos canales con un costo fijo de \$33.0 pesos por casa cada uno debe ser equivalente a un costo anual de \$6.6 pesos por casa, justamente una tercera parte de los beneficios del servicio hipotético. El costo no es lo suficientemente alto como para imposibilitar el transporte del servicio, pero el ejemplo sugiere que el costo de distribución de servicios con ancho de banda dedicado podría ser una barrera para desplegar servicios con baja penetración de mercado.

Costo de ancho de banda por uso

Otra forma de pensar en el costo por el uso de ancho de banda es en un ambiente donde los recursos de ancho de banda son compartidos dinámicamente entre los servicios sobre la red de cable. Por ejemplo, un sistema de video sobre demanda podría operar sobre la red de cable asignando dinámicamente los canales a los suscriptores mientras se pague por ver películas sobre el sistema. El problema es básicamente el mismo: mientras exista algo que se pueda hacer con los recursos de la red, existe un costo por el uso del ancho de banda para el servicio de video sobre demanda. Pero en este caso el costo por la utilización del ancho de banda puede ser obtenido mejor como el costo por uso ya que la cantidad de ancho de banda que se necesita es función de la forma en la cual el servicio es utilizado. El análisis en este caso es complicado por dos factores: primero, el costo puede ser mucho más alto en horas pico, y segundo, el costo depende de la forma en la cual los usuarios están compartiendo individualmente las piezas controladas de la red.

Supongamos, por ejemplo, que un sistema de video sobre demanda distribuye video no comprimido en un canal de 6 MHz, y un suscriptor necesita utilizar un canal por dos horas para ver una película. ¿cual es el costo económico del desplazamiento de este ancho de banda? Si se asume que el

³⁴ Ciciora, Walter S. "Cable Television in the United States: An Overview." Louisville, Co Cable Television Laboratories, 1995.

operador de cable desea recuperar su inversión al 10% anual y el valor del ancho de banda es de \$33.0 pesos por casa, el costo de un canal sería de 0 038 pesos por hora por casa (asumiendo que la demanda no varía en el tiempo) El factor crítico es el número de casa servidas, más preciso, el número de casas que utilizan este canal cuando un suscriptor lo utiliza. En un sistema híbrido fibra/coaxial se puede limitar el número de casa conectadas a un nodo. Si existen 500 casas por nodo, el costo de ancho de banda es de 19 centavos por dos horas (y si hubieran 250 casa por nodo el costo sería la mitad del anterior)

El análisis anterior sugiere que una arquitectura híbrida fibra/coaxial abre las diferentes posibilidades para auxiliar en la carencia de ancho de banda. Además de la difusión de televisión, muchos servicios digitales pueden transmitirse a través del sistema de cable, como se vio en el capítulo 2 de este trabajo- tales como vídeo sobre demanda o servicio telefónico- los cuales asignan ancho de banda a usuarios individuales sobre el sistema. Como se ha mencionado en este trabajo, al utilizar la arquitectura híbrida fibra/coaxial, la red de cable es segmentada en redes coaxiales que son conectadas individualmente a la Cabeza Terminal, la cual da servicio a aproximadamente 500 casas. Dividiendo estos segmentos en pequeñas redes, un operador de cable puede incrementar la cantidad media de ancho de banda disponible por suscriptor. Si el sistema se construye con la capacidad suficiente de fibra en la red troncal, el costo de la subdivisión es simplemente el costo de adicionar más nodos locales en lugar del costo por interconexión de redes coaxiales y de fibra

Siguiendo este método de incremento del ancho de banda por suscriptor, mientras el número de casas por nodos locales disminuye, la carga por casa por el costo de equipo del nodo local incrementaría hasta cierto punto donde sería menos caro en lugar de actualizar los componentes electrónicos en la red coaxial con el objetivo de incrementar el ancho de banda

5.3 Posición económica actual de los fabricantes de módems de cable a nivel mundial

De acuerdo a la firma estadounidense Kinetic Strategies, los embarques de módems de cable superaron los 6 millones de unidades para finales del año 2000, una sexta parte de lo obtenido en el año 1999

Para el año 2000, el sector de Comunicaciones de Banda Ancha de la empresa Motorola Inc. Reporto ventas de 2.3 millones de módems de cable, equivalente al 38.1% del mercado total. La empresa 3Com fue la segunda empresa con mayores ventas de módems de cable con 1 millón de unidades, representando el 17.2% del total de ventas, seguida por la empresa Toshiba la cual vendió 800,000 módems de cable lo que representó el 13.2% del total. La siguiente empresa fue Thomson Multimedia con 692,000 unidades vendidas representando el 11.4%, la siguiente fue Samsung con 565,000 unidades, 9.3%, y finalmente Com21 con 419,000 unidades lo cual representa el 6.9%. Todas estas empresas juntas representan el 95% del total de módems vendidos en el año 2000³⁵. Ver Figura 5.2

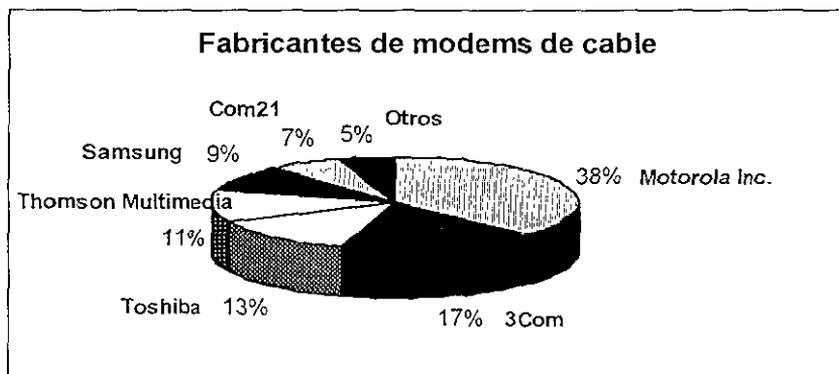


Figura 5.2 Fabricantes de módems de cable

Proyecciones de mercado

La firma Kinetic Strategies realizó un estudio acerca de las proyecciones de mercado para los estándares de productos y servicios de módems de cable. Los resultados dicen que para finales del año 2001 se estima que habrá más de 4.8 millones de módems de cable instalados y para finales del año 2004 más de 20 millones. Las ventas de los módems de cable, de Sistemas de Terminación de módem de cable (CMTS) y el equipamiento de conmutadores IP están proyectadas para rebasar los \$6 billones de dólares para el año 2004. Los arrendamientos del servicio de distribución de servicios digitales e integrados a través de la red de cable se espera que sean superiores a \$20 billones de dólares³⁶.

³⁵ Fuente: Kinetic Strategies y reportes de compañías.

³⁶ Para información adicional consultar <http://www.kineticstrategies.com>

5.4 Posición económica actual de los operadores de distribución de servicios digitales e integrados sobre la red de cable en México.

Antes de que un operador de cable pueda ofrecer el servicio de distribución de servicios digitales, debe tomar en cuenta algunos aspectos que resultan ser muy importantes. Primero, el operador de cable debe actualizar sus sistemas para habilitar las conexiones a alta velocidad y en doble sentido de transmisión. Usualmente, esto incluye la instalación del Sistema de Terminación de módem de cable (CMTS) en las Cabezas Terminales de los operadores, planear la conectividad a un proveedor de la dorsal de Internet, y una instalación de equipo (la cual incluye el módem de cable) en la premisa del usuario. Además de esto, el proveedor necesita adicionar un nuevo nivel de soporte hardware y software de computadora a su sistema de servicio al usuario, incrementar el número de técnicos y un nuevo nivel de administración. No cabe duda que estos procesos son tanto caros como laboriosos, poniendo a estos servicios fuera del alcance de operadores de cable pequeños.

En la República mexicana existen alrededor de 200 operadores de cable y el número de usuarios de la TV por cable se ha incrementado en los últimos años como se muestra en la Figura 5.3³⁷.

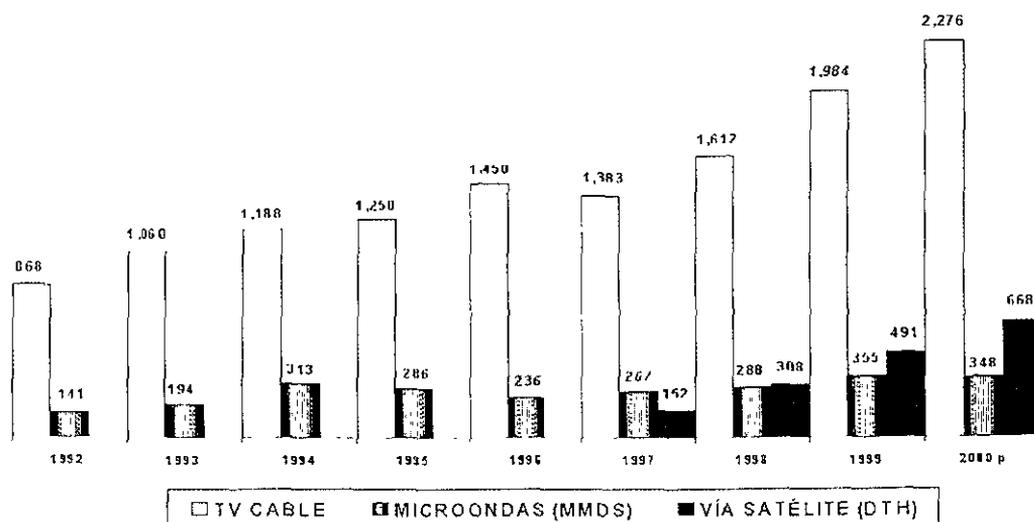


Figura 5.3 Usuarios de TV por cable

El desarrollo tecnológico también ha impulsado el acceso a la Internet en México, como se muestra en la Figura 5.4³⁸

³⁷ Fuente INEGI

³⁸ Fuente INEGI

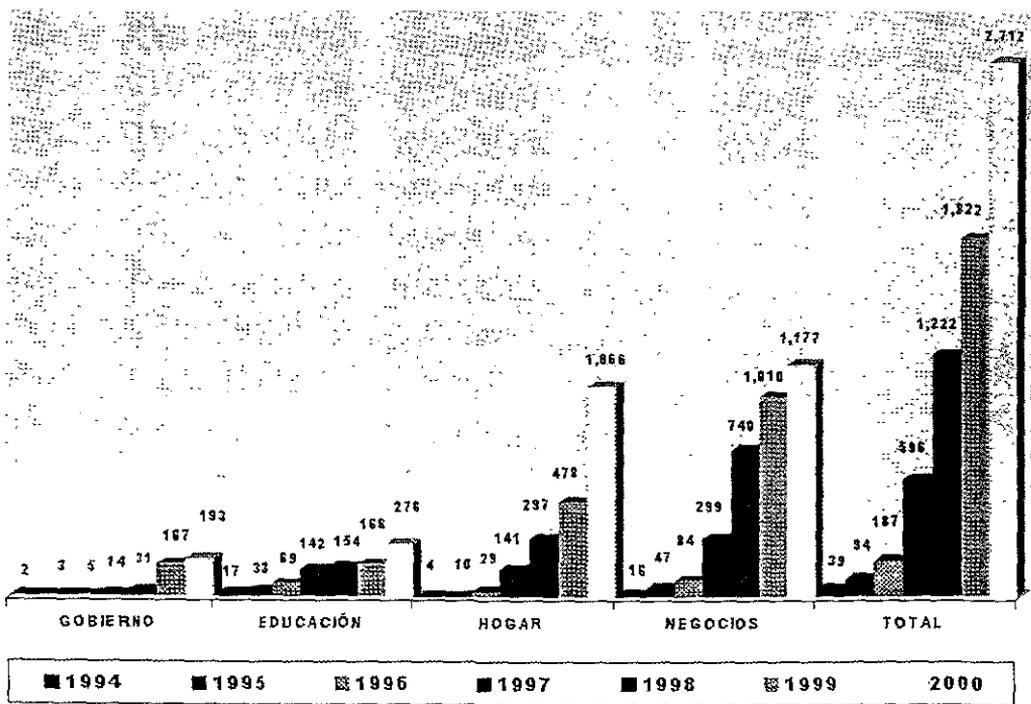


Figura 5.4 Crecimiento del acceso a la Internet en México.

Como se puede observar de las gráficas, los operadores de cable tiene un gran mercado al ofrecer sus servicios de distribución de servicios digitales e integrados en México debido al crecimiento vertiginosos que ha presentado en los últimos años el acceso a Internet en nuestro país. Si los operadores de cable verdaderamente desean hacer más rentable su planta de distribución del servicio de TV por cable, deben hacer inversiones en su planta y adaptarla a las necesidades de los usuarios.

Como se puede observar en la Figura 5.4 el crecimiento del acceso a la Internet es mayor en el hogar y en los negocios, es por ello que los operadores de cable deben definir bien sus objetivos y ofrecer al usuario planes atractivos de acceso a la Internet de tal forma que se aproveche mejor la infraestructura de la planta de TV por cable y que los usuarios se sientan satisfechos por el servicio.

