

**Evaluación de la Tecnología de Modem de Cable (DOCSIS) y
Comparación con la Tecnología xDSL**

Ing. Julio César Enríquez Betancourt

Trabajo de Grado presentado a la ilustre Universidad Central de
Venezuela para optar al Título de Especialista en Comunicaciones y Redes de
Comunicación de Datos

Caracas, febrero 2004

**Evaluación de la Tecnología de Modem de Cable (DOCSIS) y
Comparación con la Tecnología xDSL**

Ing. Julio César Enríquez Betancourt

Trabajo de Grado presentado a la ilustre Universidad Central de
Venezuela para optar al Título de Especialista en Comunicaciones y Redes de
Comunicación de Datos

Tutor Académico: Profesor Vincenzo Mendillo, M.Sc

Caracas, febrero 2004

RESUMEN

El motivo del presente estudio es la evaluación de las especificaciones para acceso banda ancha residencial DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification).

En la evaluación se tomaron en cuenta las especificaciones actuales de segunda generación tecnológica para modem de cable DOCSIS v2.0, publicadas recientemente (diciembre 2002) por el organismo de estandarización en el área CableLabs.

El resultado de la investigación busca verificar si el continuo trabajo que se ha realizado internacionalmente por buscar una consolidación de estas especificaciones de acceso como un estándar de aceptación mundial, están alineadas a los continuos retos tecnológicos que se imponen continuamente en la materia. Así mismo, se realiza una comparación del esquema de acceso DOCSIS versus la tecnología xDSL.

Las recomendaciones finales están orientadas a establecer las pautas relevantes que deben caracterizar a las especificaciones DOCSIS, que garanticen su preservación en el área de acceso de banda ancha residencial y el futuro reforzamiento de sus prestaciones para la agregación de nuevos servicios de última milla, basado en las tendencias actuales en el mercado de acceso a alta velocidad.

INDICE GENERAL

PORTADA		i
RESUMEN		iii
INTRODUCCIÓN		1
CAPITULO I.	SITUACIÓN ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE MODEM DE CABLE	2
	I.1 Introducción a la Evolución de Servicios de Datos por Cable	2
	I.2 Especificación DOCSIS	4
	I.3 Servicios de Banda Ancha por Cable	5
	I.4 Requisitos para la Convergencia de la Red de Cable con otras Redes de Servicio	6
	I.4.1 Nodo HFC	6
	I.4.2 Cabecera con Control Centralizado	7
	I.4.3 Modem de Cable	7
	I.5 Planteamiento del Problema y Definición de los Objetivos del Presente Estudio	7
	I.5.1 Planteamiento del Problema	7
	I.5.2 Objetivo General	8
	I.5.2.1 Objetivos Específicos	8
CAPITULO II.	FUNDAMENTOS BÁSICOS DEL SISTEMA DE MODEM DE CABLE	9
	II.1 Elementos del Sistema Modem de Cable Actual	10
	II.1.1 Controlador Inteligente	10
	II.1.2 Paquete MAC	11

II.1.3	Distribución de los Canales Descendentes y de Retorno	12
II.1.4	Ranuración del Canal de Retorno	12
II.1.5	Solicitudes y Concesiones	13
II.1.6	Algoritmos de Contención y Eliminación de Colisiones	14
II.1.7	Planificaciones, Colas y Calidad de Servicio	15
II.1.7.1	Planificación Reactiva	15
II.1.7.2	Solicitud Contendida de Ancho de Banda	17
II.1.7.3	Planificación de Sensibilidad al Retardo	17
II.1.7.4	Tiempo de Retardo	18
II.2	Servicios Multicast	19
II.3	Privacidad	19
II.4	Modem de Cable con Retorno Telefónico	20
II.5	Modelos Propuestos de Capa Física para el Sistema Modem de Cable	20
II.6	Modelos Propuestos de Capa MAC para el Sistema Modem de Cable	22
II.7	Esquemas Principales para Resolución de Colisiones en el Sistema de Cable Modem	24
II 7.1	Resolución Basada en Ramificación	24
II.7.2	Persistencia-P Adaptativa	25
CAPITULO III.	ESPECICACION DE INTERFAZ PARA SERVICIO DE DATOS POR CABLE (DOCSIS)	27
III.1	Bases Funcionales	27
III.2	Arquitectura Referencial	28
III.3	Pila de Protocolos	30
III.3.1	Capa Física	30
III.3.2	Capa de Enlace	31

III.3.3	Capa de Red	31
III.4	Reglas de Reenvío del CMTS entre las Interfaces CMTS-RFI y el CMTS-NSI	31
III.5	Reglas Reenvío del CM	33
III.6	Proceso de Reenvio del Cmts Dentro de un Dominio MAC	34
III.7	Estudio de la Capa Física	34
III.7.1	Subcapa Física Dependiente del Medio (PMP)	34
III.7.1.1	Especificación del Canal de Retorno	34
III.7.1.2	Especificación del Canal de Descenso	45
III.7.2	Capa de Convergencia de Transmisión	45
III.7.2.1	Capa de Convergencia de Transmisión en Descenso	45
III.8	Estudio de la Capa MAC	47
III.8.1	Elementos Básicos y Definiciones	47
III.8.2	Formato Trama MAC	48
III.8.3	Mensajes MAC de Gestión	55
III.8.4	Operación de la Capa MAC	61
III.9	Calidad de Servicio	68
III.10	Fundamentos de Privacidad en DOCSIS	72
III.11	Inicialización de Operación del CM	78
III.12	Protocolo de Gestión Simple de Red en DOCSIS	81
III.13	Servicio Multicast	82
CAPITULO IV.	EVALUACIÓN DE LA ARQUITECTURA DOCSIS	84
IV.1	Evaluación de la Arquitectura DOCSIS Según los Requerimientos y Especificaciones de la Arquitectura para Acceso Abierto	84

IV.1.1	Introducción	84
IV.1.2	Arquitectura de Acceso Abierto en la Capa Física de DOCSIS	84
IV.1.3	Arquitectura de Acceso Abierto en la Capa MAC de DOCSIS	85
IV.2	Evaluación de DOCSIS bajo el Esquema Infraestructura Global de Información. Recomendaciones LTA (Long-Term Architecture)	92
IV.2.1	Introducción	92
IV.2.2	Ubicación Funcional de la Red de Acceso en los Servicios Multimedia bajo el LTA	93
IV.2.3	Evaluación de DOCSIS Según los Criterios Establecidos en LTA	93
IV.3	Comparación de la Tecnología DOCSIS versus xDSL	98
IV.3.1	Introducción a la Tecnología xDSL	98
IV.3.2	Introducción a la Tecnología ADSL	100
IV.3.3	Evaluación de DOCSIS Versus ADSL	102
IV.3.4	Comparación de Costos	110
IV.3.4.1	Costos Asociados a la Implementación DOCSIS	111
IV.3.4.2	Costos Asociados a la Implementación de la Red ADSL	117
	CONCLUSIONES	121
	RECOMENDACIONES	126
	GLOSARIOS	128
	ABREVIACIONES	136
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	137

APÉNDICE A Modelos de Capa Física Propuestos para Redes de

	Modem de Cable	139
APÉNDICE B	Modelos de Capa MAC Propuestos para Redes de Modem de Cable	146
APÉNDICE C	Estudio del Modelo Físico de Transmisión ADSL	156
ANEXO 1	Tarifas del Servicio xDSL y DOCSIS en el mercado Venezolano (I Trimestre 2004)	168

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Parámetros de diseño para redes HFC en Venezuela	112
Tabla 2	Requerimientos de la FCC	112
Tabla 3	Lista de materiales sistema óptico	113
Tabla 4	Listado materiales para el sistema coaxial	115
Tabla 5	Costo total capa de transporte	115
Tabla 6	Costo Sistema de Control	115
Tabla 7	Costos Sistema de Energía	116
Tabla 8	Costo total sistema DOCSIS	116
Tabla 9	Costo implementación opción Alcatel	118
Tabla 10	Costo implementación opción Cisco	119
Tabla 11	Comparación de los costos incurridos en cada una de las implementaciones DOCSIS vrs ADSL	120
Tabla A.1	Parámetros SDMT	140
Tabla A.2	Parámetros del modelo	143

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Arquitectura referencial	30
----------	--------------------------	----

Figura 2	Pila de protocolos	32
Figura 3	Estructura de las ráfagas de retorno	36
Figura 4	Flujo de procesamiento de canal de retorno	38
Figura 5	Estructura de subtrama S-CDMA	42
Figura 6	Enumeración de símbolos sin TCM (S-CDMA)	43
Figura 7	Formato genérico de trama MAC	49
Figura 8	Detalle del campo FC del encabezado MAC	50
Figura 9	Trama PDU basado en paquetes	51
Figura 10	Encabezado MAC extendido	53
Figura 11	Formato mensaje de gestión MAC	55
Figura C.1	Modelo de múltiples distorsionadores NEXT/FEXT	162
Figura C.2	Modelo generación señal ADSL	164
Figura C.3	Diagrama de bloque del esquema de modulación	165

INTRODUCCIÓN

En diciembre del 2002, el organismo de estandarización mundial en el área de acceso banda ancha por cable, anunció la publicación oficial de la segunda generación tecnológica de acceso banda ancha DOCSIS v2.0 (Data Over Cable Service Interface Specification Versión 2.0). Esta tecnología tiene una entrada relativamente reciente en el mercado de acceso en Venezuela y presenta un comportamiento interesante en vista de los constantes trabajos que se han realizado por grandes consorcios internacionales para buscar una estandarización de sus especificaciones, satisfaciendo las exigencias que actualmente se están presentando en el mercado de acceso banda ancha residencial.

La publicación de la segunda generación trae consigo nuevas mejoras sobre la primera, principalmente en lo que respecta a la implementación de técnicas de acceso basadas en espectro disperso (spread spectrum) para optimizar notablemente las capacidades de transmisión del canal de retorno (desarrollada en su primera generación sobre un esquema de acceso TDMA). Esto indica que la tecnología de modem de cable basada en las especificaciones DOCSIS, está reduciendo las limitaciones iniciales heredadas de los primeros sistemas de televisión por cable (CATV), así como también, proporcionando nuevas velocidades de banda ancha al margen de otras técnicas de acceso de relativo éxito actualmente en el mercado.

El estudio de las especificaciones DOCSIS, la comparación con la tecnología de acceso xDSL y su evaluación con respecto a los servicios que debe ofrecer para que la misma pueda garantizar su estadia en el mercado de acceso residencial de banda ancha, forma parte del presente trabajo.

CAPITULO I. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE MODEM DE CABLE

I.1 INTRODUCCIÓN A LA EVOLUCIÓN DE SERVICIOS DE DATOS POR CABLE

Los modems utilizados en los primeros sistemas de televisión por cable (CATV) se comercializaron a principio de 1987 por varias compañías, entre ellas, Fairchild Electronics. El modem de cable Fairchild M505 Broadband, utilizaba técnicas de modulación QPSK y QAM, logrando hasta 10 Mbps de velocidad full duplex. Muchas de las características aun hoy en día se conservan sobre las tecnologías actuales de modem de cable.

Los operadores de cable, al percatarse del rápido crecimiento de la red Internet, evaluaron la factibilidad de utilizar redes de transmisión híbridas construidas con fibra y coaxial (red HFC), como una solución conveniente para el transporte de servicios de datos.

La factibilidad del servicio de modem de cable se sujetó a varios parámetros a evaluar, tales como:

- Número de sistemas que deberán actualizar su estructura física de transporte a fibra.
- Número de sistemas que permiten la transmisión en ambos sentidos (bidireccional).
- Factibilidad de conformar un grupo de técnicos que garanticen una estructura de red en condiciones óptimas para el acceso a alta velocidad.
- Calidad en el suministro de servicios adicionales al cliente (ej.: web hosting) y velocidad de red sobre la que se suministrarán las mismas, tomando como referencia otras soluciones tecnológicas.
- Capacidad competitiva con relación a otras alternativas de acceso ya existentes, (ej.: tecnología xDSL), en lo que respecta a rapidez de aprovisionamiento, velocidad de acceso y costos involucrados en el servicio ofrecido a los usuarios.

Posteriormente, otras compañías de televisión por cable fueron apareciendo progresivamente e implementaron tecnologías propietarias, tales como: Motorola, Aplitek, Terayon, entre otras.

En el año 1995, la industria de televisión por cable (CATV) empezó a plantear la posibilidad de estandarizar la tecnología de modem de cable. Un grupo de operadores en norteamérica conformó una asociación denominada MCNS (Multimedia Cable Networks System Partners Ltd). La función principal era lograr la masificación de la tecnología de modem de cable a través de la estandarización de las especificaciones y conseguir con esto una reducción en los procesos de diseño y fabricación de los productos. Posteriormente MCNS se unió a CableLabs para conformar un grupo de desarrollo, del cual se originaron las especificaciones para el desarrollo de DOCSIS (Data Over Cable Services Interfaces Specification).

No obstante, el primer ente en desarrollar un estándar en la tecnología de modem de cable fue la IEEE, a través del grupo de trabajo IEEE 802.14 (creado en el año 1994). El primer borrador fue generado en el año 1998.

En paralelo a lo anterior, un consorcio industrial denominado DAVIC (Digital Audio Video Council), empezó también el proceso para la creación de un estándar enfocado principalmente en el mercado de video por demanda, el cual rápidamente cambió su atención hacia la creación de servicios interactivos bidireccionales. En junio de 1999, DAVIC completó su proyecto y presentó un estándar ante las autoridades internacionales. Posterior a septiembre de 1999, DAVIC desapareció y una parte del grupo original conformó un foro denominado TV Anytime Forum.

De igual manera, en noviembre de 1999 el grupo de trabajo de IEEE 802.14 se disgregó y rompió una asociación interesante que se había empezado a conformar con el grupo de

DOCSIS.

I.2 ESPECIFICACIÓN DOCSIS

La especificación DOCSIS actual es el resultado de la iniciativa del proyecto correspondiente al grupo Multimedia Cable Network System Partners Limited (MCNS), cuyos miembros incluían a: TCI, Time Warner, Cox, Comcast, Continental, Rogers y CableLabs. El logro principal de MCNS fué acelerar el desarrollo de las especificaciones para el soporte de la operación de las comunicaciones, interfaces y equipos asociados a la arquitectura de modem de cable. La especificación fué desarrollada para no ser propietaria a un vendedor en particular, permitiendo la compatibilidad entre fabricantes.

CableLabs en cooperación al proceso de coordinación, se encargó de establecer un control para la actualización y revisión estricta de versiones.