Como ya se explicó en líneas anteriores, es muy difícil que los operadores de cable puedan ofrecer el servicio de distribución de servicios digitales e integrados a través de la infraestructura de su planta, es por ello que solamente los grandes operadores o bien, los que poseen los recursos para hacer las inversiones que se necesitan, pueden ofrecer este tipo de servicio. Actualmente, en México solamente tres operadores de cable ofrecen el servicio de distribución de servicios digitales e integrados sobre la red de cable, ellos son CABLEVISION, MEGACABLE e INTERCABLE.

CABLEVISION

La empresa CABLEVISION ofrece sus servicios de conexión mediante *módem de cable* ofreciendo una velocidad de 256 kbps *downstream*. La transmisión es bidireccional, manejando fibra óptica en algunas zonas, y en algunas utiliza el retorno telefónico. El costo mensual por el servicio es de \$450 pesos

MEGACABLE

La empresa MEGACABLE a través de los años ha proporcionado al mercado una opción de entretenimiento a sus suscriptores, con un excelente nivel en su servicio. El servicio de Internet por cable utiliza la misma infraestructura de Telecomunicaciones y Multimedia.

- **Arquitectura :** El diseño de la red de MEGACABLE permite garantizar el nivel de servicio, el llegar a todos y cada uno de los domicilios de los usuarios (última milla), niveles de seguridad del medio. La topología en estrella de la red evita cuellos de botella por el tráfico de usuarios
- **Plataforma tecnológica:** El equipo de la Cabeza Terminal en las instalaciones de MEGACABLE incluye dispositivos de tecnología de punta, que son superiores comparados con los proveedores de Internet mediante "acceso telefónico" (Dial-up). Utiliza fibra óptica y cable coaxial
- **Velocidad:** Ofrece una velocidad de 256 kbps *downstream* escalable de acuerdo a las necesidades del usuario
- **Requerimientos:** Se requiere que el domicilio del suscriptor se encuentre en la zona de cobertura del servicio de Internet por cable.
- **Servicios y costos:**
 - Residencial: El servicio residencial es ofrecido a los hogares mexicanos con un costo de \$450 pesos mensuales.
 - Empresarial: El servicio empresarial se ofrece a macro y medianas empresas, despachos profesionales, giros comerciales (ventas) y servicios médicos y legales con un costo de \$600 pesos mensuales

INTERCABLE

La empresa INTERCABLE mantiene su liderazgo y vanguardia en tecnología para ofrecer las mejores opciones de servicios

Esta empresa pone a su disposición el más avanzado servicio de acceso a Internet en el mundo: CableLink

- **CableLink 300 MB.** Este servicio proporciona acceso limitado a Internet vía cable para 300 MB de información transmitida. La renta a pagar por este servicio es de \$300 pesos³⁹.
- **CableLink 600 MB.** Este servicio proporciona acceso limitado a Internet vía cable para 600 MB de información transmitida. La renta por este servicio es de \$499 pesos mensuales⁴⁰.
- **WaveLink 30 horas.** Este servicio proporciona acceso limitado a Internet vía cable-telefono por 30 horas. La renta por este servicio es de \$200 pesos mensuales
- **WaveLink 60 horas.** Este servicio proporciona acceso limitado a Internet vía cable-telefono por 60 horas. La renta por este servicio es de \$300 pesos mensuales

³⁹ Este precio no incluyen la renta del módem de cable

⁴⁰ Este servicio no incluye la renta del módem de cable

5.5 Comparación de la tecnología cablemódem y otras tecnologías de acceso.

Actualmente, existen diversas tecnologías mediante las cuales se puede tener acceso a la Internet o bien se pueden ofrecer servicios digitales e integrados a los usuarios. La principal diferencia de estas tecnologías radica principalmente en el medio de transmisión que se utilice. Entre las tecnologías que se utilizan se encuentran las siguientes:

- Dial-up
- ISDN
- Satélite
- DSL
- T1

Otra diferencia entre las redes de acceso es la velocidad de transmisión, consecuencia del ancho de banda disponible en el medio de transmisión y el esquema de modulación utilizado.

Se han realizado varios estudios acerca de la velocidad de transmisión de las redes de acceso y los resultados alojados se mencionan a continuación⁴¹

Especificaciones de la prueba de velocidad de transmisión de tecnologías de acceso

Se examinó la descarga de páginas de la Internet y la transferencia de archivos utilizando el sistema operativo Windows 98 en una PC de escritorio Pentium II con 64 MB en RAM. El servidor WEB utilizado fue un Sun Microsystems Ultra 2 con el sistema Solaris 2.6. Las páginas WEB fueron descargadas utilizando Netscape Navigator 4.

Resultados de la prueba

Todos los tiempos en segundos

	Páginas WEB	Descarga de archivos	Subida de archivos
Línea T1	3	28	20
Cablemódem	3	29	35
DSL	4	30	40
Satélite	8	47	562
ISDN	11	160	556
Módem analógico de 56 kbps	18	364	547

Tabla 5.1 Comparación de tecnologías de acceso de alta velocidad

⁴¹ Fuente: Test PC WORLD Center

De la Tabla 5.1 se puede observar que al emplear la tecnología *cablemódem* como tecnología de acceso, se tiene los menores tiempo de consulta de páginas WEB, aunque no los mínimos para el caso de descarga de archivos, en la cual en primer lugar se encuentra el acceso con línea T1. Se puede observar además que la tecnología satelital e ISDN tardan mucho tiempo en subir información a la red, pero no cabe duda que al utilizar un módem analógico de 56 kbps se tiene los mayores tiempo de utilización para cualquier actividad, consultas de páginas WEB, descarga y subida de archivos

5.6 Conclusiones

En este capítulo se han estudiado los principales factores económicos que influyen para que un *operador de cable pueda distribuir servicios digitales* sobre la infraestructura de su red. Estos factores son determinantes ya que de ellos depende el éxito de la distribución del servicio. La cotización de la distribución del servicio es también muy importante y también determina el éxito del servicio, no es lo mismo que un *usuario tenga que pagar un ancho de banda que no utiliza a pagar solamente el que utiliza* en el tiempo que lo utiliza. El distribuidor de servicios digitales debe ofrecer planes atractivos a los usuarios para que renten el tipo de servicios que él ofrece. En cuanto al acceso a Internet, el operador de cable debe fijar sus metas y alcances ya que si los usuarios deciden contratar su servicio de acceso a Internet, éste debe ser lo suficientemente económico para que pueda competir con otros tipos de acceso y ser rentable al usuario. Las inversiones que el operador de cable realice en su planta de cable para la distribución de servicios digitales sobre ella deben de tener un período de recuperación lo suficientemente real ya que no hay que olvidar que este servicio apenas está introduciéndose a la población, a pesar de las encuestas realizadas y que revelan una gran aceptación por parte de los usuarios.

En el caso de México, el crecimiento vertiginoso de usuarios que tienen el arrendamiento del servicio de TV por cable junto con el crecimiento de acceso a la Internet abren grandes posibilidades a los operadores de cable para que sus servicios digitales tengan aceptación. La clave del éxito de la introducción de este servicio radica principalmente y como ya se mencionó, en los planes atractivos que ofrezcan los operadores a los usuarios.

De la comparación de las tecnologías de acceso podemos concluir que ninguna tecnología es mejor ni peor, simplemente cada una tiene aplicaciones específicas y algunas todavía se encuentran en desarrollo.

CAPÍTULO 6

Conclusiones

Como principal conclusión de este trabajo de tesis se puede decir que se cumplió con el objetivo de estudio. Se logró analizar la tecnología *cablemódem* y sus implicaciones tanto técnicas como económicas. Se analizaron las distintas situaciones que deben tomar en cuenta los operadores de cable que deseen ofrecer servicios digitales, adicionales al servicio de tv por cable, sobre su red de cable y los beneficios de la introducción de estos para los usuarios

Por otra parte, se considera que muchos de los conocimientos obtenidos durante el estudio de la carrera de Ingeniero en Telecomunicaciones se pusieron en práctica al analizar la tecnología *cablemódem* desde el punto de vista técnico. De esta forma, se recordó lo aprendido en materias tales como Comunicaciones Analógicas y Digitales, Teoría de Redes, Telefonía, Sistemas de Radiocomunicación, materias del área de electrónica y materias de Ciencias Sociales tales como Economía

6.1 Tecnología

En el caso de México, del estudio de la reglamentación en materia de distribución del servicio de televisión por cable, se puede concluir que es posible distribuir servicios digitales de forma integrada sobre la red de cable que opera en México, solamente que los operadores que deseen ofrecer este tipo de servicios a los usuarios deberán tener en cuenta que para que lo anterior sea posible se debe migrar hacia una nueva tecnología. La migración debe darse en varios sentidos, en el capítulo 2 se mencionó que en primer lugar se debe actualizar y acondicionar la planta de cable para que servicios digitales puedan ser distribuidos sobre ella. También se concluye para poder distribuir servicios digitales se debe acondicionar la planta de cable para poder asignar cierta parte del espectro electromagnético a la propagación de señales que transporten servicios digitales ya que el diseño de la red de cable en México permite la utilización del ancho de banda hasta los 450 MHz, el cual es utilizado en su totalidad para la distribución de canales de televisión. La solución que se ha encontrado a este problema ha sido ampliar el espectro de propagación de señales del cable coaxial. Es decir, la transmisión de servicios digitales sería alojada en bandas de frecuencias superiores a las 450 MHz, dependiendo de la naturaleza de la información. Para que esto sea posible se deben aprovechar las características de propagación del cable coaxial y las de la infraestructura de la red de cable en general. De acuerdo a las topologías expuestas en el capítulo 2, se puede concluir que para la distribución de servicios digitales sobre la red de cable se debe escoger la que más se adecue a las demandas de los operadores de cable. Para el caso de México, algunos operadores de cable necesitarán cambiar la infraestructura de su red y en la nueva red, deberán incluir fibra óptica debido a las características de propagación de este medio de transmisión.

En cuanto a las aplicaciones, cabe mencionar que el tiempo de vida de ellas depende de las necesidades del usuario, es decir, en este momento el usuario está disfrutando de las aplicaciones de alta velocidad de transmisión tales como *webcasting*, *multicasting*, administración de energía, entre

otras, porque forman parte de su vida cotidiana o bien le facilitan sus acciones, pero sin embargo, si surgiera el día de mañana otras aplicaciones que superaran en funcionalidad, precio y facilidad de acceso a alguna de las que actualmente están en uso, éstas últimas caducarían y entraría en acción *as más recientes*. Es por ello que una de los aspectos que deben de cuidar a nivel comercial los operadores o distribuidores de servicios, es el precio de una aplicación actual con respecto a una aplicación que está por salir al mercado cuyas características sean similares o superiores a la actual.

6.2 Arquitectura

Actualmente, existen cuatro estándares reconocidos mundialmente que definen la tecnología *cablemodem* y cada uno de ellos tiene un sector de la población bien definido hacia el cual está dirigido, esto se debe principalmente a sus características de operación. Considero que el estudio de las características de operación de la tecnología es muy relevante debido a que para poder utilizarla primero hay que conocer la forma en que ésta funciona. La gran referencia que tenemos y de la cual podemos auxiliarnos es el modelo OSI con el cual, como ya se mencionó, puede compararse cada uno de los estándares de la tecnología *cablemodem* y estimar la funcionalidad de éstos últimos. De acuerdo a lo estudiado, podemos concluir que la introducción de la tecnología *cablemodem* al mercado de las telecomunicaciones, técnicamente no presentará mayor problema debido a que en las capas superiores maneja protocolos que actualmente ya están siendo utilizados y desarrollados, y principalmente, soporta aplicaciones que últimamente han tenido un gran desarrollo y demanda. Los estándares presentados intentan ser una referencia para los operadores de cable quienes deben adaptar su red de cable a las condiciones que imponen los estándares, tanto en la capa física como en la capa de enlace de datos, principalmente, en la subcapa de acceso al medio para poder distribuir servicios digitales a través de la red de cable. La seguridad que ofrece este tipo de tecnología a la transmisión de información hará que cada vez sea mayor el número de personas que la utilicen debido a que permite la transmisión de información confidencial y previene el robo y espionaje del servicio.

6.3 Calidad de Servicio

Actualmente, los servicios de banda ancha deben de llevar consigo un contrato que defina los términos mediante los cuales deba ser distribuido, la Calidad de Servicio (QoS). Este contrato se puede visualizar como un valor agregado al servicio y que ayudará a que cada vez sea mayor el número de personas que contraten este tipo de servicios ya que lleva garantizados ciertos aspectos en la distribución. En cuanto a la Calidad de Servicio (QoS) de servicios distribuidos sobre la red de cable, los parámetros de esta deben configurarse directamente ya sea en el *modem de cable*, en el CMTS o en ambos. La Calidad de Servicio (QoS) que ofrece el estándar DOCSIS en su última versión es mucho mejor con relación a la primera ya que ofrece garantías adicionales, proporcionando mayor integridad a la entrega de información. En cuanto a la Calidad de Servicio (QoS) de los servicios distribuidos sobre las redes ATM y la Internet, se pudo analizar cada uno de los parámetros y se puede concluir que cada vez se está integrando un mayor número de parámetros con la finalidad de satisfacer las demandas de los usuarios. La Calidad de Servicio (QoS) se aplica de acuerdo al servicio que se esté distribuyendo y a las prioridades que tengan los servicios para el usuario, es por ello que es muy importante que el proveedor conozca bien las necesidades de sus usuarios para poder distribuir sus servicios con una calidad adecuada.