Entre las especificaciones más relevantes de la arquitectura DOCSIS se encuentra el RFI (Radio Frequency Interface Specifications). La primera especificación relacionada al tema se denominó DOCSIS RFI v1.0 (culminada en diciembre de 1996). DOCSIS está basado en arquitecturas LAN para gran distancia y su primera especificación v1.0 no soportó políticas de calidad de servicio (QoS), trabajando sólo con el criterio del mejor esfuerzo o planificación reactiva (best effort). La primera versión fué adoptada por la SCTE (Society of Cable Telecommunications Engineers), ANSI (American National Standard Institute) y por la ITU (International Telecommunication Union) en 1997 bajo la recomendación J.112.

En 1999, CableLabs generó la versión DOCSIS RFI v 1.1, basada en los requerimientos del proyecto PacketCable, relativos a la transmisión de voz y datos por cable. De esta manera, la versión 1.1. añadió características importantes de calidad de servicio dinámico para el transporte de paquetes de voz y datos. Las otras características adicionales que representan una mejora con relación a la especificación anterior, son los relativos a la implementación

del soporte para multicast y privacidad. También la compatibilidad con la especificación IEEE 802.1p, relacionado al etiquetamiento de tramas Ethernet. Este etiquetamiento es soportado tanto para el establecimiento de prioridades como para el soporte de VLANs.

El 19 de diciembre del 2002, la ITU anunció la aprobación del estándar definitivo para la segunda generación de sistemas por cable denominado DOCSIS v2.0 (recomendación J.122). Esta nueva versión está enfocada básicamente en la optimización de la transmisión en retorno, a través de la implementación de formas avanzadas de acceso basadas en técnicas de TDMA y CDMA.

I.3 SERVICIOS DE BANDA ANCHA POR CABLE

Con respecto a los servicios que deben ser ofrecidos para el acceso banda ancha, se puede tomar como punto de referencia en el estudio a las recomendaciones IEEE I.211. En estas recomendaciones se diferencian dos clases de servicios: interactivos y de distribución. Los servicios interactivos a su vez se dividen en tres grupos: conversacionales, mensajería y de almacenamiento.

Los servicios conversacionales están soportados en el principio de la comunicación en tiempo real y permiten diferentes flujos de información, ya sea bidireccional simétrica, bidireccional asimétrica o unidireccional.

Los servicios de mensajería, están basados en la comunicación del tipo almacenamiento/reenvío, destacándose los servicios de manejo de mensajería para contenidos ya sea de video, imágenes de alta resolución y audio información.

Los servicios de almacenamiento tienen su funcionalidad en permitir al usuario la capacidad de almacenamiento en unidades externas de uso público.

En cuanto a los servicios de distribución, estos están a su vez divididos en: sin control por parte del usuario o con control por parte del usuario. En el primer caso involucra servicios del tipo broadcast. Estos proveen un flujo continuo de información desde un punto central a un número ilimitado de usuarios. El usuario puede acceder a este flujo de información en cualquier momento, mas no puede controlar el orden de la presentación broadcast.

En el caso de una presentación con control por parte del usuario, el flujo de información se transmite cíclicamente y permite al usuario escoger la secuencia de la presentación.

Existe un conjunto de aplicaciones que son relevantes para que el producto sea atractivo comercialmente en el mercado de las redes de acceso banda ancha. Dentro del grupo de aplicaciones se encuentran: acceso a Internet a alta velocidad, video en demanda (VOD), no video en demanda (NVOD), broadcasting digital, telefonía sobre la red de cable, trabajo en el hogar, telemedicina, educación a distancia, video telefonía (videofonía), comercio electrónico (e-commerce), audio digital en demanda, servicios locales de información, telemetría, etc.

I.4 REQUISITOS PARA LA CONVERGENCIA DE LA RED DE CABLE CON OTRAS REDES DE SERVICIOS

Para la convergencia de la red telefónica (POTS) con la red de cable (CATV), se deberán realizar planteamientos y asunciones que cumplan con los siguientes criterios:

- La red HFC deberá ser considerada como un nodo de acceso.
- La cabecera (headend) deberá asumir el control central del sistema.
- El modem de cable ejecutará funcionalidades de unidad de interfaz de red (UNI).

I.4.1 Nodo HFC

La especificación de la red HFC como un nodo de acceso es el primer paso relevante en el proceso de integración de la red telefónica (POTS) y la red de cable (CATV). El foro para ATM coloca a la red HFC en el mismo nivel de otros nodos de acceso, tales como: FTTC, FTTH y acceso telefónico. La red HFC vista como un nodo de acceso, debe tener interfaces estándares orientadas a su interconectividad con las siguientes redes:

1. Red de voz vía especificación de interfaz para líneas tróncales T1 y E1.
2. Internet vía enrutador.
3. Backbone de la red banda ancha.

I.4.2 Cabecera con Control Centralizado

La red HFC no garantiza la integración de los servicios ofrecidos al cliente. Si se asume un control del tipo distribuido, sería aun más difícil dicha integración. La centralización de los servicios en la cabecera permite consolidar el control de los servicios en la red y entre una de sus funciones más relevantes es la gestión de las asignaciones de ancho de banda de los modems conectados a la red HFC, así como también, el control de los procesos de señalización, administración, gestión de la red, entre otros.

I.4.3 Modem de Cable

El modem de cable deberá cumplir funciones que garanticen a las nuevas aplicaciones (desarrolladas para banda ancha), lograr ser accesibles a los usuarios que utilicen dicho dispositivo.

I.5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS DEL PRESENTE ESTUDIO

I.5.1 Planteamiento del Problema

Establecer las bases funcionales de la tecnología de acceso de banda ancha de modem de cable basado en las especificaciones DOCSIS y evaluar su alcance dentro del mercado de acceso banda ancha residencial.

I.5.2 Objetivo General

Estudio de la segunda generación de la Especificación Estándar de Interfaz de Datos por Cable (DOCSIS v2.0) y su comparación versus otras técnicas de acceso banda ancha residencial

I.5.2.1 Objetivos específicos

- Estudio de la pila de protocolos de la especificación DOCSIS.
- Estudio del esquema de privacidad implementado en DOCSIS.
- Estudio del esquema de calidad de servicio establecido en DOCSIS.
- Evaluación de DOCSIS con respecto a las especificaciones estándares de servicios que deben ser ofrecidos en los sistemas para banda ancha residencial.
- Comparación de DOCSIS versus la tecnología de acceso para banda ancha xDSL.

CAPITULO II. FUNDAMENTOS BÁSICOS DEL SISTEMA DE MODEM DE CABLE

Los elementos que sumarizan los aspectos básicos de los primeros sistemas de modem de cable son:

- Los sistemas estaban basados en el protocolo ALOHA y ALOHA ranurado.
- Los canales de retorno y descenso son del mismo tamaño y tipo de modulación, creando un sistema en banda simétrico.
- Baja eficiencia del canal.
- Servicio de planificación reactiva (best effort).
- No existe control central para la gestión de asignación de ancho de banda.
- Repetidoras de eco en el sistema.
- El modem de cable debe ser configurado manualmente antes de su incorporación en la red de cable.
- Interfaces de conexión tipo Ethernet entre el host del usuario y el modem de cable.
- Envío de paquetes sin encriptación.

Los aspectos más relevantes de las propuestas realizadas para la mejora de las futuras generaciones de los sistemas de cable (CATV) fueron:

- Los canales de radio frecuencia (RF) deben estar contenidos en un ancho de 6 MHz para homologarlo a las especificaciones de radio difusión estándar para televisión en norteamérica. Para la transmisión en sentido descendente se recomienda un esquema de modulación de 64 QAM y 256 QAM. El espectro de frecuencia disponible para el sistema debe estar ubicado entre los 54 MHz a los 860 MHz. Los canales deberán actuar sin interferencia con el plan de banda asignado para el video NTSC analógico.
- Deben existir uno o más canales en retorno; con modulación propuesta a QPSK o

16 QAM. El rango de frecuencia usado debe estar ubicado entre los 5 MHz y los 42 MHz.

- Interfaz Ethernet entre el modem de cable y el CPE (host del usuario).
- Una interfaz Ethernet en la cabecera (headend), necesaria para la conexión con el backend de la red.
- Manejo de IP sobre Ethernet con soporte para unicast, multicast y direccionamiento broadcast.
- Implementación de esquemas de privacidad en el transporte de datos dentro de la red de cable.
- Alta capacidad de gestión en el sistema.
- Proveer solución final al cliente a bajo costo.

II.1 ELEMENTOS DEL SISTEMA MODEM DE CABLE ACTUAL

II.1.1 Controlador Inteligente (CMTS)

El CMTS (Cable Modem Termination System) es un controlador inteligente localizado en la cabecera, el cual tiene entre sus funciones la demodulación de los canales de retorno provenientes de los modems, procesamiento de las comunicaciones recibidas, ejecución de funciones de enrutador y switching, modulación de las transmisiones en dirección descendente y asignación de recursos en la red de cable.

Los componentes principales del CMTS son: procesador MAC, transmisor, uno o varios receptores, un planificador de tareas, un administrador de sistemas y una interfaz WAN.

El transmisor es responsable de enviar los paquetes MAC en el canal descendente previa modulación en RF. Luego, la información transmitida por el CMTS es recibida por el modem. En América, el CMTS soporta el estándar ITU J.83 anexo B para la especificación de transmisión de video.

El receptor en el CMTS es responsable por convertir la señal recibida modulada en RF (proveniente del canal de retorno), a paquetes MAC. Luego, los paquetes MAC podrán ser enviados a la interfaz WAN, al planificador de tareas o al procesador MAC.

El procesador MAC se encarga de los aspectos relacionados al protocolo de acceso al medio en la red de cable, así como también, el control y gestión de los modems.

En coordinación con el procesador MAC se encuentra el planificador de tareas, el cual es responsable por administrar la asignación de los recursos en la transmisión en retorno. La asignación de estos recursos está basada en varios factores tales como: disponibilidad, prioridad y criterios de calidad de servicio.

El administrador del sistema es responsable por soportar la gestión remota del sistema a través del protocolo de gestión simple de red SNMP (Simple Network Management Protocol). El administrador del sistema trabaja en el controlador inteligente haciendo uso de la interfaz WAN y todos los elementos de gestión disponibles.

El procesador WAN es responsable por la comunicación con el backend de la red del operador del cable. El procesador WAN puede ser implementado como un switch Ethernet o como un enrutador IP, dependiendo del fabricante del CMTS.

II.1.2 Paquete MAC

La estructura del paquete MAC consiste de:

- Encabezado MAC: contiene los identificadores del modem de cable, banderas específicas MAC y algunos indicadores que van en función del contenido de los datos. Un encabezado MAC tiene su propio código de detección de errores (CRC),

de manera tal que el receptor pueda detectarlos en el encabezado. Un encabezado MAC puede ser de longitud variable (extendido) o de longitud fija. El modem de cable tiene una identificación dentro de la red, la cual es asignada por el CMTS.

- Datos: consisten tanto de datos de gestión como datos del usuario. Los mensajes MAC de gestión pueden ser de varios tipos de longitud dependiendo del protocolo MAC específico que se utilice. Si se trata de datos del usuario, entonces puede ser de longitud fija o variable.

II.1.3 Distribución de los Canales Descendentes y de Retorno

El controlador inteligente es un sistema asimétrico que soporta un canal de datos en dirección descendente y múltiples canales de datos en retorno. El receptor de un modem de cable está siempre en sintonía con el canal descendente. El transmisor de un modem estará enviando datos en el canal de retorno asignado previamente por el CMTS.

Con el controlador inteligente, el modem no transmitirá sin autorización del CMTS. La autorización puede ser explícita (autorización directa hacia un modem en particular) o implícita (autorización a un grupo de modems).

II.1.4 Ranuración del Canal de Retorno

La transmisión del modem al CMTS se realiza a través la ranuración de los canales de retorno, permitiendo optimizar el uso de los recursos disponibles.

Una ranura es una medida de tiempo que tiene que ser seleccionada, la cual es usada para sincronizar la tasa de transmisión del canal de retorno. Existen dos modalidades en los sistemas ranurados. En la primera modalidad, el tamaño de la ranura es el mismo que el de una ráfaga de transmisión en retorno (la ráfaga es de longitud fija). En la segunda modalidad, el tamaño de la ranura es más pequeña que cualquier ráfaga en retorno, en este

caso se hace uso de múltiples ranuras para la asignación de tiempo en la ráfaga. En las ráfagas se incluye el preámbulo, FEC y tiempo de guarda.

Para que un sistema ranurado funcione correctamente, dos ajustes fundamentales deben de realizarse después de que el CMTS ha establecido el tamaño de la ranura. Primer paso, un modem de cable deberá realizar un proceso denominado escalamiento (ranging). Segundo paso, es necesario que todos los modems se distribuyan la misma noción temporal de enumeración de las ranuras.

El CMTS ejecutará el proceso de escalamiento estableciendo un tiempo de referencia en el canal de descenso (uso de marcas de tiempo). El CMTS luego ajustará un temporizador en el modem para sincronizarlo con la ranura. El receptor de cada canal en el CMTS es responsable por la sincronización con respecto al reloj maestro usado por él. Los mensajes de gestión MAC son usados para establecer las condiciones necesarias para la comunicación del modem con el CMTS. El CMTS deberá ajustar de forma precisa la sincronización de un modem con el sistema de ranuración de la red de cable.

Después que el ajuste de la ranura es realizada, el CMTS sincroniza cada modem con un esquema de enumeración de ranuras. Un número de ranura es un entero que incrementa con cada ranura. La numeración es reiniciada durante cada cierto tiempo por el CMTS.

Durante el proceso de escalamiento inicial, el receptor del CMTS medirá los niveles de potencia de la señal RF. La gestión MAC realizará los ajustes necesarios en los niveles de potencia de salida del modem de cable para asegurar que el mismo se encuentre dentro de los valores apropiados.

II.1.5 Solicitudes y Concesiones

Cada vez que el modem de cable necesite enviar datos a través de la red de cable, generará

una solicitud de ancho de banda hacia el CMTS, estas solicitudes estarán bajo un formato de mensaje MAC específico de gestión. La solicitud notificará que el modem a recibido del CPE (host del usuario) una información el cual requiere ser enviada en el canal de retorno. Una vez que la solicitud es recibida por el CMTS, la unidad de planificación de tareas del CMTS procesará la solicitud. El planificador de tareas revisará todas las solicitudes provenientes de los modems de la red de cable y enviará unos mensajes denominados Concesiones, en el canal descendente.

Existen tres formas básicas de otorgar concesiones en la red de cable:

1. Concesión directa: autoriza a un único modem para que transmita en el canal de retorno. La asignación directa incluye un identificador del modem de cable, un número de ranura de inicio y el número de ranuras concedidas.
2. Concesión por contención: permite que múltiples modems en la red de cable intenten transmitir en la misma ranura, distintas solicitudes de petición de ancho de banda.
3. Concesión de administración: reserva una porción de las ranuras de retorno para el uso de la gestión MAC, típicamente usado para el proceso de escalamiento de nuevos modems en la red de cable.

II.1.6. Algoritmos de Contención y Eliminación de Colisiones.

La contención es usada cuando el modem de cable desee notificar al CMTS la necesidad de enviar alguna información en el canal de retorno. Las reglas básicas usadas por el controlador inteligente (CMTS) en el proceso de contención son:

- Sólo pueden ser colocados mensajes de solicitudes de ancho de banda dentro de las ranuras para la contienda. Los datos del usuario son mantenidos en cola mientras el modem obtiene la autorización para la transmisión.

-
- El CMTS dará un acuse de recepción de la solicitud de ancho de banda con una asignación directa o simplemente con un reconocimiento. Mientras el modem no reciba ningún mensaje del CMTS, el mismo se seguirá encontrando en el proceso de contención.
 - Mientras el modem de cable este en contención, asignará valores aleatorios a una variable entera x en el rango de $0 \leq x < 2^k$, donde el valor de la variable k es fijada por el CMTS. Este proceso es denominado backoff exponencial directo. El CMTS periódicamente ajustará el valor de la variable k basado en el conocimiento de la cantidad de modems presentes en la red de cable.

El CMTS tiene la capacidad de ajustar ambos valores (k y número de ranuras de contención disponibles), basandose en el número de modems que están participando en la contienda. Con esto se desea realizar un control de la cantidad total de potencia transmitida en el canal de retorno, evitando así una saturación de potencia en el canal y por ende distorsión de la señal.

II.1.7 Planificaciones, Colas y Calidad de Servicio

Los mecanismos para la solicitud de ancho de banda y concesión están compuestos de una gran cantidad de algoritmos opcionales para su ejecución y planificación. Las especificaciones para los sistema de cable no detallan los procesos de implementación del planificador de tareas en el CMTS, dichas capacidades son dejadas a los fabricantes para su desarrollo. No obstante, existen algunos esquemas que deben tomarse en cuenta en el diseño de dichos algoritmos.

II.1.7.1 Planificación Reactiva

En el modem de cable existe un pequeño planificador de tareas (disponible para las ranuras del canal de retorno), una cola de concesiones y uno o más colas de datos para almacenar

temporalmente los paquetes que llegan desde el CPE al modem.

El proceso general para la transmisión de un paquete es el siguiente:

1. Un paquete del host del usuario (ej: trama Ethernet) llega a una cola de datos en el modem, el cual está destinado a la transmisión en el canal de retorno.
2. El planificador del modem de cable calcula el número de ranuras necesarias para transmitir el paquete en el retorno y prepara un mensaje de solicitud de ancho de banda.
3. El modem esperará por una oportunidad para participar en la contienda y luego transmitirá la solicitud de ancho de banda al CMTS.
4. El modem entra al modo de contienda y calcula cuanto debe de esperar antes de intentar enviar otra solicitud de ancho de banda.
5. El CMTS recibe la solicitud de ancho de banda desde el modem y planifica la asignación del ancho de banda para el canal de retorno.
6. Si el CMTS puede planificar inmediatamente la asignación de ancho de banda, se originará una asignación directa al modem de cable y luego transmitirá la concesión en el canal de descenso. Si el CMTS observa que el proceso de asignación no es factible en los momentos actuales, enviará sólo una notificación de reconocimiento al modem, para que éste último tenga conocimiento que su solicitud ha sido recibida mas aún no está procesada la reservación de los canales para el retorno.
7. El modem de cable recibirá la concesión directa o el reconocimiento de la solicitud realizada previamente. La recepción de cualquiera de estos dos mensajes obligará al modem a salir del proceso de contención. Si recibe solamente un mensaje de reconocimiento, el modem de cable esperará por una concesión directa posterior.
8. Si el modem de cable recibe una concesión directa del CMTS, preparará los paquetes para la transmisión. Cuando el número de la ranura actual es igual al número de la ranura inicial contenida en el mensaje de concesión directa del CMTS, entonces el modem procederá a transmitir el paquete.

II.1.7.2 Solicitud contenida de ancho de banda

Otra forma de petición de canales adicionales para el retorno una vez obtenida una concesión inicial, es el de transmitir una solicitud de extensión de la misma dentro del encabezado MAC de uno de los paquetes de datos (que está haciendo uso de las ranuras ya concedidas). La petición mencionada es conocida como una Solicitud Contenida de Ancho de Banda. La solicitud funciona de la siguiente forma: mientras el modem de cable se encuentre en espera para transmitir un paquete, puede recibir paquetes adicionales en la cola para el canal de retorno. Antes de transmitir los paquetes, el modem incluirá o actualizará el mensaje de solicitud de ancho de banda en el encabezado MAC. De esta manera, el CMTS recibirá una solicitud de actualización de ancho de banda sin necesidad de que el modem tenga que participar en un proceso de contienda nuevamente. La característica anterior ayuda a reducir el uso de la contienda en la red de cable optimizando los recursos disponibles.

II.1.7.3 Planificación de sensibilidad al retardo.

La planificación de la sensibilidad al retardo (también referida como planificación de calidad de servicio) es un mecanismo a través del cual el planificador ejecuta el proceso de planificación reactiva como proceso por defecto, pero es capaz de establecer prioridades durante la asignación (ej: servicios de paquetes de voz). Para esto, el modem utiliza colas con diferentes niveles de prioridades las cuales son establecidas y acordadas entre el CMTS y el modem de cable durante el proceso de inicialización.

Para el tráfico del tipo CBR el planificador en el CMTS ejecuta una acción del tipo predictiva. En esta categoría el modem no necesita realizar ningún mecanismo de contención para hacer uso de la misma. En el servicio del tipo VBR, las solicitudes de ancho de banda son tratadas dentro de un esquema de asignaciones de alta prioridad.

II.1.7.4 Tiempo de retardo

Los paquetes en la red de cable presentan dos tipos de retardos: fijos y variables. Los retardos de valores fijos comprenden:

- Retardo de propagación en la red HFC: el máximo valor en un sentido es de aproximadamente 400 μ seg. Para ambas direcciones el máximo retardo es de 800 μ seg.
- Retardo por modulación y demodulación en el canal de descenso: depende del modo en el cual el estándar ITU J83 es usado. El mínimo es aproximadamente de 1 milisegundo y el máximo se encuentra en el orden de varios milisegundos.
- Retardo por modulación y demodulación del canal de retorno: es función de la configuración establecida en el canal de retorno. Puede estar aproximadamente en el valor de 1 milisegundo.
- Retardo por procesamiento de asignaciones en el modem de cable: aquí se asume valores aproximados de 200 μ seg.
- Retardo en el procesamiento de planificaciones del CMTS: es el tiempo acotado entre cuando un planificador recibe una solicitud de ancho de banda desde un modem de cable y le es asignado una concesión directa o un reconocimiento. Está en el orden de uno a varios milisegundos.
- Retardo para el acceso a los datos del usuario. Es el retardo experimentado por la llegada de un paquete a la cola de retorno del modem de cable, hasta que el mismo empieza a ser transmitido en el canal de retorno propiamente. Lo mínimo para este retardo (el cual consiste en la suma de los retardos fijos más el ocasionado por la planificación del CMTS), está aproximadamente en el orden de los 4 milisegundos.

II.2 SERVICIOS MULTICAST

El esquema para el servicio multicast puede ser aplicado en líneas generales, de la siguiente forma:

- Cuando un modem se integra a la red de cable, se le asigna un identificador único por parte del CMTS. El CMTS no asignará el mismo valor a ningún otro modem activo en la red.
- La red de cable hace uso de un valor de identificación para direccionamiento el cual es entendido por todos los modems como una dirección broadcast.
- El CMTS puede asignar valores adicionales de identificación a los modems de cable para formar grupos de direcciones. El CMTS puede en cualquier momento añadir o remover un modem de un grupo de direcciones. Usando este sistema el CMTS puede construir varios grupos multicast.
- El direccionamiento multicast es usado sólo en el canal descendente.

II.3 PRIVACIDAD

En el sistema de cable, la comunicación en ambos sentidos se puede establecer en forma encriptada. Por regla general, cuando un modem de cable empieza a operar, un sistema de encriptación de clave pública es usado para intercambiar los mensajes dentro de la red de una forma segura. Estos mensajes incluyen un grupo de claves secretas que son usadas para ejecutar el proceso de encriptación de los datos del paquete MAC. Las claves son enlazadas con la identificación asignada al modem previamente por el CMTS. Un campo dentro del encabezado MAC identifica la clave que se está usando para la comunicación entre el CMTS y el modem en particular. Se pueden realizar intercambios de claves en forma regular con la finalidad de aumentar la seguridad en la transmisión de datos dentro de la red de cable.

El CMTS debe tener una base de datos principal conteniendo los identificadores del modem, las claves secretas que fueron entregadas, así como también la información de la clave pública. El modem debe mantener una base de datos y un conjunto de claves secretas por cada identificador que se le asigna. Sólo la porción de datos del usuario dentro del paquete MAC es encriptada. El encabezado MAC estará siempre en texto claro.

II.4 MODEM DE CABLE CON RETORNO TELEFÓNICO

Algunos sistemas o redes de cable basados en coaxial, pueden no tener canales para el retorno. Para implementar servicios de banda ancha en estos sistemas se necesita establecer un canal para el retorno. La red de cable usará el canal de descenso para proveer servicios de banda ancha desde el CMTS hasta el modem. No obstante, el canal de retorno es realizado a través del uso de una conexión dial-up, en vez de utilizar la red de cable. La conexión dial-up termina en un servidor de acceso remoto (RAS), el cual es operado por el operador de la red de cable. En el canal de descenso, el paquete es transmitido usando IP sobre Ethernet, pero en la dirección de retorno los paquetes se transmiten en IP sobre PPP (Point to Point Protocol). De esta forma, el modem de cable actúa como un enrutador de tres puertos. En un puerto, los paquetes IP sobre Ethernet son recibidos en el canal de descenso. En otro puerto, los paquetes IP sobre Ethernet son intercambiados entre el puerto Ethernet del modem de cable y el CPE (host del usuario). Y por último, usará otro puerto del modem para convertir los paquetes Ethernet recibidos desde el CPE en paquetes IP sobre PPP, para luego ser transmitidos de retorno a través de la línea telefónica.

II.5 MODELOS PROPUESTOS DE CAPA FÍSICA PARA EL SISTEMA MODEM DE CABLE.

La red de cable debe permitir la comunicación en ambos sentidos. La frecuencia para la transmisión en retorno está ubicada por debajo de la banda de los 50 MHz. Este espectro de frecuencia es muy susceptible a problemas de ruido y atenuaciones provenientes de fuentes

de radiación electromagnética de uso común como lo son los producidos por artefactos de uso doméstico. El sistema de cable, debido a posibles puntos de fisura (o degradación del medio físico de transmisión), arreglo en cascada de varios amplificadores y problemas de aislamiento en los cables, puede traer como consecuencia que la red actúe como una gran antena, siendo capaz tanto de recibir como emitir radiación electromagnética con el medio externo circundante. Por esta razón, el tipo de modulación usada para el canal de descenso es diferente a la modulación implementada en el retorno. El objetivo específico de establecer diferentes métodos de modulación para un canal en función del sentido de transmisión, es lograr implementar técnicas que puedan tratar con el ruido de forma eficiente reduciendo al mínimo tanto su ingreso como los efectos sobre el sistema.

Con la finalidad de proveer un enlace de comunicación en retorno, tres cambios relevantes en la red de cable se deberán realizar:

- Los amplificadores conectados en la red coaxial deberán ser capaces de actualizarse para permitir una capacidad de comunicación bidireccional.
- La comunicación deberá tener un espectro asignado en cada sentido de transmisión.
- La comunicación en retorno se realizará desde varios modems a una sola cabecera, lo que amerita la utilización de un mecanismo de control de tráfico, que trate con los puntos relativos al acceso al medio físico y control de colisiones.

La banda de 400 MHz (ubicada desde las frecuencias de 50 MHz hasta los 450 MHz), es usada para transportar señales de TV en sentido descendente, incluyendo NTSC analógico y audio FM. La banda de 40 MHz (frecuencias de 5 MHz hasta 45 MHz), es seccionada en múltiples canales de RF para el retorno digital. Cada canal tiene un ancho de banda entre 1 MHz hasta 6 MHz. Los canales de RF para el retorno digital se encargan de llevar tanto los datos del usuario como la información de control hacia la cabecera.

Un gran número de canales de descenso están localizados en una banda de 300 MHz (entre

las frecuencias de 450 MHz hasta 750 MHz). Estos canales RF son usados para el envío de información de control y datos broadcast desde la cabecera hacia todas las estaciones.

El proceso de comunicación entre la cabecera y el modem de cable funciona de la siguiente forma: un modem está conectado a todos los canales de descenso de 6 MHz para recibir información. El modem debe tener la capacidad de conectarse y sintonizarse a cualquiera de estos canales con la finalidad de lograr recibir la información proveniente de la cabecera. Igualmente para el envío de información desde las estaciones a la cabecera, el modem debe tener la capacidad de conectarse a cualquiera de los canales de retorno que estén disponibles.

Existen varias propuestas para el modelo de capa física, los mismos son el punto de partida para la elaboración de varios estándares actuales (ej.: IEEE 802.14, DOCSIS, EURO-DOCSIS, DAVIC, etc.). Dentro de los modelos más relevantes propuestos se mencionan los siguientes:

- Modelo de transporte multitasa (Scientific Atlanta) .
- Modelo SDMT (Amati Communications).
- Modelo INTRA (Cortec).
- Modelo QPSK estándar para canal de retorno (Stanford Telecom).
- Modelo de espectro disperso para canal de retorno (Zenith).
- Modelo QAM/QPSK (General Instrument Corporation).
- Modelo para integración de ATM y STM en redes HFC (Lucent Technologies).

Las bases técnicas en el que se basan estas diferentes propuestas para la implementación de la capa física se encuentra en los anexos.