6.4 Análisis económico

Los factores que influyen para que un operador de cable pueda distribuir servicios digitales sobre la infraestructura de su red son determinantes, ya que de ellos depende el éxito de la distribución del servicio. La cotización de la distribución del servicio es también muy importante y también determina el éxito del servicio, no es lo mismo que un usuario tenga que pagar un ancho de banda que no utiliza a pagar solamente el que utiliza en el tiempo que lo utiliza. El distribuidor de servicios digitales debe ofrecer planes atractivos a los usuarios para que renten el tipo de servicios que él ofrece. En cuanto al acceso a Internet, el operador de cable debe fijar sus metas y alcances ya que si los usuarios deciden contratar su servicio de acceso a Internet, éste debe ser lo suficientemente económico para que pueda competir con otros tipos de acceso y ser rentable al usuario. Las inversiones que el operador de cable realice en su planta de cable para la distribución de servicios digitales sobre ella deben de tener un período de recuperación lo suficientemente real ya que no hay que olvidar que este servicio apenas está introduciéndose a la población, a pesar de las encuestas realizadas y que revelan una gran aceptación por parte de los usuarios.

En el caso de México, el crecimiento vertiginoso de usuarios que rentan el servicio de TV por cable junto con el crecimiento de acceso a la Internet abren grandes posibilidades a los operadores de cable para que la distribución de servicios digitales sobre la red de cable tenga gran aceptación. La clave del éxito de la introducción de este servicio radica principalmente y como ya se mencionó, en los planes atractivos que ofrezcan los operadores a los usuarios.

6.5 Beneficios de los usuarios al utilizar la tecnología *cablemódem*

Cuando los usuarios utilizan la tecnología *cablemódem* obtienen grandes beneficios. El principal y tal vez el más importante es que pueden tener acceso a la Internet a una velocidad superior a la que actualmente se maneja sin tener que cambiar su infraestructura de acceso si es que ellos tienen el servicio de TV por cable y, siempre y cuando, su operador de cable ofrezca este tipo de servicio.

Para los operadores de cable también representa una gran oportunidad ya que pueden ser capaces de ofrecer una gran variedad de servicios al usuario.

Al comparar la tecnología *cablemódem* con otras tecnologías pueden encontrarse varias diferencias entre ellas, pero lo que se debe tener en cuenta cuando se elija es la infraestructura que posee el usuario y que la renta del servicio esté al alcance de la mayoría de los usuarios y no sea lo suficientemente alta como para restringirse a solo un sector de la población.

Otro beneficio de la utilización de la tecnología *cablemódem* es que de acuerdo a su aplicación en el proyecto EDIT⁴², ayudará al desarrollo de la educación en México sirviendo como red de acceso a aquellas personas que deseen obtener los beneficios de EDIT.

⁴² Este proyecto se define en el APENDICE D

APÉNDICE A

Multiplexación

Usualmente, dos estaciones de comunicaciones no hacen uso de la capacidad total de un enlace de datos; con el objeto de mejorar la eficiencia sería posible compartir esta capacidad. Un concepto general para tal compartimiento es el de **multiplexación**.

Una aplicación usual de la multiplexación son las comunicaciones de larga distancia. Los enlaces de las redes de larga distancia son líneas de fibra, de cable coaxial o de microondas de alta capacidad de modo que pueden transportar simultáneamente varias transmisiones de voz y datos haciendo uso de las técnicas de multiplexación.

La Figura A.1 muestra la función de la multiplexación en su forma más simple. Existen n entradas a un multiplexor, que se conecta a un demultiplexor mediante un único enlace de datos. El enlace es capaz de transportar n canales de datos independientes. El multiplexor combina (multiplexa) los datos de las n líneas de entrada y los transmite a través de un enlace de datos de capacidad superior. El demultiplexor capta la secuencia de datos multiplexados, separa (demultiplexa) los datos de acuerdo con el canal y los envía hacia las líneas de salida correspondientes.

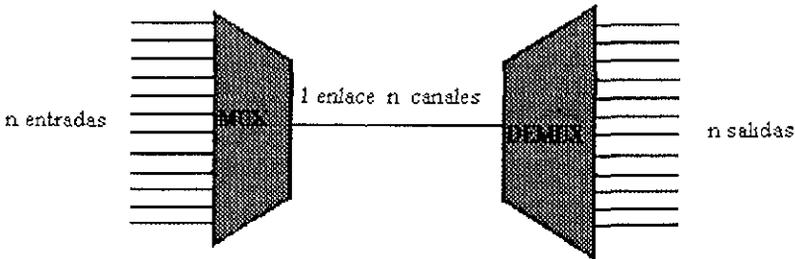


Figura A.1 Multiplexación

El amplio uso de las técnicas de multiplexación en comunicaciones de datos puede explicarse como sigue:

- A medida que la velocidad es superior, la transmisión es más efectiva desde el punto de vista del coste. Es decir, para una aplicación y distancia dadas el coste por kbps decrece con el incremento en la velocidad de transmisión de datos. De forma análoga, el coste de los equipos de transmisión y recepción, por kbps, decrece con el aumento en la velocidad.
- La mayor parte de los dispositivos de comunicación de datos requiere velocidades de datos relativamente bajas. Por ejemplo, para la mayoría de las aplicaciones de terminales y de computadores personales resulta adecuada una velocidad comprendida entre 9600 kbps y 64 kbps.

Los puntos anteriores se refieren a dispositivos de comunicación de datos, pudiéndose aplicar también a comunicaciones de voz. Es decir, cuanto mayor sea la capacidad de la transmisión, en términos de canales de voz, menor será el coste por canal de voz individual, siendo modesta la capacidad requerida por cada canal de voz.

MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIAS

Características

Es posible utilizar FDM cuando el ancho de banda útil del medio de transmisión supera el ancho de banda requerido por las señales a transmitir. Se pueden transmitir varias señales simultáneamente si cada una de ellas se modula con una frecuencia portadora diferente y las frecuencias portadoras están suficientemente separadas para que los anchos de banda de las señales no se solapen de forma importante. En la Figura A 2 se muestra un caso general de FDM. En él se observa la entrada de seis líneas a un multiplexor, el cual modula cada señal a una frecuencia diferente (f_1, \dots, f_6). Cada señal modulada precisa un cierto ancho de banda centrado alrededor de su frecuencia portadora y conocido como *canal*. Para evitar interferencias los canales se separan mediante bandas guardadas o de seguridad, las cuales son zonas no utilizadas del espectro.

La señal compuesta transmitida a través del medio es analógica. Sin embargo, hemos de indicar que las señales de entrada pueden ser tanto digitales como analógicas. En el caso de que la entrada sea digital, las señales se deben pasar a través de módems para ser convertidas en analógicas. En cualquier caso, la señal de entrada analógica se debe modular para trasladarla a la banda de frecuencia apropiada.

En la Figura A 3 se muestra un esquema general de un sistema FDM. Se multiplexan varias señales analógicas o digitales $[m_i(t), i=1, n]$ a través del mismo medio de transmisión. Cada señal $m_i(t)$ se modula por una portadora f_i . Dado que se usan varias portadoras, cada una de ellas se denomina subportadora. Se puede hacer uso de cualquier tipo de modulación. Las señales moduladas analógicas resultantes se suman para dar lugar a una señal $m_b(t)$ en banda base compuesta⁴³. En la Figura se muestra el resultado. El espectro de la señal $m_i(t)$ se desplaza hasta quedar centrado en f_i . Para que este esquema funcione adecuadamente, f_i se debe elegir de modo que los anchos de banda de las distintas señales no se solapen de forma significativa. En caso contrario resultaría imposible recuperar las señales originales.

⁴³ El término *banda base* se emplea para designar la banda de frecuencias de la señal transmitida por la fuente y potencialmente usada como señal moduladora. Generalmente, el espectro de una señal banda base es significativo en una banda que incluye o está en la vecindad de $f = 0$.

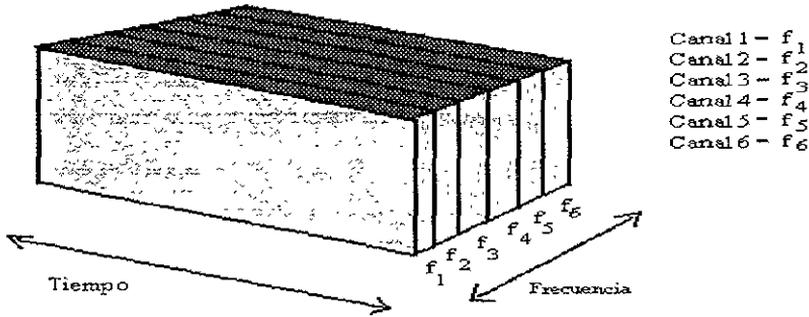


Figura A.2 Sistema FDM

Tras esto, la señal compuesta puede desplazarse como un todo a otra frecuencia portadora a través de un proceso adicional de modulación

La señal FDM $s(t)$ tiene un ancho de banda total B , donde $B > \sum_{i=1}^n B_i$. Esta señal analógica se puede transmitir a través de un medio adecuado. En el extremo receptor, se demodula la señal FDM para recuperar $m_b(t)$, la cual se hace pasar a través de n filtros paso banda cada uno centrado en torno a f_i , con un ancho de banda B_i , para $1 \leq i \leq n$. De esta forma, la señal se divide de nuevo en sus componentes, siendo cada una de ellas demodulada para recuperar la señal original correspondiente

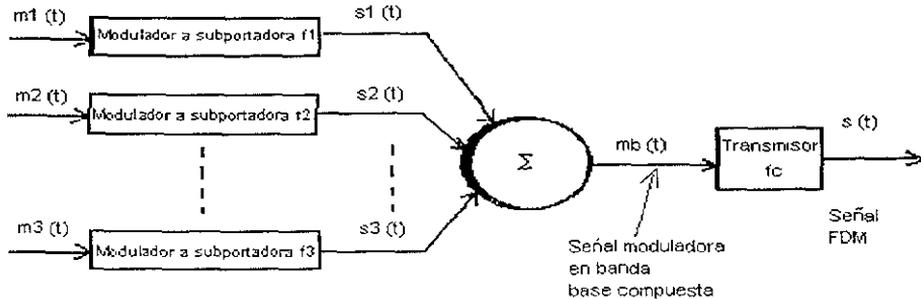


Figura A.3 Sistema FDM

Algunas de las desventajas del sistema FDM son

- **La diafonía**, la cual puede aparecer si los espectro de señales componentes adyacentes se solapan de forma importante. La diafonía es un acoplamiento no deseado entre las líneas que transportan las señales. Esto puede ocurrir por el acoplamiento eléctrico entre cables de pares cercanos, o en raras ocasiones, en líneas de cable coaxial que transporten varias señales.
- **Ruido de intermodulación**, el cual es producido cuando señales de distintas frecuencias comparten el mismo medio de transmisión. El efecto del ruido de intermodulación es la aparición de señales a frecuencias que sean suma o diferencia de las dos frecuencias originales, o múltiplos de estas. El ruido de intermodulación se produce cuando hay alguna no

linealidad en el transmisor, receptor o en el sistema de transmisión. Normalmente, estos sistemas se comportan como sistemas lineales, es decir, la salida es igual a la entrada multiplicada por una constante. En los sistemas no lineales, la salida es una función más compleja de la entrada.

MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO SÍNCRONA

Características

La multiplexación por división en el tiempo síncrona es posible cuando la velocidad de transmisión alcanzable por el medio excede la velocidad de las señales digitales a transmitir. Se pueden transmitir varias señales digitales (o señales analógicas que transportan datos digitales) a través de una única línea de transmisión mediante la mezcla temporal de partes de cada una de las señales. El proceso de mezcla puede ser a nivel de bit o en bloques de octetos o cantidades superiores.

En la figura A se proporciona un esquema general de un sistema TDM. Se multiplexan varias señales $[m_i(t), i=1, \dots, n]$ a través del mismo medio de transmisión. Las señales transportan datos digitales y son en general señales digitales. Los datos de entrada precedentes de cada fuente se macenan brevemente en una memoria temporal o "buffer". Cada memoria temporal tiene una longitud fija de un bit o un carácter. Estas memorias temporales se sondean secuencialmente para componer una secuencia de datos digital compuesta $m_c(t)$. El sondeo es lo suficientemente rápido para que cada memoria temporal se vacíe antes de que se reciban nuevos datos. Por tanto, la velocidad de $m_c(t)$ debe ser al menos igual a la suma de las velocidades de las señales $m_i(t)$. La señal digital $m_c(t)$ se puede transmitir directamente o se puede hacer pasar a través de un módem para dar lugar a una señal analógica. En ambos casos la transmisión es generalmente síncrona.