II.6 MODELOS PROPUESTOS DE CAPA MAC PARA EL SISTEMA DE MODEM DE

CABLE

En una red de cable, la capa MAC está expuesta a continuos cambios y optimizaciones, por estar implementado en un medio compartido en el cual la calidad del servicio que se ofrece al cliente conforma un parámetro relevante en el diseño de dicho sistema. El diseño de la capa MAC debe cumplir con una conjunto de premisas que aseguren un diseño robusto, compatible con los requerimientos para el servicio de banda ancha y con criterios de calidad de servicio. Entre algunos de los objetivos de interes involucrados en el diseño de la capa MAC se encuentran:

- La capa MAC debe soportar tanto los servicios orientados como los no orientados a la conexión.
- Interoperabilidad con ATM.
- Proveer y regular el acceso al medio físico bajo cualquier nivel de servicio.
- Proveer mecanismos de control de tráfico y congestión.
- Debe estar orientado a los conceptos de calidad de servicio.

Para convertir un sistema de cable unidireccional en un sistema bidireccional, se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Los amplificadores coaxiales deben ser actualizados para operar tanto en dirección descendente como en retorno.
- Implementación de políticas de control de acceso y resolución de colisiones.

Para la implementación de la capa MAC existen esquemas propuestos por varios fabricantes, e igualmente como se mencionó en la sección anterior, conforman el punto de partida de los estándares actuales. Dentro de las propuestas realizadas para la implementación del modelo de capa MAC se encuentran los siguientes esquemas:

-
- Protocolo simple de múltiple acceso (Cabletron System Inc).
 - Protocolo de polling basado en proceso pipeline (NEC).
 - Protocolo de acceso aleatorio adaptativo (Zenith).
 - Protocolo para HFC (General Instrument Corporation).
 - Protocolo de acceso aleatorio de cola distribuida extendida (Scientific Atlanta).
 - Protocolo MAC general (Philips Research Laboratories).
 - Protocolo de acceso digital adaptativo (Lucent Technologies).
 - Protocolo MAC general (LANcity).
 - Protocolo MAC general (IBM Corp).

II.7 ESQUEMAS PRINCIPALES PARA RESOLUCIÓN DE COLISIONES EN EL SISTEMA DE CABLE

En el sistema de cable es necesario la implementación de un algoritmo de resolución de colisiones debido a la naturaleza compartida del medio físico. Una variedad de algoritmos pueden ser usados para resolver dichos conflictos, no obstante, las características de la red HFC impone ciertas restricciones en el diseño. Entre una de ellas, es que las estaciones no pueden realizar un monitoreo directo de las colisiones ocurridas en el medio físico (tal como se realiza en Ethernet con CSMA-CD), debido al gran retardo de tiempo involucrado en dicha medición. La información a cerca de la llegada satisfactoria de la solicitud realizada por el modem de cable debe ser provista por la cabecera.

II.7.1 Resolución Basada en Ramificación

El principio basado en ramificación (Tree-based) funciona de la siguiente forma: cuando ocurre una colisión, todas las estaciones involucradas en la colisión se dividirán en n subgrupos y cada una de ellas seleccionará aleatoriamente uno de estos subgrupos. La idea básica es diferenciar las estaciones en subgrupos y dar la primera opción para retransmitir al primer subgrupo, mientras que los otros restantes (2 hasta n) esperarán por su turno

correspondiente. Se puede observar la espera de los subgrupos para el envío como una cola. La posición en la cola representa el número de ranuras que la estación deberá esperar para intentar retransmitir nuevamente. Si ocurre una segunda colisión, el primer subgrupo se dividirá de nuevo. Los subgrupos que están esperando en la cola deben desplazarse hacia arriba en $n-1$ posiciones. Si no ocurren colisiones, las estaciones ocupando el nivel más bajo de la cola podrán transmitir.

En su definición original, el algoritmo asume que la estación recibe una confirmación inmediata de la solicitud realizada. No obstante, en los sistemas HFC, la estación debe esperar hasta el comienzo de la nueva trama para recibir la confirmación por parte de la cabecera y así tener la concesión necesaria para transmitir los datos. El algoritmo es modificado con el fin de ajustarse al retardo en la respuesta proveniente del CMTS. Por ejemplo, asúmase una trama $j-1$ conteniendo $c(j-1)$ ranuras colisionadas. La estación involucrada en la ranura i th colisionada seleccionará un subgrupo entre las ranuras $(i \times n + 1)$ y $(i + 1) \times n$. Si la trama j contiene p ranuras para la contienda, el primer subgrupo de p podrá retransmitir, el resto de los subgrupos esperarán en la cola. Si una nueva colisión $c(j)$ ocurre en la trama j , los subgrupos en la cola deberán ser desplazados de su posición en $n \times c(j) - p$ (creando espacio en la cola para los nuevos subgrupos). El valor de la variable n es colocado en 3 basado en intensivos estudios en la literatura que muestran óptimos resultados con ese valor. Las nuevas estaciones que necesiten transmitir pueden ser manejados en dos formas diferentes: si el algoritmo no está en el modo de bloqueo, las nuevas estaciones podrán transmitir inmediatamente en cualquier ranura reservada para la contienda. Por el contrario, si el algoritmo está en el modo de bloqueo, no se les permitirá a las nuevas estaciones hacer uso de ninguna ranura y serán colocados al final de la cola.

II.7.2 Persistencia-P Adaptativa

El algoritmo es una adaptación del protocolo ALOHA para tramas con múltiples ranuras para la contienda. Tanto las estaciones activas recientes como aquellas que se encuentran resolviendo colisiones tienen igual probabilidad p de acceso a las ranuras de contienda

dentro de una trama. El valor p es determinado en función del número estimado de estaciones acumuladas (backlogged), calculadas por la cabecera y enviadas a las estaciones en las tramas de descenso. El número estimado de estaciones acumuladas $N(j+1)$ en la trama $(j+1)$ está determinado por:

Ec.2.1

$$N(j+1) = \max\left\{\min\left[\frac{n, N(j-1) - n_j(j-1) - n_s(j-1) + n_c(j-1)}{(e-2) + MS(j-1)/e}\right], MS(j+1)\right\}$$

Donde n es el número de estaciones, $MS(J)$ es el número de miniranuras en la trama j , y $n_i(j)$, $n_s(j)$ y $n_c(j)$ son los números de miniranuras disponibles, usadas y colisionadas en la trama j , respectivamente.

Aquí, el estimado para la trama $(j+1)$ es determinado por los parámetros de la trama $(j-1)$. Esto es debido a que la respuesta de la trama $(j-1)$ no es recibida en todas las estaciones antes del comienzo de la trama j , lo cual ocurre si la trama completa está llena de miniranuras. No obstante, el número de miniranuras en una trama puede ser restringido de manera tal que la respuesta a una trama sea recibida en todas las estaciones antes del comienzo de la siguiente trama. Si este es el caso, el estimado para la trama j es determinado por los parámetros de la trama $(j-1)$. Cuando una estación necesite realizar una solicitud en la trama j , generará un número aleatorio ij uniformemente distribuido en el intervalo $(1, N(j))$. Si ij es menor o igual al número de miniranuras en la trama, realizará una solicitud en el miniranura ij , de lo contrario, tendrá que realizar un nuevo intento de solicitud en la siguiente trama usando el estimado para esa trama en particular.

CAPITULO III. ESPECIFICACION DE INTERFAZ PARA SERVICIOS DE DATOS POR CABLE (DOCSIS)

CableLabs desarrolló un conjunto de especificaciones con el fin de establecer un estándar en los servicios de acceso a alta velocidad basados en redes de cable. Este conjunto de especificaciones se les conoce como DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) y está conformada por los siguientes documentos:

- Especificación para modem de cable (CM) y sistema de terminación del modem de cable (CMTS).
- Especificación para interfaz de radio frecuencia (RFI).
- Especificación para el sistema de gestión.
- Especificación de protocolos de prueba para aceptación.

El RFI es la especificación fundamental dentro del conjunto de documentos mencionados, ya que define tanto la capa física como la capa de control de acceso al medio (MAC) del sistema basado en cable.

III.1 BASES FUNCIONALES

Plan de frecuencia

El plan de frecuencia está implementado sobre dos estándares mundiales de distribución en RF de canales televisivos: estándar americano (NCTA) con ancho de banda de 6 MHz (retorno de 5 MHz hasta 42 MHz) y el estándar europeo con ancho de banda de 8 MHz (retorno de 6 MHz hasta 65 MHz). El canal de descenso está comprendido en un espectro pasabanda con extremo inferior de 50 MHz a 54 MHz y extremo superior en el rango de 300 MHz a 864 MHz.

Red de acceso

La red de acceso está comprendida por las siguientes características:

-
- El medio físico se asume del tipo híbrido fibra/coaxial (HFC).
 - Comunicación bidireccional.
 - Distancia máxima entre CM y CMTS de 100 millas.
 - Retardo de propagación: aproximadamente 1.6 milisegundos (velocidad en fibra de 1.5 ns/ft) en 100 millas.

Niveles de potencia

Se definen los niveles de potencia tanto de canal descendente como de retorno de la siguiente manera:

- Canal descendente: en el rango comprendido entre -10 dBc a -6 dBc.
- Canal de retorno: el mínimo requerido para lograr los niveles adecuados de interferencia y ruido.

III.2 ARQUITECTURA REFERENCIAL

La arquitectura del modelo DOCSIS se soporta sobre las siguientes interfaces:

- Interfaz RF de descenso del sistema de terminación del CM.
- Interfaz RF de retorno del sistema de terminación del CM.
- Interfaces del lado del sistema de terminación del CM.
- Sistema básico de privacidad.
- Interfaz de soporte OSS-DOCSIS.
- Interfaz CM al CPE.
- Interfaz de retorno telefónico del CM.

Las interfaces de descenso y retorno del CMTS definen el protocolo de RF para la comunicación entre el CMTS y cada uno de los CMs. La interfaz es implementada a través de transmisores de RF para cable coaxial, caracterizados por una sola unidad de transmisión para el descenso y múltiples transmisores para el retorno.

La función del CMTS-NSI (CMTS- network side interface) es intercambiar paquetes entre el CMTS y el backend de la red de cable. Por lo general es implementado a través de una interfaz fastethernet.

El sistema básico de seguridad BPI (baseline privacy interface) provee mecanismos de seguridad en el canal de RF. La gestión del BPI es una función lógica dentro del CMTS y de cada CM. El propósito del sistema es proteger la privacidad en el proceso de comunicación del suscriptor dentro de la red de cable.

El OSS (operation support system) es la interfaz de gestión dentro del sistema. Esta es una función lógica que es operada vía interfaz NSI. Se implementa a través de agentes SNMP instalados en el CMTS y en el CM.

La interfaz de CM al CPE o CMCI (cable modem to customer premises equipment interface) está ubicada entre el CM y las premisas del suscriptor. Se implementa vía interfaz ethernet de 100 Mbps o puerto de bus serial universal (USB).

El retorno telefónico del CM o CMTRI (cable modem telephone return interface) es una interfaz del CM que soporta operación en un sólo sentido. El CMTRI es una interfaz para modem analógico que usa un modem dial-up para el envío de paquetes en retorno hacia la cabecera.

El medio físico es gestionado por un sistema que controla el uso de recursos en la red, labor ejecutada por el CMTS. Su función es arbitrar el uso de canales de retorno y descendente a través de las asignaciones correspondientes.

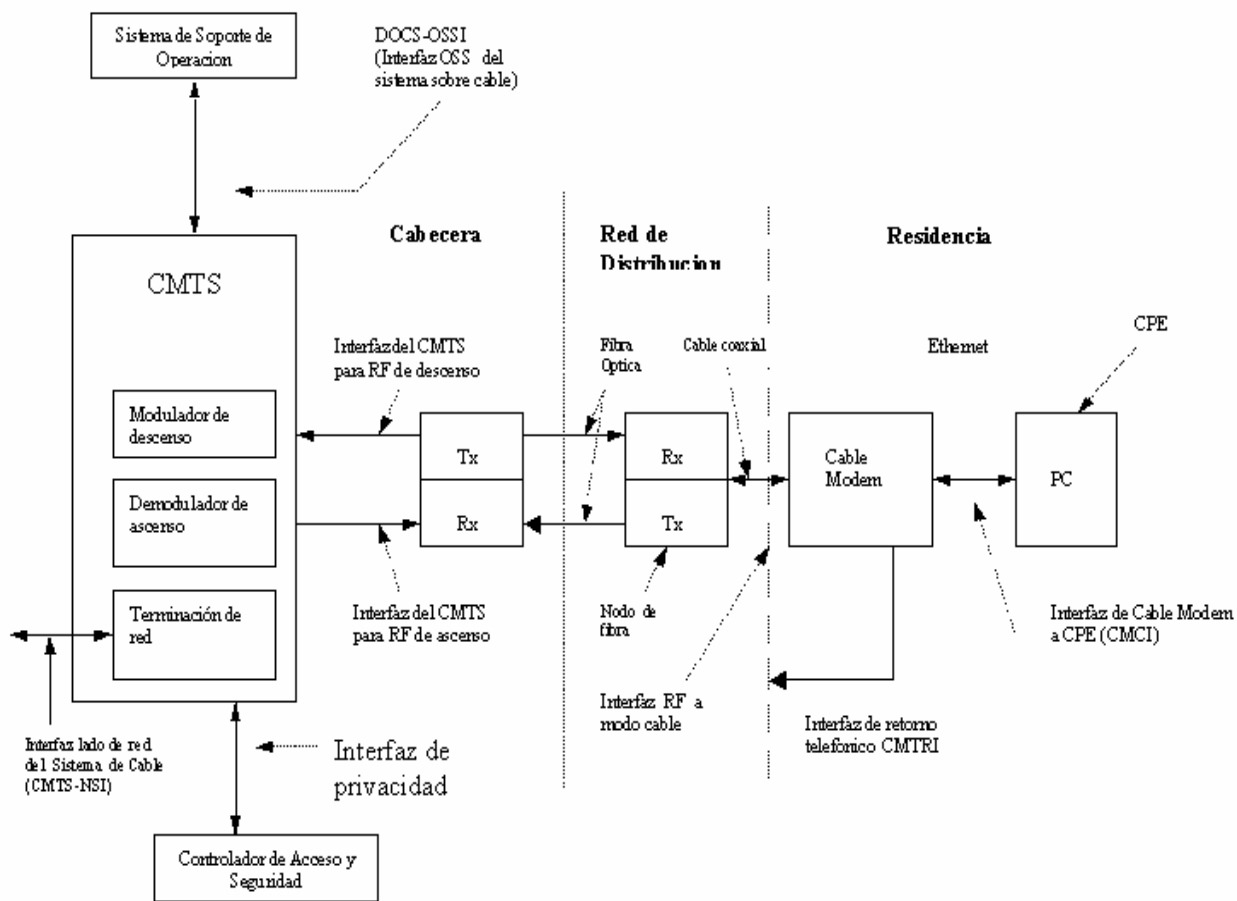


Figura 1. Arquitectura referencial

Fuente: Laubach M, Farber D, Dukes S. (2001), *Delivering Internet Connections Over Cable*. New York. Editorial Wiley (p. 117)

III.3 PILA DE PROTOCOLOS

III.3.1 Capa Física

La capa física para el descenso está compuesta de las siguientes subcapas:

- Subcapa de convergencia de transporte (TC): toma los paquetes MPEG2-TS (MPEG2-transport stream) tanto de entrada como de salida de la capa MAC.

-
- Subcapa física dependiente del medio (PMD): ejecuta directamente las funciones de transmisor y receptor sobre el medio físico de transporte.

III.3.2 Capa de Enlace

La capa de enlace está dividida en varias subcapas de acuerdo al estándar IEEE 802, adicionalmente se ha añadido una subcapa adicional para el manejo de la seguridad. Las subcapas de enlace comprenden:

- Subcapa lógica de enlace (LLC en clase 1).
- Subcapa de seguridad.
- Subcapa de control de acceso al medio (MAC).

III.3.3 Capa de Red

No existen imposiciones ni especificaciones en el RFI para el ensamblaje de paquetes IP. Cada host está identificado por una dirección MAC IEEE de 48 bits. La interfaz ethernet debe operar tanto con DIX (DEC-Intel-Xerox) como con IEEE 802.3 LLC. Los protocolos ICMP y ARP son soportados en la capa de red. Cada CM y CMTS permiten el transporte de paquetes UDP, que a su vez soporta a los protocolos SNMP, TFTP y DHCP.

III.4 REGLAS DE REENVIO DEL CMTS ENTRE LAS INTERFACES CMTS-RFI Y EL CMTS-NSI

El CMTS puede elegir funcionar como un enrutador o como un bridge de tres puertos. Las tres interfaces involucradas son: la NSI (network side interface), la interfaz para el canal de descenso y la interfaz para el canal de retorno. Cuando el CMTS actúa en modo bridge, se comporta como un switch ethernet (bajo el estándar 802.1d). Las reglas básicas son:

- Las tramas de la capa de enlace no pueden ser duplicadas.
- Las tramas con tiempo de vida expirado, deben ser descartadas.

- Las tramas de la capa de enlace (correspondiente a un flujo de servicio), deben conservar su orden de llegada y salida.

Cuando actúa en modo enrutador, el CMTS cumple con los requerimientos de la IETF, documento RFC-1812. El RFC especifica lo siguiente:

- No duplicación de tramas ethernet o paquetes IP.
- Descartes de tramas ethernet o paquetes IP que está en cola por una gran cantidad de tiempo.
- Tramas ethernet o paquetes IP (correspondiente a un flujo de servicio específico), no será liberado fuera de orden por el CM.

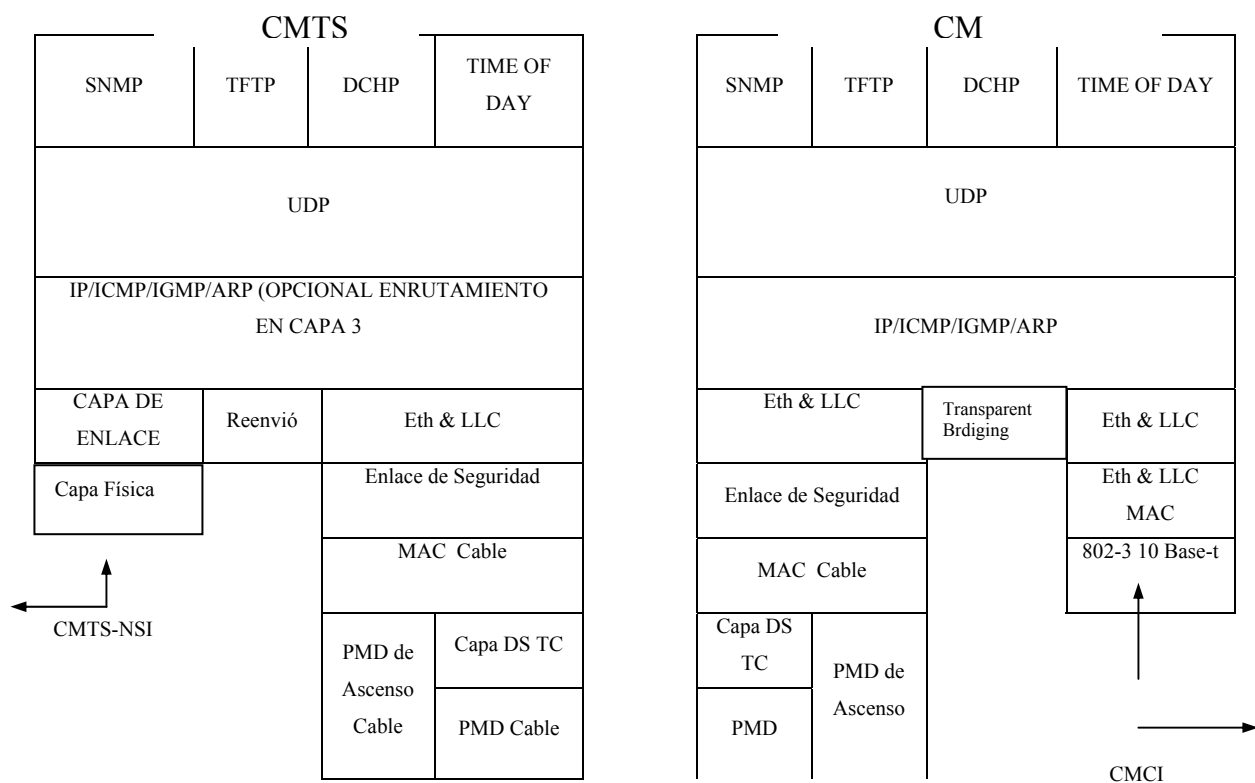


Figura 2. Pila de protocolos

Fuente: Laubach M, Farber D, Dukes S. (2001), *Delivering Internet Connections Over Cable*. New York. Editorial Wiley (p. 120)

Conceptualmente el CMTS realiza el reenvío de paquetes en dos interfaces abstractas: entre el CMTS-RFI y el CMTS-NSI, y entre los canales de descenso y retorno. El método de bridging y enrutamiento pueden ser combinados en ambas interfaces.

III.5 REGLAS DE REENVIO DEL CM

El CM es un bridge ethernet que cumple con el estándar 802.1d. La función de bridge soporta tanto IP sobre ethernet así como otros protocolos.

El CM implementa un algoritmo de aprendizaje en la tabla MAC, con la finalidad de descubrir y recordar las direcciones MAC IEEE de 48 bits de los host que están conectados al puerto CMCI. Las reglas específicas del reenvío de paquetes del CM se implementan de la siguiente forma:

- El CM aprende las direcciones MAC de 48 bits, a través de la observación de la información de dirección de la trama ethernet o a través de especificaciones directas del administrador.
- El CM tiene un máximo número de direcciones físicas que puede mantener o aprender, este es un valor que depende del fabricante del dispositivo. Cuando la tabla de direcciones MAC está completa, se empieza a descartar las direcciones MAC con más tiempo de estadía, por aquellas más recientes.
- El CM no puede hacer uso de memoria no volátil para retener direcciones después de un proceso de inicialización o reinicio del CM.

El proceso de reenvío se especifica bajo las siguientes reglas:

- Las tramas de la capa de enlace no pueden estar duplicadas.
- Las tramas que excedan el tiempo de vida son descartadas.
- Las tramas deben ser enviadas en el mismo orden en que se recibieron.

III.6 PROCESO DE REENVÍO DEL CMTS DENTRO DE UN DOMINIO MAC

El esquema de reenvío entre el CMTS y el CM difiere de la tradicional LAN, en el hecho que un canal no puede ser considerado como una interfaz completa.

Antes de realizar el reenvío de un paquete unicast en el canal de descenso, el CMTS debe asociar el paquete con el CM de destino. Con la finalidad de lograr ejecutar esta tarea, existe una subcapa MAC abstracta denominada “MAC Forwarder”, el cual realiza interfaz entre la subcapa LLC y la subcapa de seguridad. Las funciones de esta subcapa son:

- Entrega de las tramas de retorno a los canales descendentes.
- Interfaz MSAP (MAC services access point).

Las reglas utilizadas para el reenvío de paquetes es función de la dirección destino, tal como se especifica a continuación:

- Si la dirección destino es del tipo unicast y está asociada a una canal descendente específico, el mismo entonces será reenviado a ese canal en particular.
- La misma regla anterior es válida si el destino está ubicado en el lado superior del MSAP.
- En el caso que el destino sea del tipo broadcast, entonces el paquete es reenviado tanto a todos los canales descendentes como hacia las capas superiores al MSAP.

III.7 ESTUDIO DE LA CAPA FISICA

III.7.1 Subcapa Física Dependiente del Medio (PMD)

III.7.1.1 Especificación del canal de retorno

Esquema de acceso y modulación

La subcapa física PMD proporciona dos tipos de formatos para las ráfagas:

-
1. FDMA/TDMA: denominado en el RFI como TDMA.
 2. FDMA/TDMA/S-CDMA: denominado en el RFI como S-CDMA.

Existen 6 tasas de modulación y múltiples formatos de modulación. El formato de modulación incluye: forma de la figura espectral, frecuencia de operación y niveles de salida de potencia. Cada formato de ráfaga soporta un orden de modulación, preámbulo, aleatorización de la carga útil y codificación FEC programada.

La capa PMD puede soportar solapamiento parcial (TDMA) o total de las rampas de las ráfagas (S-CDMA).

Los esquemas de modulación soportados en el RFI v2 tanto para TDMA como S-CDMA son: 8 QAM, 16 QAM, 32 QAM, 64 QAM, 128 QAM y QPSK. Adicionalmente soporta 128 QAM TCM para S-CDMA.

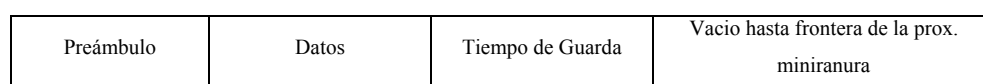
Especificación de la ráfaga de retorno

Un CMTS puede soportar múltiples canales de retorno. Para la transmisión sobre un canal se hace uso de la ráfaga de paquetes, el cual está controlado por el CMTS. DOCSIS soporta un sistema flexible que le permite al CMTS definir diferentes perfiles de ráfaga para su uso en los CMs en el canal de retorno. Un CM hace uso de la información del perfil para construir la ráfaga de transmisión. Un perfil de ráfaga dado es realizado a través de atributos generales como específicos, estos últimos llamados UBP (unique bursts profile). Entre los atributos generales están los relacionados a los parámetros del canal y los correspondientes a los atributos de perfil de ráfaga. Entre los atributos que componen a los parámetros del canal están los siguientes: tasa de modulación, frecuencia central, bits de preámbulo, parámetros del canal S-CDMA y rangos de escalamiento. Entre los atributos que componen el perfil de ráfaga se encuentran: modulación, codificación digital, características del preámbulo, corrección FEC, entrelazado (interleaving), aleatorización, entre otros.

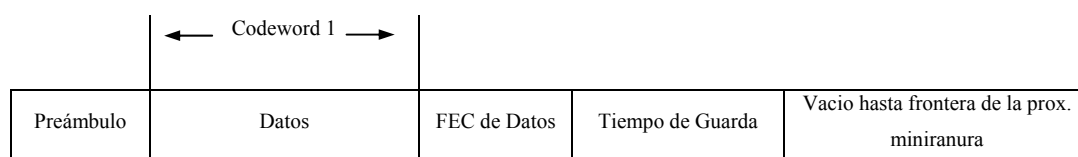
Por último los perfiles UBP o también conocidos como perfiles únicos de usuario, son sólo aplicados a un usuario en particular y contiene los relacionado a: niveles de potencia, offset de frecuencia, escalamiento, longitud de ráfaga y coeficientes de ecualización.

Construcción de ráfaga en retorno:

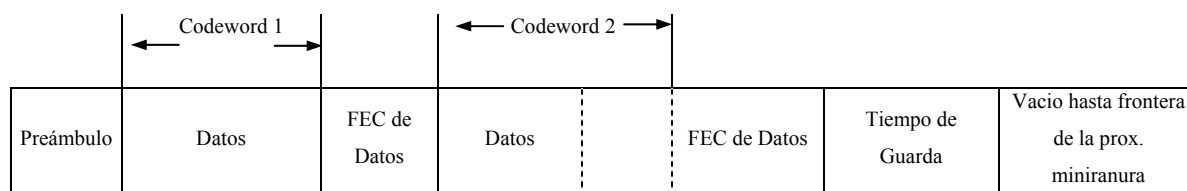
Los esquemas básicos de construcción de tramas en retorno están tipificadas por las siguientes estructuras:



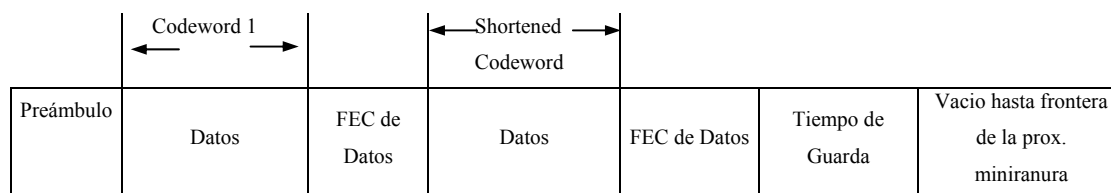
Esquema no.1



Esquema no.2



Esquema no.3



Esquema no.4

Figura 3. Estructura de las ráfagas de retorno

Fuente: Laubach M, Farber D, Dukes S. (2001), Delivering Internet Connections Over Cable. New York.Editorial Wiley (p. 129)

Esquema No.1

Paquete que consiste de un preámbulo, datos y tiempo de guarda (el FEC es deshabilitado). En adición, cualquier tiempo remanente desde el final del tiempo de guarda hasta el comienzo de la próxima miniranura es dejado sin uso.

Esquema No.2

La longitud de la palabra codificada o *codeword* concuerda exactamente con la longitud de los datos (el FEC es habilitado)

Esquema No.3.

La longitud de los datos es más larga que la longitud del *codeword*, resultando en el uso de dos *codeword*. La última palabra codificada contiene el atributo fijo o *fixed*, en el cual el CM transmite el codeword completo aun si no contiene paquetes MAC.