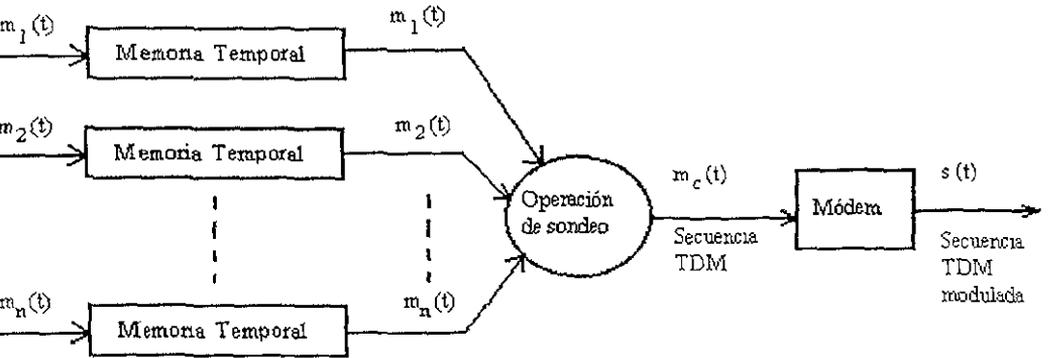


Figura A.4 Sistema TDM

Los datos transmitidos pueden tener un formato similar al mostrado en la Figura A.5. Los datos se organizan en trama, cada una de las cuales contiene un ciclo de ranuras temporales. En cada trama se dedican una o más ranuras a cada una de las fuentes. La secuencia de ranuras dedicadas a una fuente, de trama en trama, se llama canal. La longitud de la ranura es igual a la longitud de la memoria temporal de transmisión, generalmente un bit o un carácter.

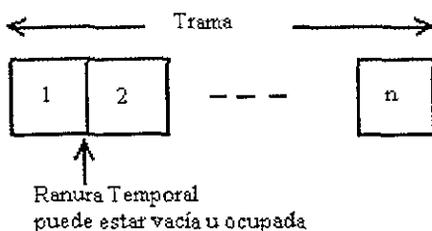


Figura A.5 Formato de datos transmitidos.

La técnica de mezcla de caracteres se usa con fuentes asíncronas, conteniendo cada ranura temporal un carácter de datos. Usualmente, los bits de principio y de fin de cada carácter se eliminan antes de la transmisión y se reinsertan por parte del receptor, mejorando así la eficiencia. La técnica de mezcla de bits se usa con fuentes síncronas, pudiendo utilizarse también con fuentes asíncronas. Cada ranura temporal contiene un único bit

Los datos mezclados se demultiplexan en el receptor y se encaminan hacia la memoria temporal de destino apropiada. Para cada fuente de entrada $m_i(t)$ existe una fuente de salida idéntica que recibirá los datos de entrada a la misma velocidad a la que fueron generados.

La técnica TDM síncrona se denomina síncrona no porque se emplee transmisión síncrona sino porque las ranuras temporales se preasignan y fijan a las distintas fuentes. Las ranuras temporales asociadas a cada fuente se transmiten tanto si éstas tienen datos que enviar como si no. Esto, por supuesto, también ocurre en FDM. En ambos casos se desaprovecha la capacidad a costa de simplificar la implementación. Sin embargo, un dispositivo TDM síncrono puede gestionar fuentes a distintas velocidades incluso cuando se hacen asignaciones fijas de las ranuras temporales. Por ejemplo, al dispositivo de entrada más lento se le podría asignar una ranura por ciclo, mientras que a los más rápidos se podrían asignar varias ranuras por ciclo.

APÉNDICE B

Modulación en amplitud en cuadratura (QAM)

QAM es una técnica habitual de señalización analógica que se utiliza en la tecnología *cable módem*. Esta técnica de modulación es una combinación de modulación en fase y en amplitud. En QAM se aprovecha el hecho de que es posible enviar simultáneamente dos señales diferentes sobre la misma portadora, utilizando dos réplicas de la misma desplazadas entre sí 90°. En QAM cada una de las dos portadoras es modulada usando ASK. Las dos señales independientes se transmiten sobre el mismo medio. En el receptor, las dos señales se demodulan, combinándose para reproducir la señal binaria de entrada.

En la Figura B 1 se muestra en términos generales el esquema de modulación QAM. La entrada al sistema es una cadena de bits con velocidad igual a R bps. Esta cadena se separa en dos secuencias de $R/2$ bps cada una, tomando bits alternativamente. En el diagrama, la secuencia de arriba se modula mediante ASK sobre una portadora de frecuencia f_c ; este procedimiento se lleva a cabo sin más que multiplicar cada bit por la portadora. Por tanto, un cero binario será representado mediante la ausencia de portadora, mientras que un uno binario se representará mediante la presencia de una señal portadora de amplitud constante. Esta misma portadora se desplaza en 90° y a su vez se usa para la modulación ASK de la secuencia binaria de abajo. Las dos señales moduladas se suman y posteriormente se transmiten. La señal transmitida, por tanto, se puede expresar como

$$s(t) = d_1(t) \cos 2\pi f_c t + d_2(t) \cos 2\pi f_c t$$

Si se utiliza un esquema ASK con dos niveles, entonces cada una de las dos secuencias binarias podrá representarse mediante dos estados, que combinadas dan lugar a una señal con $4(2 \times 2)$ posibles estados de señalización. Si se usa ASK con cuatro niveles (esto es, cuatro niveles diferentes de amplitud), entonces la secuencia combinada podrá tomar uno de entre 16 (4×4) estados. En la práctica se implementan sistemas con 64 y 256 niveles. Para un ancho de banda dado, cuanto mayor sea el número de niveles, mayor será la velocidad de transmisión posible. Además, cuanto mayor sea el número de estados mayor será la tasa potencial de errores por bit debida al ruido y a la atenuación.

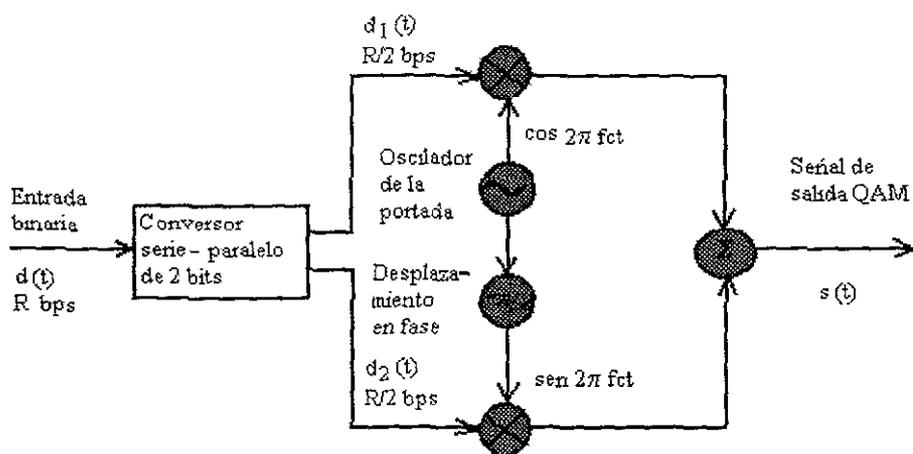


Figura B.1 Esquema de modulación QAM.



APÉNDICE C

Criptología y sistemas de autenticación

La criptología (del griego *criptos*=oculto y *logos*=tratado, ciencia) es el nombre genérico con el que se designan dos disciplinas opuestas y a la vez complementarias *Criptografía* y *Criptoanálisis*. La *Criptografía* se ocupa del diseño de procedimientos para cifrar, es decir, para enmascarar una determinada información de carácter confidencial. El *Criptoanálisis*, por su parte, se ocupa de romper esos procedimientos de cifrado para así recuperar la información original. Ambas disciplinas siempre se han desarrollado de forma paralela, pues cualquier método de cifrado lleva siempre emparejado su *Criptoanálisis* correspondiente.

La *Criptografía* como medio de proteger la información personal es un arte tan antiguo como la propia escritura. Como tal, permaneció durante siglos vinculada muy estrechamente a los círculos militares y diplomáticos, puesto que eran los únicos que en principio tenían auténtica necesidad de ella.

En la actualidad la situación ha cambiado drásticamente: el desarrollo de las comunicaciones electrónicas, unido al uso masivo y generalizado de los computadores, hace posible la transmisión y almacenamiento de grandes flujos de información confidencial que es necesario proteger. Es entonces cuando la *Criptografía* pasa de ser una exigencia de minorías a convertirse en una necesidad real del hombre de la calle, que ve en esta falta de protección de sus datos privados una amenaza para su propia intimidad.

El esquema fundamental de un *proceso criptográfico* (cifrado / descifrado) puede resumirse del modo en que se muestra en la Figura C.1.

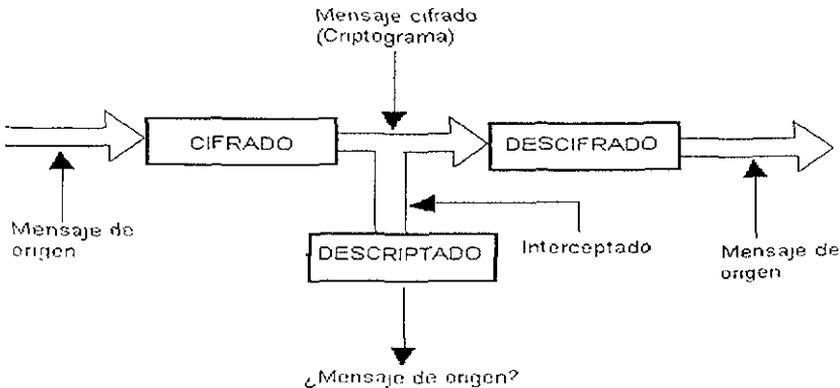


Figura C.1 Proceso criptográfico

Ay B, respectivamente, representan el emisor y receptor de un determinado mensaje. A transforma el mensaje original (texto claro o texto fuente), mediante un determinado procedimiento de cifrado controlado por una *clave*, en un mensaje cifrado (criptograma) que se envía por un canal público. En recepción, B con *conocimiento de la clave* transforma ese criptograma en el texto fuente, recuperando así la información original.

En el proceso de transmisión, el criptograma puede ser interceptado por un enemigo criptoanalista que lleva a cabo una labor de descifrado, es decir, intenta, a partir del criptograma y *sin conocimiento de la clave*, recuperar el mensaje original. Un buen sistema criptográfico será, por tanto, aquel que ofrezca un descifrado sencillo pero un descifrado imposible o, en su defecto, muy difícil

La finalidad de la Criptografía es múltiple: primeramente, mantener la *confidencialidad* del mensaje, es decir, que la información allí contenida permanezca secreta; a continuación, garantizar la *autenticidad* tanto del *criptograma* (*integridad*) como del par remitente/destinatario. En efecto, el *criptograma* recibido ha de ser realmente el enviado (evitando así manipulaciones o alteraciones en el proceso de transmisión), a la vez que el remitente y destinatario han de ser realmente quienes dicen ser, y no remitentes y/o destinatarios fraudulentos. La Criptografía clásica se ocupaba únicamente del primer aspecto, mientras que la Criptografía de hoy en día, basada en el concepto de comunicaciones seguras, ha de garantizar conjuntamente todas ellas.

C.1. Criptografía De Clave Secreta: Métodos De Cifrado En Bloque

Se denomina cifrado en bloque aquel en el que se cifra el mensaje original agrupando los símbolos en grupos (bloques) de dos o más elementos. Algunos sistemas de cifrado, como el poligráfico y el de transposición, son ejemplos de *cifrado en bloque*

Arquitectura del Cifrado en bloque

Todos los cifrados en bloque se componen de cuatro elementos

- Transformación inicial
- Una función criptográficamente débil iterada r veces o "vueltas"
- Transformación final
- Algoritmo de expansión de clave

La transformación inicial puede tener una o dos funciones: la primera consiste en aleatorizar simplemente los datos de entrada para ocultar bloques de datos de todo ceros o unos, etc.), careciendo de significación criptográfica si no depende de la clave, como sucede en el DES. La segunda función, solamente presente en algunos criptosistemas, como el RC5 e IDEA, tiene significación criptográfica, dificultando ataques por análisis lineal o diferencial, en este caso es función de la clave

Las vueltas intermedias consisten en una función no lineal complicada de los datos y la clave, que puede ser unidireccional (DES) o no (IDEA, RC5). La función no lineal puede estar formada por una sola operación muy compleja o por la sucesión de varias transformaciones simples.

Las vueltas intermedias se enlazan por sumas módulo 2 bit a bit con los datos que vienen de la transformación inicial o de las vueltas precedentes, de esta manera se posibilita que se produzca una "involución" cuando se repite el proceso de forma idéntica (pero eligiendo las claves de descifrado en orden inverso), obteniéndose de esta forma los datos de partida.