Esquema No.4

Ultimo *codeword* con el atributo truncado o *shortened*. En este caso el CM permite truncar la longitud del *codeword* justamente hasta contener un paquete MAC.

Corrección de errores:

El FEC hace uso del algoritmo Reed Solomon, el cual se aplica sobre el *codeword*. En DOCSIS el *codeword* puede variar desde un mínimo de 16 bytes hasta un máximo de 256 bytes. La palabra mínima sin codificar es de 1 byte. El tamaño del *codeword* es fijado durante la definición del perfil de la ráfaga.

La codificación R-S es del tipo GF (256) con T= 1 a 16. La codificación R-S es opcional.

El polinomio generador es:

$$g(x) = (x + \alpha^0)(x + \alpha^1)\dots(x + \alpha^{2T-1})$$

El polinomio primitivo es:

$$p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$$

Requerimientos para el procesamiento de la señal

El procesamiento de la señal para cada ráfaga de paquetes es realizado a través de la siguiente secuencia:

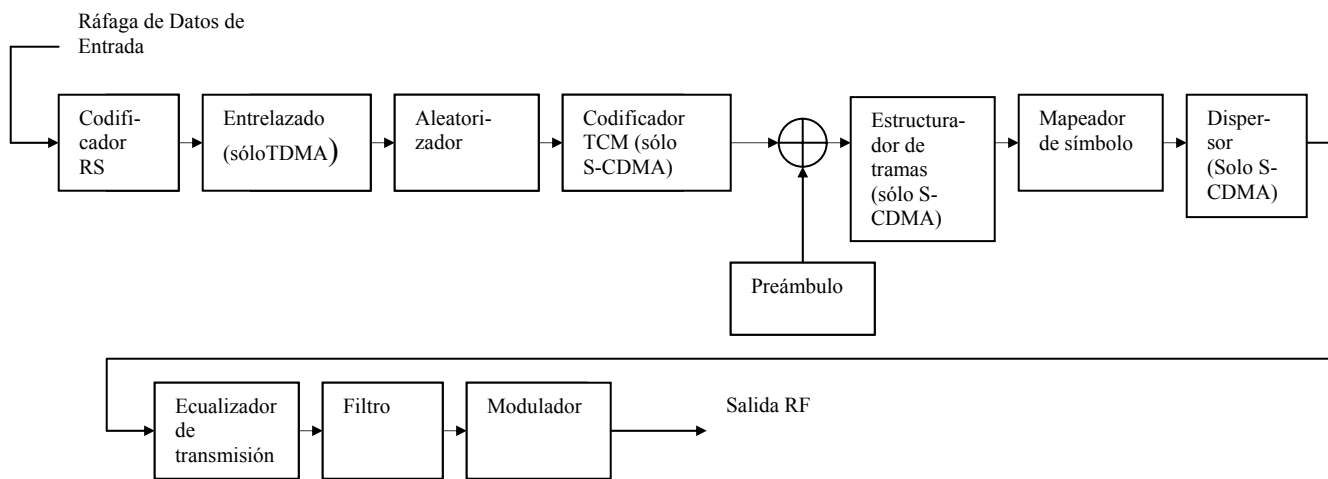


Figura 4. Flujo de procesamiento de canal de retorno

Fuente: SP-RFv2.0-I03-021218 (2002).CableLabs .(p.41)

Modo TDMA

Para la transmisión en el modo TDMA se cumplen los siguientes pasos del flujo anterior:

1. Entrada del paquete.
2. Bloque de datos: los paquetes son incluidos en un bloque de información (bytes de datos dentro de un *codeword*).
3. Codificación R-S: la codificación Reed Solomon es aplicada en cada paquete de información, usando un *codeword* en modo *shortened* para el último bloque si es necesario. El FEC R-S puede ser suspendido.

-
4. Bloque de entrelazado (interleaving): el proceso de entrelazado sobre los byte R-S puede ser suspendido.
 5. Aleatorización.
 6. Inserción de preámbulo.
 7. Mapa de símbolos: convierte la cadena de datos en símbolos de modulación.
 8. Ecuador de transmisión: pre-ecualización de la cadena de símbolos.
 9. Filtro: filtra la cadena de símbolos para la configuración de la forma espectral.
 10. Modulación: QPSK; 8 QAM; 16 QAM; 32 QAM; 64 QAM.
 11. Salida de la ráfaga RF.

Como se menciona en el paso número 4 de la secuencia de procesamiento para transmisión, a los canales TDMA se les aplica un proceso denominado entrelazado, el cual consiste en cambiar el orden de los bytes posterior al proceso de codificación de Reed Solomon, con la finalidad de repartir entre varios *codewords* R-S cualquier error introducido por una ráfaga de ruido.

La operación se establece a través de un proceso de permutación que se logra con una tabla en el cual el bloque R-S es llenado secuencialmente en filas y la salida de dicha tabla (proceso de lectura) se realiza secuencialmente por columnas.

Otro aspecto relevante es la presencia del aleatorizador (scrambler), el cual es ejecutado por el modulador de retorno. El proceso se basa en una semilla de 15 bits. La misma es generada por cada ráfaga y se combina a través de una operación lógica del tipo XOR con los bits de datos para generar una salida de característica aleatoria.

Modo S-CDMA

Para la transmisión en modo S-CDMA se cumplen los siguientes pasos:

1. Entrada del paquete.
2. Bloque de datos: los paquetes separados son incluidos en un bloque de información

(bytes de datos dentro de un *codeword*).

3. Codificación R-S: la codificación Reed Solomon es aplicada en cada paquete de información, usando un *codeword* en modo truncado o *shortened* para el último bloque si es necesario. El FEC R-S puede ser suspendido.
4. Aleatorización.
5. Codificación modulada Trellis: puede ser suspendida.
6. Inserción de preámbulo.
7. Estructurador de tramas S-CDMA: forma la trama y ejecuta el proceso de entrelazado sobre los datos para generar las miniranuras correspondientes.
8. Mapa de símbolos: convierte la cadena de datos en símbolos de modulación.
9. Dispensador de símbolo S-CDMA: dispersión de símbolos. Puede ser suspendido
10. Ecuador de transmisión: pre-ecualización de la cadena de símbolos.
11. Filtro: filtra la cadena de símbolos para la configuración de la forma espectral.
12. Modulación: QPSK, 8 QAM; 16 QAM; 32 QAM; 64 QAM; 128 QAM solo con TCM.
13. Salida de la ráfaga RF.

En el modo S-CDMA, los datos recibidos desde la capa MAC son transmitidos por la capa física en ráfagas de n-miniranuras, los cuales son transformados para generar una combinación de códigos dispersos y ranuras de tiempo, logrando una distribución multidimensional de información. De esta manera se conforma tramas rectangulares bidimensionales previo a la transmisión. Los datos son enviados por la capa física en arreglos que pueden llegar hasta 128 códigos dispersos.

Enumeración de miniranuras en S-CDMA

Para el proceso de enumeración de las miniranuras se requiere que tanto los CM como los CMTS tengan un mismo protocolo que especifique la estructura de enumeración de las mismas y la ubicación dentro de la estructura de la trama. Esta información es obtenida a través de los mensajes SYNC y UCD (descriptor del canal de retorno). Existen tres

parámetros especificados en el UCD que define la estructura de las miniranuras: número de intervalos dispersos por trama, número de códigos por miniranuras y el número de códigos activos.

El límite inferior de la capacidad de la miniranura es de 16 bytes. El límite superior viene dado por las condiciones de eficiencia del canal, no obstante, el rango válido de códigos por miniranura está entre 2 a 32.

Con relación al número de códigos activos usados para transportar datos, este es igual o menor a 128. La razón por la cual se desee disminuir la cantidad de códigos disponibles está orientado a mejorar las capacidades de SNR (relación señal a ruido) en sistemas de cable que presenten un alto nivel de ruido. Otro factor de restricción es que el número de miniranuras por trama S-CDMA debe ser un entero. De ahí que el número de códigos activos debiere seleccionarse para lograr este factor. El rango de códigos activos puede variar entre 64 a 128 códigos.

Estructurador de tramas S-CDMA

El estructurador de tramas S-CDMA, realiza una traslación de las miniranuras para trabajar con los códigos e intervalos dispersos, a través del arreglo de las miniranuras como símbolos dentro de una trama S-CDMA. También se ejecuta el proceso de entrelazado con la finalidad de proteger a la trama contra el ruido impulsivo. El estructurador de tramas utiliza la información de los intervalos dispersos por trama, códigos por miniranuras y número de códigos activos, para realizar el arreglo de las miniranuras dentro de las tramas. El proceso de la alineación del inicio y fin de trama es limitado a las restricciones impuestas por las miniranuras, mientras que el proceso de entrelazado no está restringido por este último. El proceso de la estructuración de la trama se inicia a través de la asignación de códigos e intervalos dispersos a los bits o símbolos a ser transmitidos, proceso que es independiente del mapeo de miniranuras.

Dentro de la trama S-CDMA existen unas subdivisiones denominadas subtramas. La subtrama consiste en un subgrupo rectangular de una trama S-CDMA sobre el cual el proceso de entrelazado es ejecutado. La subtrama por lo general es un número entero de *codewords* Reed-Solomon, de tal manera de reforzar la protección contra el ruido impulsivo.

Una subtrama es definida como un grupo de R filas continuas (donde R es un entero entre 1 a N) y está contenida enteramente dentro de una trama. Cada subtrama contiene R*K posiciones y en cada una de ellas existe un símbolo usado para el mapeo y dispersión.

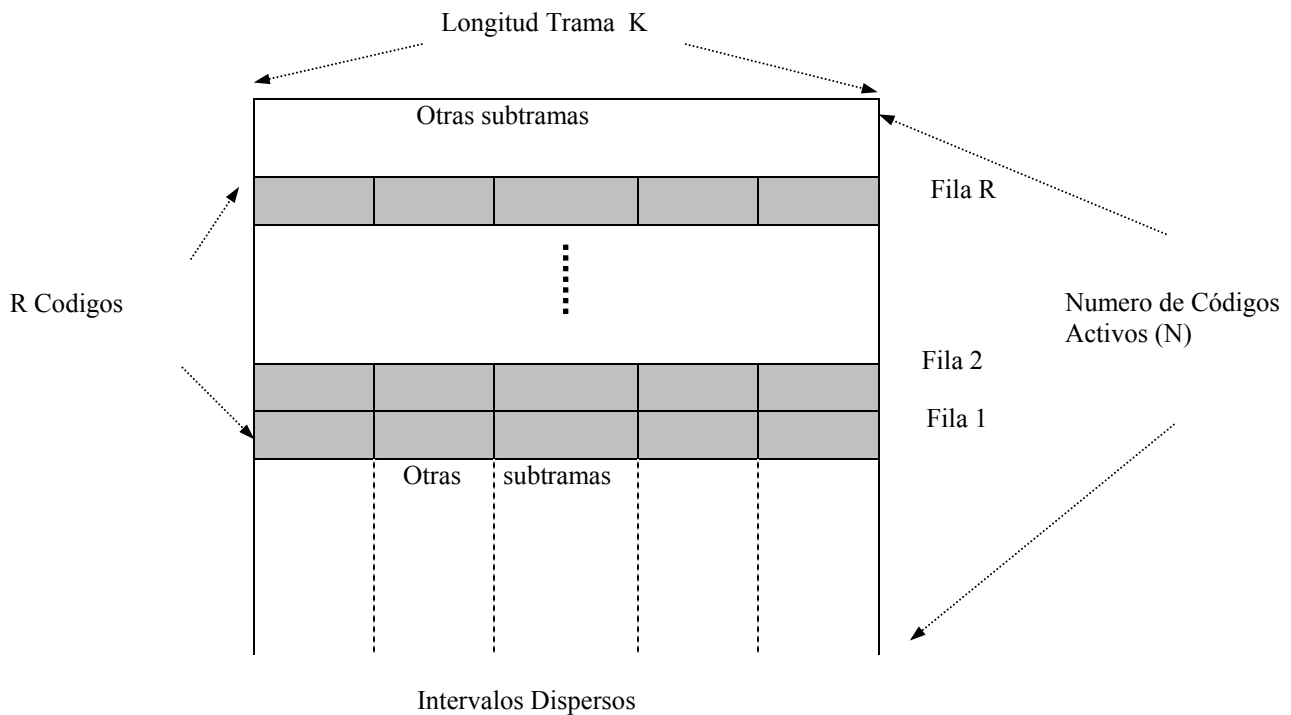


Figura 5: Estructura de subtrama S-CDMA
 Fuente: SP-RFIV2.0-I03-021218 (2002).CableLabs.(p.161)

El tamaño de la subtrama, la enumeración y la forma de cómo los símbolos son llenados dentro de estas (tanto los símbolos TCM como los de preámbulo), están sujetos a dos parámetros que se definen dentro de los atributos de la ráfaga que son: códigos por subtrama y paso de entrelazado.

En el proceso de construcción de subtramas S-CDMA se aplican básicamente dos reglas:

Regla 1. -Construcción de la subtrama con los símbolos de preámbulo y los símbolos codificados TCM: la regla se resume en indicar que los datos son llenados en filas, de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba, respetando el tamaño del paso de entrelazado. Estos símbolos se reflejan en la figura siguiente con el nombre C y P, para los símbolos codificados TCM y los de preámbulo correspondientemente.

Regla 2. -Construcción de la subtrama con los símbolos sin codificar y los símbolos TCM sin codificar: la regla establece básicamente que los datos se llenarán por columnas en el sentido de abajo hacia a arriba y al terminar la columna se desplazará de izquierda a derecha en forma secuencial hasta llenarlas todas. Estas palabras sin codificar se muestran en la figura a través del símbolo U.

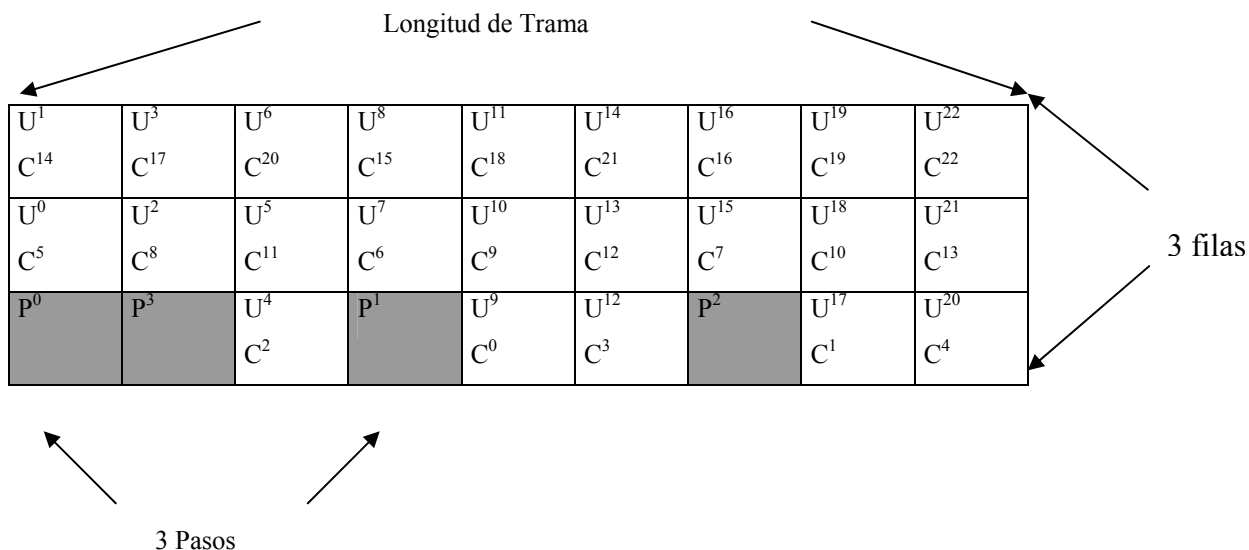


Figura 6. Enumeración de símbolos sin TCM (S-CDMA)
Fuente: SP-RF1v2.0-103-021218 (2002).CableLabs.(p.63)

Dispersor de símbolos CDMA

S-CDMA utiliza una familia ortogonal de códigos digitales, denominados “códigos dispersos” (spreading codes), los cuales comprende de 128 códigos, que permiten el envío simultaneo de hasta 128 símbolos de modulación. La transmisión se realiza con el envío de un vector P_k , definido como:

$$\bar{P}_k = \bar{S}_k * C$$

donde S_k es el vector compuesto por los símbolos de modulación contenidos en los cuadrantes de las constelaciones del esquema de modulación usado y se define como:

$$\bar{S}_k = [s_{k,127}, s_{k,126}, \dots, s_{k,0}]$$

y C

$$C = \begin{bmatrix} c_{127,127} & c_{127,126} & \emptyset & c_{127,0} \\ c_{126,127} & c_{126,126} & \emptyset & c_{126,0} \\ \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset \\ c_{0,127} & c_{0,126} & \emptyset & c_{0,0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & x_{127} & \emptyset & x_2 & -1 \\ x_2 & x_1 & \emptyset & x_3 & -1 \\ \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & -1 \\ x_{127} & x_{126} & \emptyset & x_1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

donde C comprende de los 128 códigos dispersos y un código se define por:

$$Codigo(j) = [c_{j,127}, c_{j,126}, \dots, c_{j,0}]$$

El resultado del producto del vector $S*C$ es denominado “operación de dispersión” y genera el vector P_k de 128 códigos siguiente:

$$\bar{P}_k = [p_{k,127}, p_{k,126}, \dots, p_{k,0}]$$

el cual es enviado en un “intervalo disperso”.

La matriz C está realizada para lograr la mejor distribución equitativa del espectro de

energía entre todos los códigos.

Conformador de espectro de onda

El conformador de espectro de onda funciona como un filtro del tipo Nyquist SRRC (square root raised cosine) con factor $\alpha = 0.25$.

III.7.1.2 Especificación del canal de descenso

DOCSIS especifica dos configuraciones diferentes para el canal de descenso. Cada configuración está basada en el estándar ITU J.83 anexo B (ITU J.83-B) correspondiente a canales digitales para broadcast, en conjunto con el cumplimiento del HRC (harmonic related carrier) y el IRC (incremental related carrier o STD). Los tipos de modulación usados son : 64 QAM y 256 QAM. La especificación ITU J.83 indica el uso del FEC para cada tipo de modulación. Debido a que el uso del FEC añade overhead a la operación, el remanente de la tasa de datos disponible es denominado “tasa de información” y corresponde a la capacidad disponible para el transporte de datos que usa DOCSIS en el canal de descenso.

El canal de descenso opera entre los rangos de frecuencia de 91 MHz hasta 857 MHz \pm 30 kHz. Un CM soporta para el canal de descenso la modulación de 64 QAM y 256 QAM.

III.7.2 Capa de Convergencia de Transmisión

III.7.2.1 Capa de convergencia de transmisión en descenso

DOCSIS requiere que los paquetes MACs sean transferidos en el canal de descenso, a través de la encapsulación de la trama con MPEG-TS (especificaciones ITU-T H.222.0).

Una trama MPEG-TS tiene una longitud de 188 bytes, con los 4 primeros bytes como encabezado, reservando 184 bytes para la carga útil. Dentro del encabezado existe un

campo de 13 bits denominado PID, el cual identifica el tipo de información dentro de la carga útil. DOCSIS tiene reservado el valor hexadecimal 1FFE, para indicar el contenido de información en la carga útil. Las tramas de video digital usan un valor diferente de PID, permitiendo la intercalación de tramas de video digital con tramas DOCSIS. Cada receptor DOCSIS en un CM sólo selecciona tramas en función del valor del PID.

Para el transporte de tramas DOCSIS dentro de la carga útil del paquete MPEG se hace uso del primer byte de la carga útil del paquete MPEG como apuntador (denominado `pointer_field`), esto siempre y cuando el PUSI (payload unit start indicator) en el encabezado del MPEG sea activado. La función del apuntador es indicar el número de bytes a recorrer en la carga útil después del `pointer_field` para llegar al comienzo de la primera trama MAC DOCSIS.

El CMTS tiene la opción en el canal de descenso de llenar los espacios no utilizados entre los paquetes MACs con unos bytes de rellenos (denominados `stuff byte`), cuyo valor hexadecimal es FF.

Un paquete MPEG puede contener varios paquetes MACs e inclusive un paquete MAC puede estar distribuido entre varios paquetes MPEG.

El paquete MAC de DOCSIS es de longitud variable. La longitud mínima es 72 bytes y el tamaño máximo es de 1500 bytes, por lo que el envío de paquetes MAC requerirá varias tramas MPEG-TS.

Existen tres puntos definidos en el RFI para la capa de convergencia física:

- 1.- Salida de descenso en el CMTS.
- 2.- Entrada de retorno en el CMTS.
- 3.- Entrada y salida del CM.

III.8 ESTUDIO DE LA CAPA MAC

III.8.1 Elementos Básicos y Definiciones

Dominio subcapa MAC

Es una colección de canales de descenso y retorno para el cual una asignación MAC y un protocolo de gestión opera. Los flujos de canales ocurren desde varios CMs a un CMTS en el retorno y del CMTS a varios CMs en el descenso. Los CMs tienen asignado un sólo canal para el retorno y otro canal para el descenso.

Flujo de servicio

Para garantizar el control sobre la calidad de servicio o QoS ofrecido a los CMs, se define un ID de “flujo de servicio” o SFID y es parte integral del proceso de asignación de ancho de banda.

Miniranuras

La miniranura es el método utilizado para la asignación de intervalos para la transmisión en retorno. A través de ellas se controla la asignación de ancho de banda. Cada intervalo define el tipo de tráfico que puede ser enviado durante ese tiempo y el tipo de modulación usada en la capa física.

Modo TDMA

Para los canales DOCSIS v1.x, una miniranura es una potencia múltiplo de 6.25µseg. (ej.: 2, 4, 8, 1, 32, 64, ó 128 veces 6.25µseg.).

Modo S-CDMA

Para canales DOCSIS v2.0 S-CDMA, una miniranura no está restringida a potencias múltiplos de 6.25µseg. En lugar de esto, una miniranura es una unidad cuya capacidad es una función de la tasa de modulación, número de códigos e intervalos dispersos para el

canal de retorno.

Canales de retorno lógicos

La capa MAC trata con canales de retornos lógicos. Un retorno lógico es identificado con un ID de canal de retorno el cual es único dentro del MSAP (MAC SAP). Un retorno lógico consiste de una cadena continua de miniranuras los cuales son descritos y asignados por los mensajes UCD y Mapa asociados con un ID de canal. Un CM puede usar un sólo canal de retorno lógico.

Existen cuatro tipos de retorno lógico:

Tipo 1: DOCSIS v1.x que no soporta características DOCSIS v 2.0 TDMA.

Tipo 2: Retorno mixto que soporta TDMA de DOCSIS v1.x y v2.x.

Tipo 3A: TDMA DOCSIS v2.0.

Tipo 3S: S-CDMA.

En DOCSIS v2.0 es posible que múltiples retornos lógicos compartan y se distribuyan en el mismo espectro. Cuando esto ocurre, los canales de retorno distribuidos en la misma porción del espectro, son multiplexados en el dominio del tiempo y sólo uno está activo a la vez.

III.8.2 Formato Trama MAC

Formato genérico de encabezado MAC

El formato básico de trama MAC se compone de tres regiones básicas como se ve a continuación:

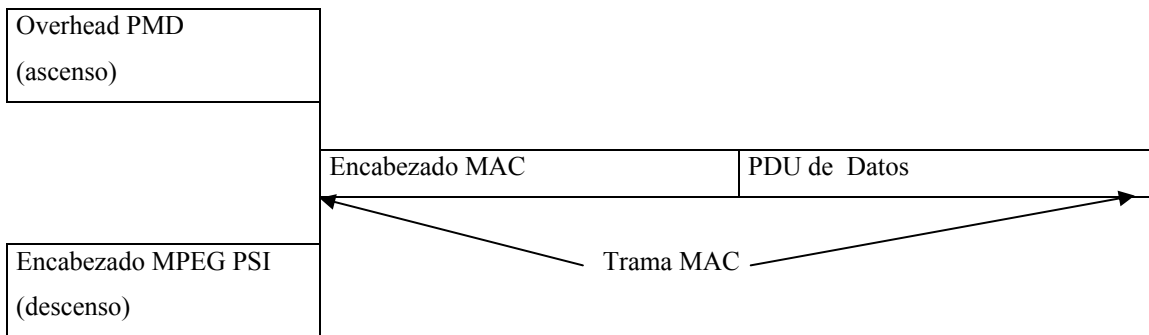


Figura 7. Formato genérico de trama MAC

Fuente: *SP-RF1v2.0-103-021218 (2002).CableLabs.(p.110)*

DOCSIS utiliza el mismo formato de paquete MAC tanto para el descenso como para el retorno. La única diferencia es en cuanto al tipo de mensaje que es manejado en cada dirección.

El encabezado MAC DOCSIS consiste de los siguientes campos:

- FC: identifica el tipo de encabezado MAC. Longitud de 8 bits. El FC es codificado en tres campos que son el FC_TYPE, FC_Parm y el EHDR_On.
 1. FC_Type: indica como el paquete entero deberá ser tratado. Puede especificar si el PDU de datos es ethernet, ATM, un MAC específico o un código reservado utilizado para futuras extensiones. Longitud 2 bits.
 2. FC_Parm: es una función del tipo de valor del FC_Type. Longitud de 5 bits.
 3. EHDR_On: indica que el EHDR está presente en el encabezado MAC. Estos son usados para funcionalidades adicionales más allá del encabezado MAC básico. Longitud de 1 bit.
- MAC-PARM: añade parámetros basados en el tipo de encabezado MAC. Longitud de 8 bits.

- LEN/SID: longitud del paquete MAC calculado posterior al HCS del encabezado, en el cual tendría que agregar la longitud del EHDR si la misma está presente. Si el paquete MAC es un paquete de solicitud, este campo contiene un valor SID. El SID es un único valor asignado al CM durante la inicialización y proceso de registro. Longitud de 16 bits.
- EHDR: encabezado MAC extendido. Contiene información suplementaria concerniente al manejo de los paquetes MAC. Longitud de 0 a 240 bytes.
- HCS: Contiene el código de redundancia cíclica. Basado en el ITU-T X.25 ($x^{16}+x^{12}+x^5+1$). Longitud de 2 bytes.

El mínimo tamaño del encabezado MAC es de 6 bytes, más el tamaño del campo EHDR, si está presente.

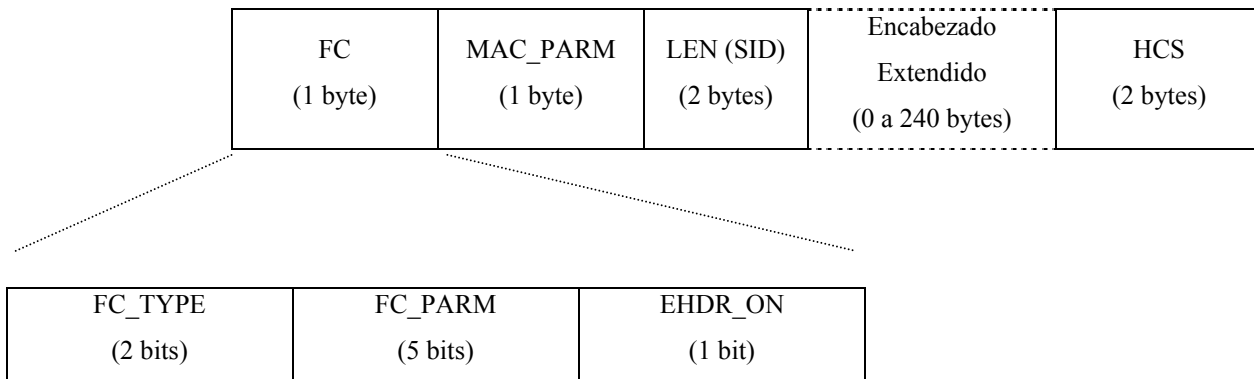


Figura 8. Detalle del campo FC del encabezado MAC

Fuente: SP-RFIV2.0-I03-021218 (2002).CableLabs.(p.112)

Formato del PDU de datos

El PDU de datos es la sección que sigue después del encabezado y su constitución está definida por esta última. Más explícitamente, el campo FC del encabezado puede especificar si el PDU de datos es ethernet, ATM, una trama específica MAC o un código reservado utilizado para futuras extensiones, tal como se indicó anteriormente.

- Trama PDU basada en paquetes

DOCSIS es un protocolo orientado a paquetes de longitud variable. La intención es transmitir paquetes ethernet ISO (8802-3) de longitud variable de forma tan eficiente como sea posible.