Las vueltas intermedias no han de formar grupo, para que el conjunto de varias pasadas sucesivas con sus subclaves correspondientes no sean equivalentes a una pasada única con una clave diferente

La transformación final sirve para que las operaciones de encriptación y desencriptación sean simétricas, cuando las vueltas de encriptación son de una sola operación, separadas por sumas módulo 2 bit a bit (DES, RC5), esta transformación se limita a realizar la operación inversa de la transformación inicial. Sin embargo, en los sistemas donde las vueltas de encriptación acaban con una operación que afecta a todos los bits del bloque, la transformación de salida debe realizar tanto la función inversa de esta operación como la inversa de la transformación inicial.

El algoritmo de expansión de clave tiene por objeto convertir la clave de usuario, normalmente de longitud limitada entre 32 y 256 bits, en un conjunto de subclaves que pueden estar constituidas por varios cientos de bits en total. Conviene que sea unidireccional y que el conocimiento de una o varias subclaves intermedias no permita deducir las subclaves anteriores o siguientes. Además, se ha de cuidar que las subclaves producidas no constituyan un pequeño subconjunto monótono de todas las posibles.

DES

En enero de 1977, el gobierno de los Estados Unidos adoptó un cifrado de producto desarrollado por IBM como su estándar oficial para información no secreta. Este cifrado, el DES (Data Encryption Standard, estándar de cifrado de datos), se adoptó ampliamente en la industria para usarse con productos de seguridad. Ya no es seguro en su forma original (Wayner 1995), pero aún es útil en una forma modificada.

En la Figura C 2 se muestra un esbozo del DES. El texto normal se cifra en bloques de 64 bits, produciendo 64 bits de texto cifrado. El algoritmo, que se parametriza mediante una clave de 56 bits, tiene 19 etapas diferentes. La primera etapa es una transposición, independientemente de la clave, del texto normal de 64 bits. La última etapa es el inverso exacto de esta transposición. La etapa previa a la última intercambia los 32 bits de la izquierda y los 32 bits de la derecha. Las 16 etapas restantes son funcionalmente idénticas, pero se parametrizan mediante diferentes funciones de la clave. El algoritmo se ha diseñado para permitir que el descifrado se haga con la misma clave que el cifrado. Los pasos simplemente se ejecutan en el orden inverso.

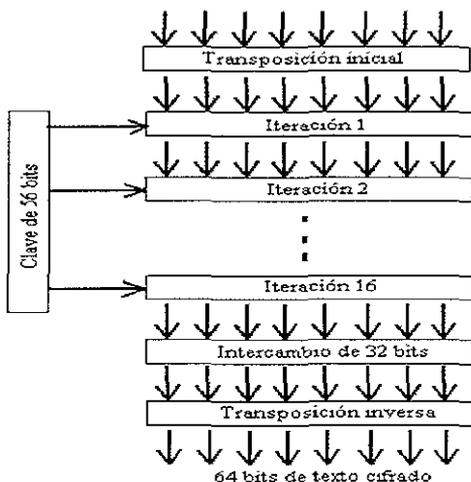


Figura C.2 Esbozo del DES

La operación de una de estas etapas intermedias se ilustra en la Figura C.3

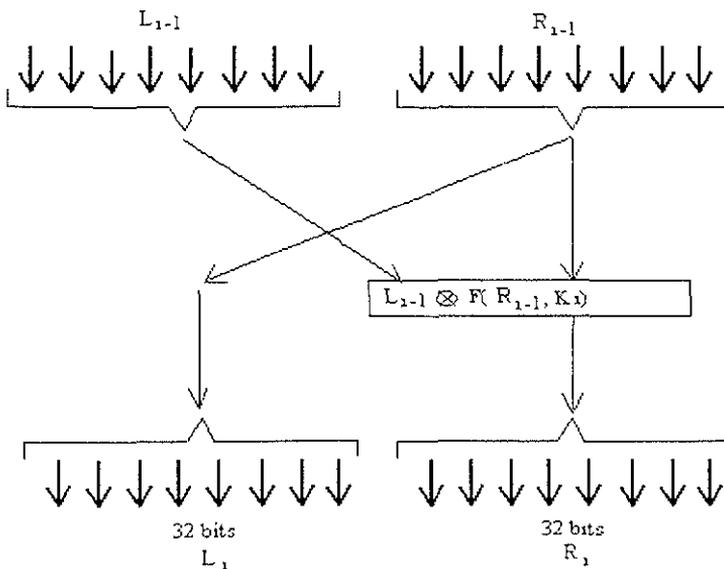


Figura C.3. Operación de etapa intermedia

Cada etapa toma dos entradas de 32 bits y produce dos salidas de 32 bits. La salida de la izquierda simplemente es una copia de la entrada de la derecha. La salida de la derecha es el OR EXCLUSIVO a k_i . Toda la complejidad reside en esta función

La función consiste en cuatro pasos, ejecutados en secuencia. Primero se construye un número de 48 bits, E , expandiendo el R_{i-1} de 32 bits según la regla fija de transposición y duplicación. Después se aplica un OR EXCLUSIVO a E y K_i . Esta salida entonces se divide en ocho grupos de 6 bits, cada uno de los cuales se alimenta a una caja S distinta. Cada una de las 64 entradas posibles a la caja S se transforma en una salida de 4 bits. Por último, estos 8×4 bits se pasan a través de una caja P .

En cada una de las 16 iteraciones, se usa una clave diferente. Antes de iniciarse el algoritmo se aplica una transposición de 56 bits a la clave. Justo antes de cada iteración, la clave se divide en dos unidades de 28 bits, cada una de las cuales se gira hacia la izquierda una cantidad de bits dependiente del número de iteración K_i , se deriva de esta clave girada aplicándole otra transposición de 56 bits. En cada vuelta se extrae y permuta de los 56 bits un subgrupo de 48 bits diferente.

Encadenamiento DES

A pesar de toda esta complejidad, el DES básicamente es un cifrado por sustitución monoalfabética que usa un carácter de 64 bits. Cada vez que entra el mismo bloque de texto normal de 64 bits por el frente, sale el mismo bloque de texto cifrado de 64 bits por atrás. Un criptoanalista puede explotar esta propiedad como ayuda para violar el DES.

Para ver la manera en que esta propiedad de cifrado por sustitución monoalfabética puede usarse para subvertir el DES, consideremos el cifrado de un mensaje grande de la manera más obvia dividiéndolo en bloques consecutivos de 8 bytes (64 bits) y cifrándolos uno tras otro con la misma clave. El último bloque se rellena a 64 bits, de ser necesario. Esta técnica se conoce como **modo de libro de código electrónico**.

El encadenamiento de bloques cifrados tiene la ventaja de que el mismo bloque de texto normal no produce el mismo bloque de texto cifrado, dificultando el criptoanálisis. De hecho, ésta es la razón principal de su uso.

Sin embargo, el encadenamiento de bloques cifrados tiene la desventaja de requerir la llegada de un bloque completo de 64 bits antes de poder iniciar el descifrado. Para usarse con terminales interactivos, en las que la gente puede escribir líneas de menos de ocho caracteres y luego detenerse, esperando una respuesta, este modo no es apropiado. Para el cifrado byte por byte puede usarse el **modo de realimentación de cifrado**.

Propiedades del DES

Las propiedades fundamentales del DES son

- *Dependencia entre símbolos* Cada bit del texto cifrado es una función compleja de TODOS los bits de la clave y TODOS los bits del texto original (por bloques)
- *Cambio de los bits de entrada* Un cambio de un bit en el mensaje original produce el cambio del 50%, aproximadamente, de los bits del bloque cifrado.
- *Cambio de los bits de clave* Un cambio en un bit de la clave produce, aproximadamente, el cambio de la mitad de los bits del bloque cifrado.

- *Claves débiles* Existen cuatro claves "débiles" que producen un mensaje cifrado fácil de descripiar, porque todas las claves parciales K1 a K16 son iguales Existen 28 claves "semidébiles" que producen un mensaje cifrado fácil de descifrar, porque producen sólo dos o cuatro subclaves parciales diferentes Cuando se elige una clave al azar, es preciso asegurarse de que no se ha producido una de estas claves
- Un error en la transmisión de un texto cifrado se "propaga" a todo el bloque del que forma parte, produciendo un conjunto de errores después del descifrado de 64 bits.

Seguridad del DES

No existe ninguna prueba que garantice que un algoritmo de cifrado sea prácticamente indescrptible (sí existe un algoritmo teóricamente indescrptible el de Verman); lo único que existen son demostraciones de que ciertos algoritmos son vulnerables

Hasta hoy nadie ha demostrado ser capaz de "reventar" el DES Prodrían existir entidades concedoras de una "puerta oculta" para descripiar el DES Un posible candidato sería la NSA de USA Pero hasta el momento no hay evidencia alguna de ello.

La opinión generalizada es que el DES es un excelente sistema de cifrado El único problema que presenta es que su espacio de clave resulta excesivamente reducido para el actual estado del arte de la tecnología electrónica Una clave de 56 bits es claramente insuficiente frente a la potencia de los actuales computadores y las posibilidades de integración a gran escala de la tecnología microelectrónica

El primer ataque especializado para el DES ha sido el Criptoanálisis diferencial Mediante esta técnica se consigue recuperar la clave del DES a cambio de un considerable esfuerzo computacional, que obliga al análisis de una cantidad de parejas de textos claros y sus correspondientes cifrados La economía frente al esfuerzo necesario para un ataque por fuerza bruta es moderada, porque los diseñadores del DES ya habían previsto la eventualidad de un ataque de este género

Hoy día, el sistema de ataque al DES más eficaz lo constituye la prueba exhaustiva de claves mediante una máquina masivamente paralela. Tal máquina existe desde mayo de 1998, su precio fue de 210,000 dólares estadounidenses Es capaz de probar todas las claves del DES en nueve días, o lo que es equivalente el tiempo medio que requiere para encontrar una clave es de cuatro día y medio

El "DES Cracker" – así se denomina la citada máquina- fue construido por la Electronic Frontier Foundation Se trata de un conjunto de 36,864 unidades de prueba de claves Cada unidad ensaya dos millones y medio de claves por segundo, por tanto, la máquina ensaya un conjunto total de 92,160,000,000 claves por segundo

Toda la máquina está gobernada por un computador PC compatible Está ensamblada en un bastidor que contiene dos chasis, cada chasis contiene 12 tarjetas iguales, cada tarjeta, 64 chips, y cada chip, 24 unidades de prueba de claves

La construcción de una máquina similar son está al alcance de un particular, pero sí al alcance de cualquier gobierno u organización Por tanto, debe concluirse que el DES ya no es seguro, y debe prescindirse de él en beneficio de algoritmos con un espacio de claves considerablemente mayor

Un posible sustituto del DES puede ser el Triple DES, que con una longitud efectiva de clave de 112 bits, resulta inatacable con los medios informaticos actuales y los previsibles para un futuro proximo

Cifrado Triple DES

Ya para 1979, IBM se dio cuenta de que la longitud de la clave DES era demasiado corta y diseñó una manera de aumentarla efectivamente usando codificación triple (Tuchman, 1979). El método seleccionado, que se ha incorporado al estándar internacional 8732, se ilustra en la Figura C.4

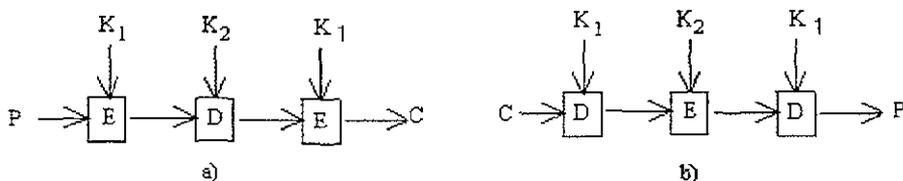


Figura C.4 Cifrado DES Triple

Aquí se usan dos claves y tres etapas. En la primera etapa, el texto normal se cifra con K_1 . En la segunda etapa, el DES se ejecuta en modo de descifrado, usando K_2 como clave. Por último, se hace otro cifrado usando K_1 .

La razón de que se usen dos claves es que incluso los criptógrafos coinciden en que 112 bits son suficientes para las aplicaciones comerciales por ahora. Subir a 168 bits simplemente agregaría la carga extra innecesaria de administrar y transportar otra clave.

Encadenamiento de bloques cifrados

El esquema operativo del modo de encadenamiento de bloques cifrados se ilustra en la Figura C.5

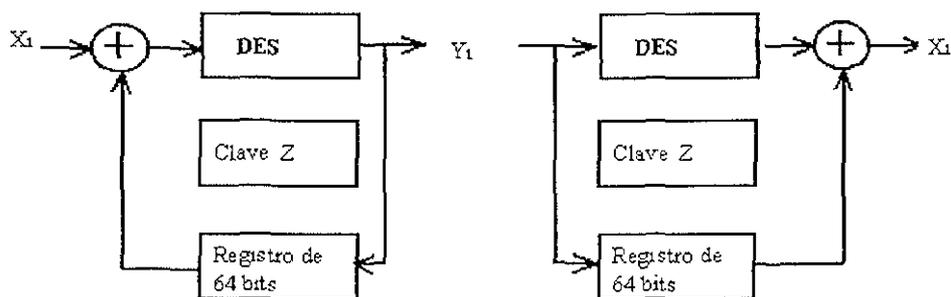


Figura C.5 Modo operativo del DES por encadenamiento de bloques cifrados

Para empezar, se carga inicialmente el registro de 64 bits con un vector inicial (VI) que no importa que sea secreto, pero sí conviene que sea aleatorio.

Sus propiedades son

- Convierte el DES en un cifrado de flujo y, por tanto, oculta los perfiles del mensaje claro.
- Se puede hacer que cifre mensajes iguales de forma diferente con sólo cambiar cada vez el VI, tal vez incluyendo en su semilla de generación el tiempo real.
- Limita la propagación de cada error de transmisión a dos bloques, es decir, cada bit aislado de error produce 16 bytes erróneos consecutivos
- No cambia el tamaño del espacio de claves.

Ventajas de la Criptografía de clave secreta

1. **Confidencialidad.** Sólo las personas o máquinas autorizadas pueden acceder a la información transmitida a través de una red de comunicaciones o al contenido de la información guardada en un sistema informático
2. **Cierto grado de autenticación.** El origen de un mensaje ha de estar perfectamente identificado
3. **Alta velocidad.**

Desventajas de la Criptografía de clave secreta

- **Distribución de claves.** Dos usuarios tienen que seleccionar una clave en secreto antes de empezar a comunicarse, lo que deberán hacer bien personalmente (cosa que no siempre es posible), por medio de un canal inseguro
- **Manejo de claves.** En una red de n usuarios, cada pareja debe tener su clave secreta particular, lo que hace un total de $n(n-1)/2$ claves para esa red
- **Sin firma digital.** Una firma digital es lo análogo a una firma manual o rúbrica, pero en una red de comunicaciones. En los criptosistemas de clave secreta no hay posibilidad, en general, de firmar digitalmente los mensajes, con lo que el receptor del mismo no puede estar seguro de que quien dice que le envía el mensaje sea realmente quien lo ha hecho

C.2 Criptosistemas De Clave Pública

Definición. Para introducir los criptosistemas de clave pública se define una *función unidireccional* (One-Way Function, OWF) $f: M \rightarrow C$ como una función invertible, de modo que es "fácil" calcular $f(m) = c$, mientras que es "difícil" computar $f^{-1}(c) = m$ (No se sabe si hay funciones de este tipo, aunque se supone su existencia.) Una función unidireccional se dice que es una *función unidireccional tramposa* si puede ser invertida fácilmente cuando se conoce alguna información adicional extra. Tal información extra se conoce como trampa.

Definición. Se define un *criptosistema de clave pública* como una familia de funciones unidireccionales tramposas, $\{f_k\}$, para cada clave k de K de modo que la trampa $t(k)$ sea fácil de obtener. Además, para cada k de K se debe poder describir un algoritmo eficiente que permita calcular f_k , pero de modo que sea intratable la determinación de k y $t(k)$.

Para implementar un criptosistema de clave pública, dada una familia de funciones unidireccionales tramposas, cada usuario U elige una clave aleatoria u de K y publica E_u que permite calcular f_u , E_u es su clave pública, mientras que la trampa $t(u)$, necesaria para invertir f_u , es su clave privada.

Si un usuario A desea enviar un mensaje m a otro usuario B , mira la clave pública de B , E_b , y transmite $f_b(m) = c$ a B . Como B es el único que puede recuperar el mensaje m , $f_b^{-1}(c) = f_b^{-1}(f_b(m)) = m$.

Existen dos funciones candidatas a ser funciones unidireccionales tramposas. La primera de ellas es el producto de números enteros, cuya inversa es la factorización del número obtenido, y la segunda es la exponenciación discreta, cuya inversa es el logaritmo discreto. Las dos funciones son fáciles de computar, mientras que no lo son sus inversas. Es decir, dado un número n es difícil determinar su descomposición en factores primos y , por otra parte, dados a y b , es difícil calcular x de modo que $a^x = b$.

Criptosistema RSA

La primera realización del modelo de Diffie-Hellman fue desarrollado por Rivest, Shamir y Adleman, y se conoce con el nombre de *criptosistema RSA*. El protocolo desarrollado por estos autores es el siguiente:

1. Cada usuario U elige dos números primos (actualmente se recomienda que tales números primos tengan más de 200 dígitos) p y q y calcula $n=p*q$. El grupo a utilizar por el usuario U es, entonces, Z_n^* . El orden de este grupo es $\Phi(n) = \Phi(p*q) = (p-1)(q-1)$. Para U es fácil calcular este orden, pues conoce p y q .
2. Después, U selecciona un entero positivo e , $1 \leq e < \Phi(n)$, de modo que sea primo con el orden del grupo, es decir, de modo que $\text{mcd}(e, \Phi(n)) = 1$.
3. Mediante el algoritmo de Euclides extendido calcula el inverso de e en $Z_{\Phi(n)}$, d , se tiene entonces $e*d \equiv 1$.
4. La clave pública del usuario U es la pareja (n, e) , mientras que su clave privada es el número d . Por supuesto, también deben permanecer secretos los números p, q y $\Phi(n)$.

Si un usuario A desea enviar un mensaje m de Z_n a otro usuario B , utiliza la clave pública de B , (n_b, e_b) , para calcular el valor de $m^{e_b} \pmod{n_b} = c$, que envía a B .

Para recuperar el mensaje original, B calcula $C^{d_b} = (m^{e_b})^{d_b} \equiv m \pmod{n_b}$.

Dado que el criptosistema RSA es bastante lento en su ejecución, generalmente se utiliza en conjunción con el criptosistema de clave secreta DES del siguiente modo: en primer lugar, el usuario A encripta el mensaje m con el criptosistema DES mediante una clave aleatoria y a continuación la clave DES utilizada se encripta con el criptosistema RSA. Posteriormente, A envía por el canal inseguro la pareja formada por el mensaje encriptado mediante DES y la clave de DES encriptada con RSA. Este protocolo se conoce como *envoltura digital RSA*. Para recuperar el mensaje recibido, el usuario B describe la clave de DES mediante su clave privada del RSA y luego utiliza la clave obtenida para describir el mensaje m .

El criptosistema RSA fue patentado en 1983 por Public Key Partners (PKP) en Estados Unidos, y la patente no expiró hasta el año 2000. PKP permite el uso no comercial del RSA con fines personales, académicos e intelectuales, mediante la correspondiente certificación, pero siempre dentro de Estados Unidos. La exportación de este criptosistema es bastante más difícil, aunque hay posibilidades de obtener permiso del gobierno de los Estados Unidos para su uso, siempre que se utilice para autenticar mensajes y no con fines de encriptación, a menos que el tamaño de la clave no exceda de 512 bits.

Ventajas del cifrado con clave pública

- **Confidencialidad.** Sólo las personas o máquinas autorizadas pueden acceder a la información transmitida a través de una red de comunicaciones o al contenido de la información guardada en un sistema informático.
- **Autenticación total.** El origen de un mensaje ha de estar perfectamente identificado.

- **Firma digital.** Una firma digital es lo análogo a una firma manual o rúbrica, pero en una red de comunicaciones. Lo que asegura al receptor que el mensaje digital que reciba es el que le envía el mensaje sea realmente quien lo ha hecho

Desventajas del cifrado con clave pública

- **Baja velocidad**

Sistemas De Autenticación

Existen numerosos métodos de autenticación basados en distintas técnicas, no solo criptográficas

- Métodos basados en "algo conocido por el usuario"
 - Passwords.
 - Certificados de clave pública.
- Métodos basados en "algo que posee el usuario"
 - Tarjetas inteligentes.
- Métodos en "algún atributo propio"
- *Identificador biológico (huella dactilar, reconocimiento del iris, etc)*

Certificados X.509 y autoridades de certificación

Para que una clave pública se pueda considerar válida y asociada a un usuario determinado debe tener un certificado que así lo demuestre. El sistema utilizado más difundido es el de certificados de clave pública firmados por una autoridad de Certificación (AC) según la norma X.509. El esquema general está mostrado en la Figura C.6

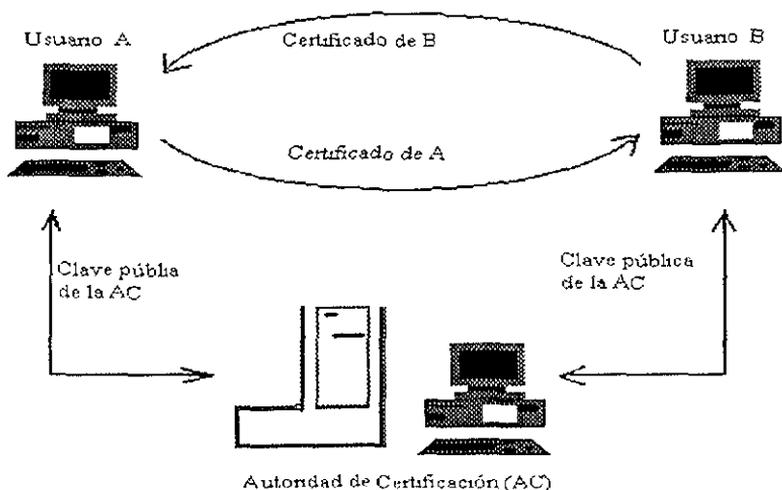


Figura C.6 Sistema de autenticación mediante certificados de clave pública

Los certificados X.509 son archivos que contienen distintos campos donde se almacena la clave pública de un usuario, la firma de esa clave pública, información sobre los algoritmos criptográficos utilizados, datos identificativos del usuario y datos de la AC que ha firmado la clave para permitir comprobar su autenticidad. En la última versión, v3, se han incluido unas extensiones para información adicional sobre el uso al que están destinadas las claves y sobre la política de certificación asociada.

Para diseñar una AC es necesario definir una política de certificación donde se indique el ámbito de actuación de los certificados emitidos por esa AC y la estructura asociada (niveles de jerarquía, etc.) También deberá aparecer reflejada la relación con otras ACs. Asimismo, se debe decidir el modo de verificación de la clave del usuario.

Una vez definida la política de certificación, la implantación de una nueva AC es simple. La AC debe generar su propio par de claves pública y privada, guardar de forma segura la clave privada y certificarse su propia clave pública. Ese certificado debe permanecer en algún lugar de acceso público, como puede ser el directorio X.500 o una página web.

Los actuales navegadores de Internet llevan incorporadas algunas herramientas que permiten una instalación simple y cómoda de los certificados.

Como consejos generales, a la hora de implantar una AC se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- Nunca se debe conectar a la red el computador donde reside la autoridad de certificación.
- No automatizar el proceso de firma de certificados, para lo que es recomendable la presencia física del usuario o, en su defecto, una adecuada documentación.
- Restringir el acceso de los usuarios locales a la AC.
- Restringir el acceso físico a la AC.
- No guardar la clave privada de la AC sin cifrar (no debemos olvidar que es utilizada para realizar una firma).
- Procurar que los usuarios de la AC utilicen claves de longitud adecuada (1024 bits).

APÉNDICE D

Proyecto EDIT

Introducción

No obstante que el Modelo de Educación a Distancia actualmente empleado permite una mayor participación y cobertura de usuarios que la que se tiene en un salón de clase convencional, hoy día *los servicios de Educación a Distancia se transmiten a través de la red de Internet y de manera asíncrona*, lo que resulta en un ancho de banda limitado, fallas en la transmisión de datos y que solo se puedan ofrecer servicios tales como consultas a distancia (que no se desarrollan en tiempo real) y videoconferencias con baja calidad y/o resolución de audio y vídeo

A partir de un estudio realizado por la Universidad Nacional Autónoma de México sobre dichos servicios de Educación a Distancia, la Facultad de Ingeniería, a través del Departamento de Telecomunicaciones propone el desarrollo de un nuevo Modelo de Educación a Distancia que supere las carencias identificadas por el estudio y agregue valor pedagógico y tecnológico a dichos servicios.

Objetivo

Desarrollar el sistema denominado EDIT basado en un nuevo Modelo de Educación a Distancia, para que sus usuarios, empleando los medios de cómputo, puedan interactuar en tiempo real a través de la *red de internet y las redes de comunicación de alta velocidad, permitiendo con esto elevar el nivel educativo del país*

Justificación, innovación y competencia

La innovación del presente proyecto está justificada en la *integración de herramientas de software y redes de acceso de alta velocidad*. El desarrollo del proyecto se divide en dos áreas generales

- Área tecnológica
 - Herramientas de software
 - Redes de acceso de alta velocidad
- Área pedagógica
 - Educación a Distancia

Actualmente, la Educación a distancia se transmite en forma asíncrona, por lo que solamente se pueden ofrecer servicios tales como consultas a distancia que no se desarrollan en tiempo real, videoconferencia con baja resolución de vídeo y audio. En el presente proyecto se propone transmitir la información de ambas formas, síncrona y asíncrona. Después de realizar algunos estudios, se puede concluir que la forma de transmisión síncrona presenta la ventaja de poder transmitir la información en tiempo real

En la Universidad Nacional Autónoma de México se ha realizado un estudio acerca de la competencia que tendría el sistema una vez desarrollado e implementado. El estudio reveló que el sector comercial que ofrece el servicio de Educación a distancia presenta carencias pedagógicas y tecnológicas.

En la Universidad Nacional Autónoma de México estamos convencidos de que poseemos la infraestructura y los elementos pedagógicos necesarios para ofrecer un modelo de Educación a Distancia distinta a la que se ofrece actualmente. Para lograr este objetivo, se establecerán convenios con empresas líderes en el ramo de las telecomunicaciones o empresas que tengan una infraestructura semejante a la que se pretende utilizar en el desarrollo del proyecto para que en conjunto logremos desarrollar la herramienta EDIT. El soporte que brinda la Universidad Nacional Autónoma de México es la investigación pedagógica sobre Educación a Distancia.

Alcance

Si bien el objetivo primordial de EDIT es coadyuvar con el nivel educativo del país, el sistema a desarrollar tendrá una aplicabilidad más amplia dentro del terreno de la comunicación de información electrónica, a distancia interactiva y en tiempo real, por lo que su diseño deberá contemplar la funcionalidad y el instrumental necesario para apoyar aplicaciones tales como la planeación y la toma de decisiones en el ámbito de los negocios, el trabajo de análisis y diseño colaborativo industrial, etc.

Bajo el nuevo modelo se planean superar las limitaciones técnicas identificadas en los actuales servicios de educación a distancia, mediante un sistema (EDIT) que permita la transmisión síncrona y asíncrona de voz, datos, imágenes, audio y video, con una determinada calidad de servicio. La transmisión síncrona presenta la ventaja de permitir la transmisión de información en tiempo real, por lo que se buscará que cada uno de los usuarios de EDIT valiéndose de medios electrónicos y computacionales pueda interactuar en tiempo real y a distancia con el coordinador (por ejemplo: instructor) y demás compañeros de una sesión.

Asimismo, el proyecto tomará en cuenta las necesidades de los distintos perfiles de usuarios (instructores, asistentes, alumnos, etc.) de la Educación a Distancia, para incorporar en el sistema EDIT las mejoras tecnológicas y pedagógicas que permitan elevar el nivel del servicio educativo y al mismo tiempo el desarrollo del intelecto, la destreza y las habilidades de los usuarios, con independencia de su ubicación geográfica.

Diseño Conceptual

El proyecto EDIT se aprovechará de las ventajas del software existente y de las herramientas de la red Internet actual, tales como bibliotecas virtuales, sitios web y fuentes de información y adicionará las propias, con el objeto de crear un sistema de software sobre una plataforma tecnológica lo suficientemente robusta que cumpla con los requerimientos técnicos y pedagógicos y soporte el nuevo Modelo de Educación a Distancia Interactiva y en Tiempo Real, con una Calidad de Servicio (QoS) específica.

La plataforma tecnológica sobre la cual se desarrollará EDIT comprenderá la red Internet actual y las redes de alta velocidad, tales como ADSL, VSAT, de Cable, LMDS y ATM.

El diagrama de la Figura D 1 muestra el diseño conceptual del sistema EDIT.

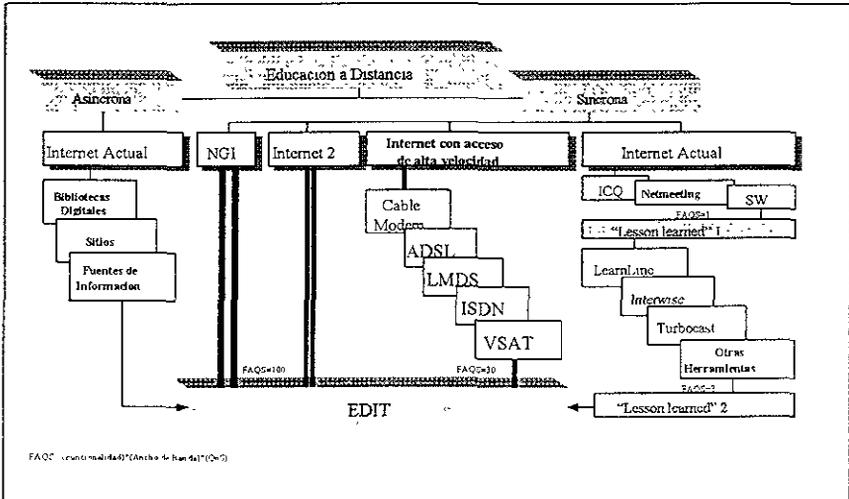


Figura D.1 Diseño Conceptual del sistema EDIT

Elementos de la herramienta EDIT

Educación a Distancia Interactiva en Tiempo Real. Es el tema del presente proyecto

La red. La red representa el medio de comunicación utilizado en la Educación a Distancia y puede ser alámbrico y/o inalámbrico. La característica principal de la red es que debe presentar alta velocidad de acceso

Instructor a distancia. El trabajo principal del instructor a distancia será capacitar a los alumnos y guiar la sesión. Deberá contar con los medios electrónicos para tener una sesión adecuada (PC, acceso al web, audio-micrófono, cámara de vídeo, etc)

Alumno a distancia. Persona que posea un registro en la sesión para poder tener acceso a ella. Deberá poseer los medios electrónicos necesarios para poder participar en las sesiones (PC, acceso al web, audio-micrófono, etc)

Interfaces. Las interfaces son los puntos en donde se instalarán los medios de comunicación que soportarán la funcionalidad de EDIT, dentro de éstas se incluyen la interfaz hombre-máquina de instructores y alumnos. El objetivo de las interfaces es apoyar al profesor en su enseñanza y en la interacción con los alumnos, además de apoyar la interacción entre alumnos.

Beneficios

Algunos de los beneficios que se esperan del sistema EDIT son los siguientes:

- Elevar el nivel educativo de la población, especialmente de aquellas personas que no puedan asistir a una institución educativa, ya sea por habitar en zonas de difícil acceso o por tener discapacidades físicas
- Reducir los gastos de capacitación a empresas cuyo personal se encuentre distribuido en zonas geográficas distantes.
- Facilitar el intercambio de conocimientos y experiencia de especialistas (por ejemplo médicos) localizados en puntos geográficos remotos

Plataforma Tecnológica

Una parte fundamental en el éxito y aceptación del proyecto EDIT radica en el acceso de última milla y en la forma en que se realice la transmisión de información a nivel de red. Es por ello que se han seleccionado cuidadosamente los métodos de acceso de tal forma que sobre aquellas redes seleccionadas pueda ofrecerse una extensa gama de servicios con una Calidad de Servicio (QoS) superior a la que se ofrece actualmente.

El desarrollo de los estándares de la tecnología *cablemodem* ha permitido a los usuarios utilizar la red de cable, la cual para algunos ya es muy familiar, para transmitir otro tipo de información diferente a las señales de televisión, como por ejemplo datos, audio o video, a un bajo costo. La Figura D 2 muestra la arquitectura de la distribución de información sobre la red de cable.

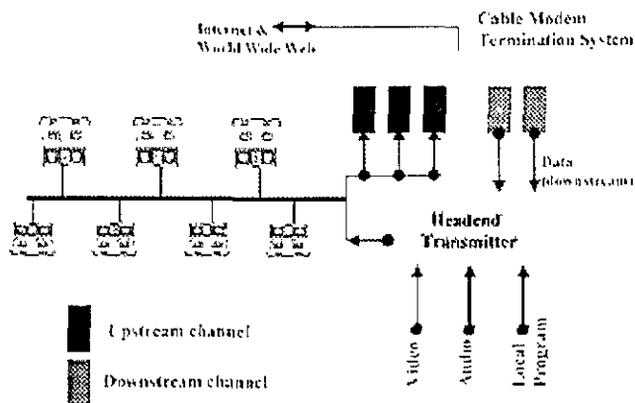


Figura D.2 Arquitectura de la red de cable para la distribución de servicios.

El objetivo de la utilización de la tecnología *cablemodem* en el proyecto EDIT es aprovechar las ventajas que ofrece, en todos los niveles, la red de cable para que de esta forma los usuarios que tengan el servicio de TV por cable y quieran además ser usuarios del servicio EDIT, no tengan que

cambiar su medio de acceso. En este sentido el proyecto EDIT es muy flexible, se pretende aprovechar al mismo tiempo las redes de acceso existentes y las tecnologías emergentes.

Integración de la red de cable con el proyecto EDIT

Para reducir la complejidad de su diseño, muchas redes están organizadas como una serie de capas o niveles, cada una construida sobre la inferior. El número de capas y el nombre, el contenido y la función de cada una difieren de red en red. Sin embargo, en todas las redes el propósito de cada capa es ofrecer ciertos servicios a las capas superiores de modo que no tengan que ocuparse del detalle de la implementación real de los servicios.

Entre cada par de capas adyacentes existe una interfaz. La interfaz define cuáles operaciones y servicios primitivos ofrece la capa inferior a la superior. Cuando los diseñadores de redes deciden cuántas capas incluir en una red y lo que cada una debe de hacer, una de las consideraciones más importante es definir interfaces claras entre las capas. Esto requiere, a su vez, que cada capa ejecute una colección específica de funciones bien conocidas. Además de minimizar la cantidad de información que se debe pasar entre capas, las interfaces bien definidas también simplifican el reemplazo de la implementación de una capa con una implementación completamente diferente.

La arquitectura del sistema DOCSIS ya está bien definida, de hecho el sistema ya está puesto en operación.

En este caso, lo que se trata de hacer es el estudio de la integración de la herramienta EDIT con el sistema DOCSIS. El sistema DOCSIS, como ya se ha dicho en reportes anteriores, es el conjunto de especificaciones de transmisión de información (audio, vídeo, datos, etc.) sobre la red de cable.

Para este caso, la herramienta EDIT se trata más bien como una aplicación, pero que debe de cumplir con los parámetros de transmisión del sistema DOCSIS, ya que el medio de transmisión a utilizarse va a ser el empleado en el sistema de TV por cable. Es por ello que la **arquitectura de integración de EDIT y el sistema DOCSIS** está basada en la arquitectura del sistema DOCSIS, con la variante de que la capa de aplicación es reservada para la herramienta EDIT.

El diagrama de la Figura D 3 muestra las capas que constituyen la arquitectura de integración EDIT-DOCSIS así como su comparación respectiva con el modelo OSI.

Aplicaciones PUSH en la red cablemódem

Las aplicaciones push son aplicaciones que permiten automáticamente o manualmente publicar el *contenido a ser proactively distribuido a usuarios específicos, de una forma personalizada*. La tecnología PUSH contiene dos componentes, distribución y notificación. Estos elementos son críticos para asegurar que un usuario no solamente tenga la información correcta cualquiera que ésta sea, sino además, asegurar que el usuario está libre para recibir información nueva.

Para distribuir servicios PUSH sobre la red de cable se necesita colocar un servidor de aplicaciones PUSH en la Cabeza Terminal de la red de cable.

Actualmente, los fabricantes están colocando los servidores de aplicaciones PUSH en el mercado, lo que da al usuario la oportunidades de elegir de entre varios fabricantes el producto que más satisfaga sus necesidades.

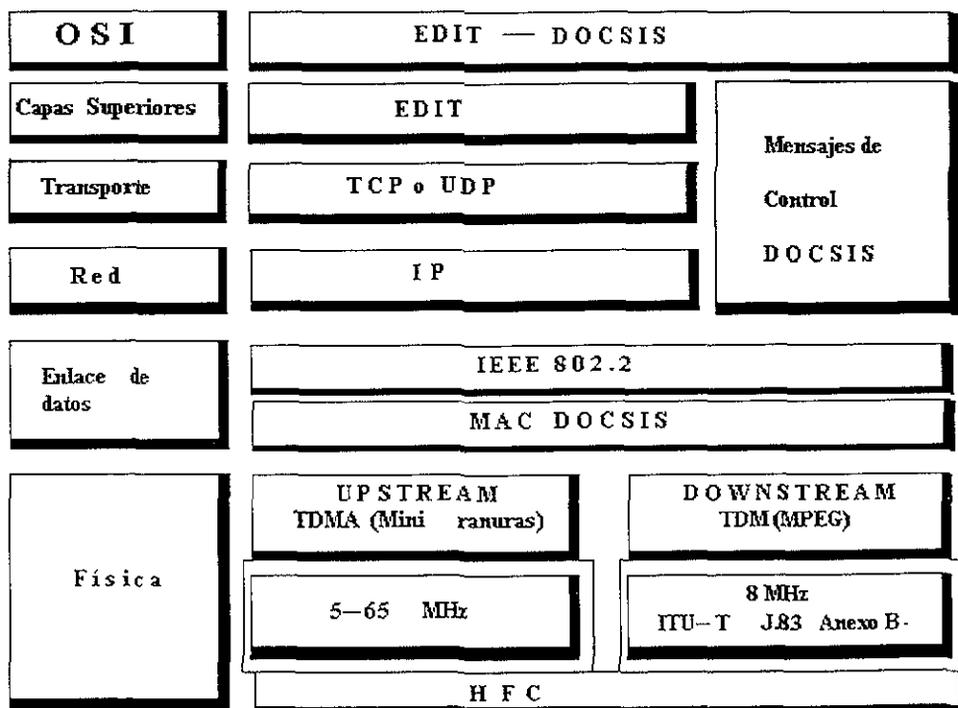


Figura D.3 Integración EDIT-DOCSIS

CAPÍTULO 8

Glosario

Algunas de las definiciones en este glosario proceden del *National Standard Dictionary of Information Technology (Diccionario estándar nacional de tecnología de la información)*, normalización ANSI X3.172, 1995. Estas definiciones están marcadas con un asterisco.

Acceso múltiple por demanda/asignación Técnica para asignar capacidad adicional, basada en FDM o en TDM, en la que la capacidad se concede según la demanda.

Ancho de banda Diferencia entre las frecuencias límite de un espectro de frecuencia continuo

Anillo Topología de red local en la que las estaciones están conectadas a repetidores conectados en un lazo cerrado. Los datos se transmiten en una dirección alrededor del anillo, y pueden ser leídos por todas las estaciones conectadas a la red

Arquitectura de comunicaciones Las estructuras hardware y software que implementan las funciones de comunicación

Atenuación Disminución en magnitud de la corriente, tensión o potencia de una señal durante su transmisión entre puntos

Autenticación Proceso usado para verificar la integridad de los datos transmitidos, especialmente mensajes

Banda ancha Uso de cable coaxial para proporcionar una transferencia de datos mediante señales analógicas (de radio frecuencia). Las señales digitales se adaptan en un módem y se transmiten en una de las bandas de frecuencia del cable

Banda Base Transmisión de señales sin modulación. En una red local de banda base, las señales digitales (unos y ceros) se insertan directamente en el cable como pulsos de tensión. Todo el espectro del cable es ocupado por la señal. Este esquema no permite multiplexación por división de frecuencia

Baudío Unidad de velocidad de la señal, dada por el número de valores discretos o eventos de una señal por segundo, o la inversa del tiempo de duración del elemento de señal más corto

Bit de paridad* Un bit de comprobación añadido a un conjunto de dígitos binarios para hacer al conjunto de todos los dígitos binarios de valor uno, incluyendo el bit de comprobación, siempre par o impar

Bit de relleno La inserción de bits extras en una cadena de datos para evitar a aparición de secuencias de control no deseadas

Cabecera Información de control de un sistema definido que precede a los datos del usuario.

Cable coaxial Cable que contiene un conductor, usualmente un tubo o hilo de cobre, en su interior aislado por otro conductor de mayor diámetro, usualmente un tubo de cobre o cobre trenzado

Capa* Grupo de servicios, funciones, y protocolos que se definen totalmente desde un punto de vista conceptual, que constituye uno de entre conjunto de grupos dispuestos jerárquicamente, y que se extiende a través de todos los sistemas que conforman la arquitectura de la red.

Capa de aplicación Capa 7 del modelo OSI Este capa determina la interfaz del sistema con el usuario.

Capa de enlace de datos* En OSI, la capa que proporciona el servicio de transferencia de datos entre entidades de la capa de red, usualmente en nodos adyacentes. La capa de enlace de datos detecta y posibilita la corrección de errores que pueda ocurrir en la capa física.

Capa de presentación* Capa 6 del modelo OSI Proporciona la selección de una sintaxis común para representar datos y para transformar datos de aplicación en y desde una sintaxis común

Capa de red Capa 3 del modelo OSI Responsable del enrutamiento de los datos a través de la red de comunicación

Capa de sesión Capa 5 del modelo OSI Gestiona una conexión lógica (sesión) entre dos procesos o aplicaciones que se comunican.

Capa de transporte Capa 4 del modelo OSI Proporciona una transferencia de datos fiable y transparente entre puntos extremos

Capa física Capa 1 del modelo OSI. Relacionada con aspectos eléctricos, mecánicos y de temporización de la transmisión de una señal en un medio

CATV(Community Antena Televisión) Antena de televisión comunitaria El cable CATV se usa para redes locales de banda ancha, y para distribución de emisiones de TV.

Cifrado Convertir textos puros o datos en una forma ininteligible mediante el uso de un código de forma que posteriormente se pueda hacer la reconversión a la forma original

Clave privada Una de las dos claves usadas en un sistema de cifrado asimétrico Para una comunicación segura, el creador de la clave privada debe ser el único que la conozca

Clave pública Una de las dos claves usadas en un sistema de cifrado asimétrico. La clave pública se hace pública, para ser usada junto con su correspondiente clave privada

Código de detección de errores* Código en el que cada secuencia se ajusta a reglas de construcción específicas, para que si ocurren ciertos errores en ella, la secuencia resultante no se ajuste a las reglas de construcción y por tanto se pueda detectar la presencia de errores

Control de acceso al medio (MAC, Médium Access Control) Para redes de difusión, metodo de determinación del dispositivo que tiene acceso al medio de transmisión en cada momento

Control de flujo Funcion realizada por una entidad receptora para limitar la cantidad o velocidad de los datos que una entidad transmisora envia

CSMA (Carrier Sense Multiple Access, acceso múltiple por detección de portadora) Técnica de control de acceso al medio para medios de transmisión de acceso múltiple. Una estación que desee transmitir, primero detecta el medio y sólo trasmite si el medio está desocupado.

Datos analógicos* Datos representados por una magnitud física que varía continuamente, y cuya magnitud es directamente proporcional al dato o a la función que se ajusta a los datos.

Datos digitales* Datos que consisten en una secuencia de valores discretos.

Decibelio Medida de la intensidad relativa de dos señales. El número de decibelios es 10 veces el logaritmo del cociente de la potencia de dos señales, o 20 veces el logaritmo del cociente de tensión de dos señales.

Descifrado La traducción de un texto o datos cifrados (o texto encriptado) al texto o datos originales (o texto puro). También se llama descifrado.

Difusión Transmisión simultánea de datos a varias estaciones.

Dispositivo de enrutamiento (router) Dispositivo de red que conecta dos redes de computadores. Usa un protocolo de Internet y asume que todos los dispositivos conectados a la red usan la misma arquitectura y protocolos de red. Un dispositivo de encaminamiento opera en la capa 3 del modelo OSI.

Enrutamiento Determinación del camino o ruta que las unidades de datos (tramas, paquetes, mensajes) atravesarán desde la fuente al destino.

Encapsulado Adición de información de control mediante una entidad de protocolo con datos obtenidos de un protocolo de usuario.

Espectro Se refiere a un rango absoluto de frecuencias. Por ejemplo, el espectro del cable CATV, en la actualidad, comprende de 5 a 400 MHz.

Estrella Topología en la que todas las señales están conectadas a un conmutador central. Dos estaciones se comunican por medio de conmutación de circuitos.

Fibra óptica Filamento fino de cristal u otro material transparente a través del que se puede transmitir, mediante reflexión total interna, un haz de luz de una señal codificada.

Firma digital Mecanismo de autenticación que habilita al creador de un mensaje a adjuntar un código que actúa como firma. La firma garantiza la fuente y la integridad del mensaje.

Frecuencia Velocidad de oscilación de la señal en hertzios.

Medio de transmisión Camino físico entre transmisores y receptores en un sistema de comunicación.

Modelo de referencia de interconexión de sistemas abiertos (OSI, Open Systems Interconnection) Modelo de comunicación entre dispositivos que cooperan. Define una arquitectura de siete capas de funciones de comunicación.

Módem (modulador/demodulador) Transforma un flujo de bits digitales en una señal analógica (modulador) y viceversa (demodulador).

Modo de transferencia asíncrono (ATM, Asynchronous Transfer Mode) Un método de transmisión de paquetes usando un tamaño de paquete fijo, llamado celda. No proporciona mecanismos de control de errores y de control de flujo

Modulación Proceso, o resultado del proceso, de variación de algún parámetro de una señal, llamada portadora, de acuerdo con una señal mensaje

Multiplexación En transmisión de datos, una función que permite a dos o más fuentes de datos compartir un medio de transmisión común tal que cada fuente de datos tiene su propio canal.

Multiplexación por división de frecuencia División de un medio de transmisión en dos o más canales fraccionando la banda de frecuencia transmitida, en bandas más estrechas, y usando cada una de ellas como un canal diferente

Multiplexación por división de tiempo División de un medio de transmisión en dos o más canales transmitiendo la información de cada uno de ellos en intervalos de tiempo diferentes.

Octeto Grupo de ocho bits, con el que usualmente se opera como una entidad.

Paquete Grupo de bits que incluyen datos e información adicional de control. Generalmente se refiere a una unidad de datos del protocolo de la capa de red (capa 3 del modelo OSI)

Portadora Frecuencia continua capaz de ser modulada o readaptada por una segunda señal (portadora de información)

Protocolo Conjunto de reglas que gobiernan la operación de unidades funcionales para llevar a cabo la comunicación

Protocolo Internet Protocolo de interconexión entre redes que proporcionan servicios sin conexión a través de varias redes de conmutación de paquetes

Red de área local Red de comunicación que proporciona interconexión entre varios dispositivos de comunicación de datos en un área pequeña

Red de comunicación Colección de unidades funcionales interconectadas que proporcionan servicios de comunicación de datos entre estaciones conectadas a la red

Ruido Señales no deseadas que se combinan con las señal de transmisión o de recepción y que por lo tanto la distorsionan

Ruido de intermodulación Ruido debido a la combinación no lineal de señales de frecuencias diferentes

Ruido impulsivo Pulso de ruido de gran amplitud y corta duración

Ruido térmico de transmisión Ruido estadísticamente uniforme que depende de la temperatura del medio de transmisión

Texto cifrado La salida de un algoritmo de cifrado, la forma cifrada de un mensaje o dato

Texto puro La entrada de una función de cifrado o la salida de una función de descifrado

Trama Grupo de bits que incluye datos, además de una o más direcciones y otra información de control de protocolo. Generalmente se refiere a la unidad de datos del protocolo de la capa de enlace

Transmisión síncrona Transmisión de datos en la que el tiempo de ocurrencia de cada señal que representa un bit se relaciona con un marco de tiempo fijo

Unidad de datos de protocolo (PDU, Protocol Data Unit) Conjunto de datos especificados en un protocolo de una capa dada y que consta de información del protocolo de esa capa, y posiblemente de datos del usuario de esa capa

CAPÍTULO 9

Bibliografía

8.1 Libros, artículos y publicaciones

A Comparison of the DVB/DAVIC, DOCSIS and IEEE 802.14 Cable MODEM Specifications. Rangel V, Smythe C, Tzerefos P, and Landeros S. The University of Sheffield

Cable Modem Resources on the web. David Gingold. MIT

Comunicaciones y Redes de Computadores. Stallings, William. Ed Prentice Hall España 2000.

Convergence of DAVIC and Internet. Korea Telecom

Data Communication Fundamentals and Applications. Lyn A. DeNoia. Ed Bell and Howell Information Company

DOCSIS Technology and Protocols. Dyck, Trevor. Agilent Technologies

Euro-DOCSIS/DVB-RC Comparison. Quigley, Tom. Broadcom Corporation. May 1999

Fiber Optic Communication Systems. Agrawal, Govind P. Ed. John Wiley and Sons Inc

Line drivers and receivers push signals through cable's reality. Schweber, Bill. August 1996.

Multimedia Data Delivery and IP Multicasting. Genral Instrument Corporation. May 1999

Online Educational Delivery Applications: a web tool for research program on communications.

PC MAGAZINE. Vol 20 No. 3 February 2001

QoS: One HFC Network Multiple Revenue Streams. River Delta Networks

Redes de Telecomunicaciones. Schwartz, Mischa. Ed. Addison-Wesley Iberoamericana México, 1994

Redes para proceso distribuido. García Tomás Jesús, Fernando Santiago et al. Ed. Computec

Reglamento del servicio de Televisión y audio restringidos. Secretaria de Comunicaciones y Transportes Mexico

Estándar Protocol for Cable-TV based Broadband Communication Network. IEEE Project 802.14 Working Group

Technical Specification of a European Cable Modem for digital bi-directional communications via cable networks. EurocableLabs, Centre of Competence

Telecommunications Transmisión Handbook. Freeman, Roger L. Ed. A Wiley- Interscience Publication

Voice over Cable (VoCable). Tutorial

8.1 Páginas electrónicas consultadas

www.agilent.com/comms/docsis

www.adherent.com

www.cablelabs.com

www.cable-modem.net

www.cablemodem.com

www.cablenet.org

www.catv.org

www.des.shef.ac.uk/valia

www.iec.org

www.ietf.org

www.news.cnet.com/news

www.gosforum.com

www.stardust.com