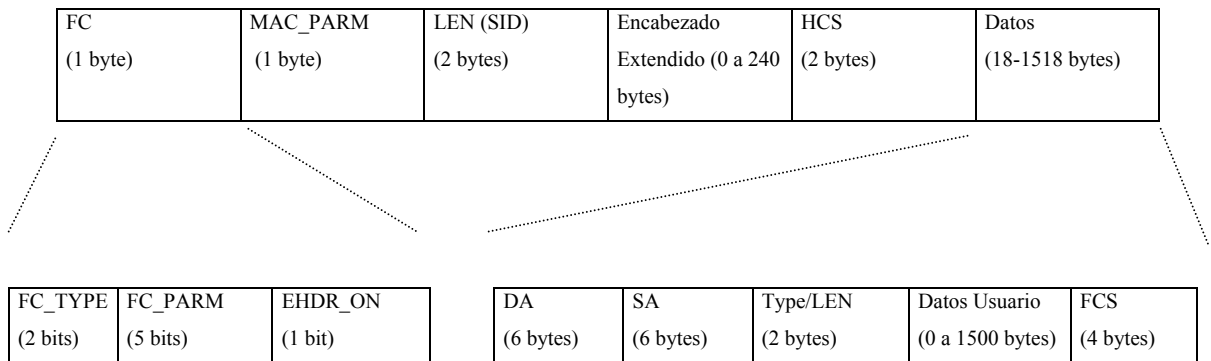


Figura 9. Trama PDU basado en paquetes

Fuente: *SP-RFiv2.0-103-021218 (2002).CableLabs.(p.114)*

- Trama PDU basada en celdas ATM

El campo FC_Type 0x01 es reservado para futuras definiciones de tramas MAC con celdas ATM. El campo FC_Type en el encabezado MAC indica que un PDU de ATM está presente.

- Tramas PDU reservada

La subcapa MAC provee un código FC reservado para soportar otros formatos futuros de PDU.

Formato encabezado MAC específico

El encabezado MAC específico es usado para varias funciones, dentro de estas se incluyen: soporte para la sincronización, ajuste de los niveles de potencia de transmisión, solicitud de

ancho de banda, etc. Las opciones completas se especifican a continuación:

- Encabezado MAC de tiempo

Utilizado para el soporte de requerimientos de ajuste de tiempo. En el descenso es usado para transportar una referencia global de tiempo, bajo el cual todos los CMs se sincronizan. En el retorno, debe ser usado como parte del mensaje de “escalamiento” necesario para la sincronía del CM y ajustes de los niveles de potencia.

- Encabezado MAC de gestión

Utilizado para el soporte de requerimientos de mensajes de gestión. Debe ser usado para transportar todos los mensajes MAC de gestión requeridos.

- Tramas de solicitud

La trama de solicitud es el mecanismo básico que un CM utiliza para solicitar ancho de banda. No existe PDU de datos en la trama de solicitud, razón por la cual el campo de longitud del encabezado no se utiliza y se reemplaza con un SID. El SID debe identificar unívocamente a un “flujo de servicio” particular dentro de un CM. El campo MAC_Parm es usado como campo REQ e indica la cantidad de asignaciones realizadas de ancho de banda, el cual está dado en términos de miniranuras. Este es el mínimo tamaño de paquete usado dentro de DOCSIS, el cual corresponde a 6 bytes.

- Encabezado de fragmentación

Provee los mecanismos básicos para dividir la PDU en paquetes de menor tamaño, los cuales son transmitidos individualmente y después reensamblados en el CMTS.

- Encabezado de concatenación

Utilizado para permitir que múltiples tramas MAC se concatenen en una sola ráfaga MAC de retorno. Es el único método a través del cual un CM puede transmitir más de una trama MAC en una única oportunidad de transmisión. El campo MAC-Parm indica el número de

tramas MAC que están concatenadas.

Encabezado MAC extendido

Todos los encabezados MAC, excepto los encabezados MAC de tiempo, concatenación y solicitud, tienen la capacidad de definir un EHDR(extended header field). La presencia de un EDHR se indica a través de la bandera EHDR_ON en el campo FC. En este caso el campo MAC_Parm es usado como longitud del EHDR (ELEN). El mínimo valor de EDHR va desde 1 byte a 240 bytes.

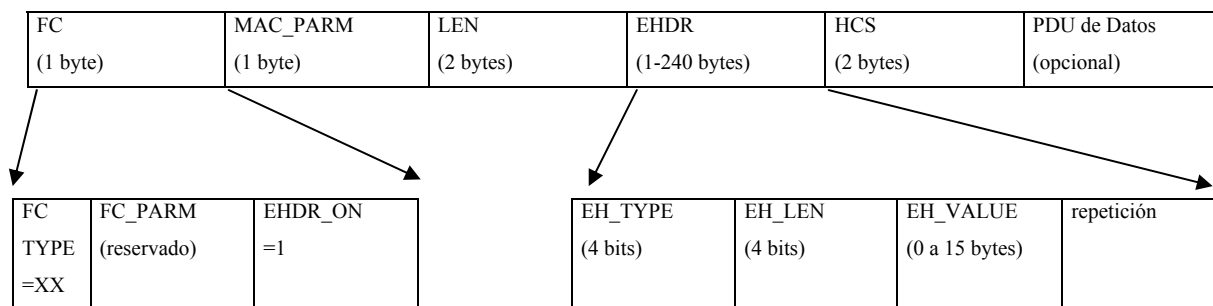


Figura 10. Encabezado MAC extendido

Fuente: SP-RF1v2.0-103-021218 (2002).CableLabs.(p.122)

- *Solicitudes piggyback*

Varios encabezados extendidos pueden ser usados para la solicitud de ancho de banda adicional en las transmisiones subsecuentes. Estas solicitudes son genéricamente referidas como “piggyback request”. La ventaja de este método es que la misma no necesita pasar por el proceso de contención.

- *Encabezado extendido de fragmentación*

Es usado para especificar detalles del proceso de fragmentación, de manera que el paquete

puede ser reensamblado correctamente en el CMTS. Está presente en aquellos paquetes MAC que contienen datos fragmentados. El encabezado extendido de fragmentación es de 6 bytes de longitud.

- *Encabezado extendido de flujo de servicio*

Usado para reforzar las operaciones de flujo de servicio. Tiene definido operadores para PHS (payload header supresión) y UGS (unsolicited grant synchronization).

- *Supresión de la carga del encabezado*

El PHS es usado para optimizar la eficiencia del canal de retorno a través de la eliminación de transmisiones repetitivas de la porción del encabezado de la carga útil que raramente cambia, tal como información del encabezado ethernet entre dos estaciones o información de encabezado ethernet e IP que se mantiene relativamente constante. El PHS puede ser configurado separadamente en el descenso y en el retorno.

El PHSI (payload header supresión index) es el puntero de una tabla cuyo contenido indica información constantemente repetida (referencia las cadenas de bytes suprimidos conocidos). El PHSI es único por SID en el retorno y único por CM en el descenso. El PHS es deshabilitado si el elemento del encabezado extendido es omitido o si es incluido con el PHSI colocado en “0”.

- *Encabezado de sincronización de concesiones no solicitadas*

Puede ser usado para enviar información del estatus del flujo de servicio entre el CM y CMTS. Actualmente sólo está definido su uso para el retorno durante las “concesiones no solicitadas” y “concesiones no solicitadas con esquemas de servicios de detección de actividad”.

III.8.3 Mensajes MAC de gestión

Todos los mensajes MAC de gestión (con excepción de los mensajes de “tiempo de sincronización”), son transmitidos en un paquete MAC haciendo uso del encabezado de gestión. Los datos de los paquetes están codificados usando el formato LLC, definido por la ISO 8802-2.

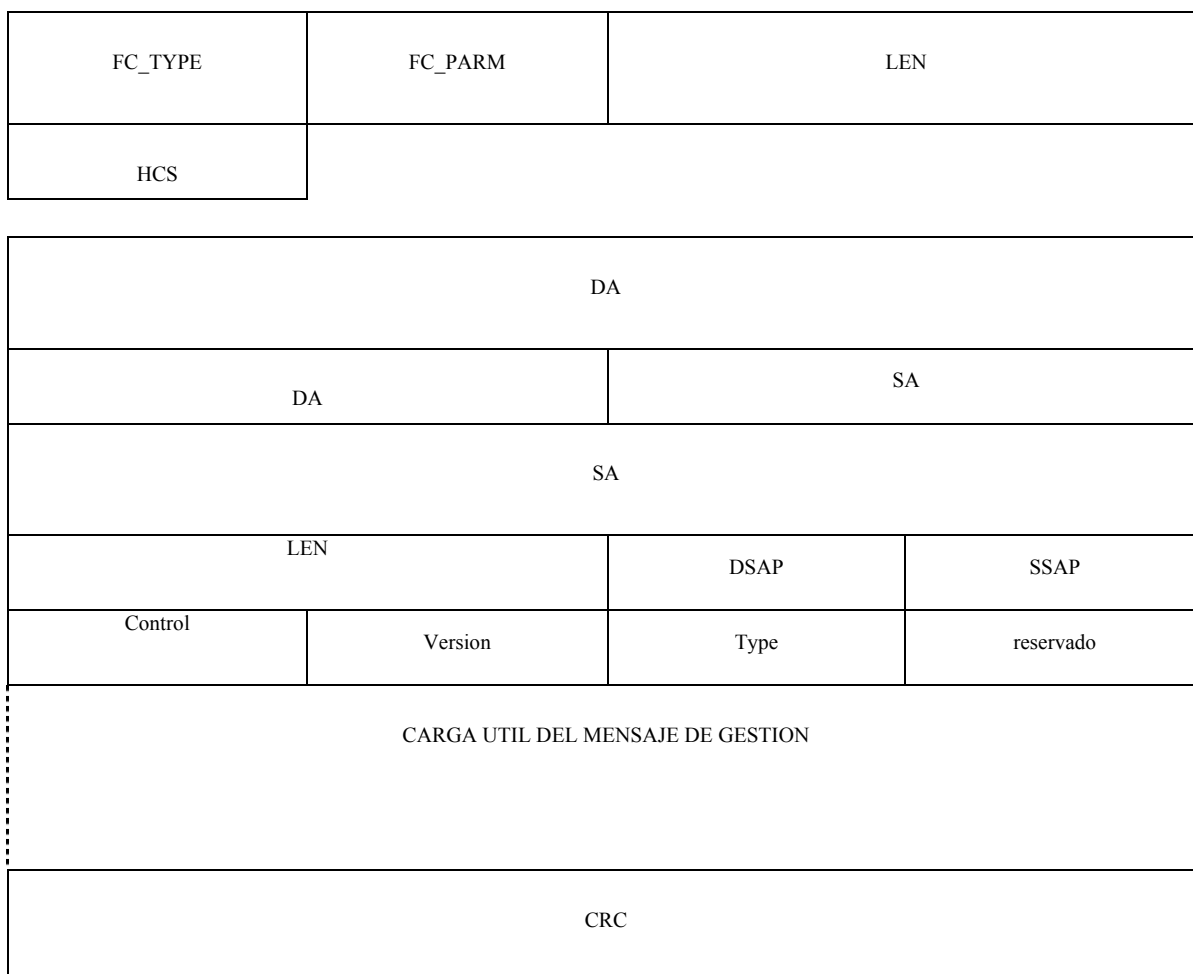


Figura 11. Formato mensaje de gestión MAC

Fuente: Laubach M, Farber D, Dukes S. (2001), Delivering Internet Connections Over Cable. New York. Editorial Wiley (p. 145)

Descripción de los campos:

-
- Dirección de destino (DA): lleva la dirección de 48 bits de la estación del CM o la dirección multicast de gestión .
 - Dirección de origen (SA): lleva la dirección de origen del CM o CMTS.
 - LEN: longitud del mensaje.
 - Punto de acceso de servicio de destino (DSAP) y punto de acceso de servicio de origen (SSAP): son colocados en cero, tal como se define en ISO8802-2.
 - Campo de control: indica las tramas con información del tipo no numérico.
 - Campos versión y type: indican el tipo de mensaje MAC de gestión que es colocado en la carga útil.
 - Carga útil: es de longitud variable.
 - CRC: provee detección de error sobre los paquetes desde el DA hasta el fin de la carga útil.

Descripción de los mensajes de gestión

- Tiempo de sincronización

El mensaje de “tiempo de sincronización” (SYNC) es enviado periódicamente por el CMTS para establecer sincronización de la subcapa MAC. El encabezado MAC específico para este mensaje es el de “tiempo”. El contenido de la carga útil contiene una marca de tiempo que es fijado por el CMTS.

Inmediatamente después que el CM extrae el paquete desde la trama MPEG2-TS, el encabezado MAC específico es decodificado y el procesamiento de la sincronización de la marca de tiempo es ejecutado inmediatamente, con baja latencia en el CM (en contraste al resto de los mensajes de gestión los cuales son enviados hacia la subcapa ethernet/LLC).

- Descriptor del canal de retorno

El CMTS transmite periódicamente un “descriptor de canal de retorno” (UCD) por cada canal activo. El contenido de información del UCD es:

-
1. Contador de cambio de configuración: un contador que incrementa con cualquier cambio en la información del mensaje.
 2. Tamaño de la miniranura: longitud de la miniranura.
 3. IP de canal de retorno: un CMTS asigna un único identificador para el canal de retorno.
 4. IP de canal descendente: un CMTS asigna un único identificador para el canal descendente.
 5. Lista de elementos TLV (time length value): especifican los atributos del canal de retorno (tasa de símbolos, frecuencia y patrón de preámbulo) y además uno o más descriptores de ráfaga.

- Asignación del ancho de banda en retorno (mensaje Mapa)

El mensaje Mapa es usado por el CMTS para realizar la asignación de miniranuras en el canal de retorno. El mensaje Mapa está compuesto por los siguientes elementos de información:

1. ID del canal de retorno: el ID del canal al cual el mensaje Mapa aplica.
2. Contador UCD: contador del número de cambios de configuración del mensaje UCD para el canal al cual el mensaje Mapa aplica.
3. Número de elementos del mapa: representa el número de elementos de información (IEs) que son contenidos en el mensaje Mapa.
4. Asignación de tiempo de inicio: indica el número de la miniranura donde la asignación del mensaje Mapa comienza.
5. ACK time: especifica un tiempo futuro expresado en número de miniranuras utilizado por el CM para propósitos de detección de colisiones.
6. Backoff de inicio de escalamiento: establece el extremo inferior del rango de *backoff* para el proceso de contención usado en el escalamiento.
7. Backoff final de escalamiento: establece el extremo superior del rango de *backoff* para el proceso de contención usado en el escalamiento.

-
8. Backoff de inicio de datos: establece el extremo inferior del rango de *backoff* para el proceso de contención usado en el proceso de construcción de una solicitud para transmisión de datos.
 9. Backoff final de datos: fija el extremo superior del rango de *backoff* de contención aplicado a las solicitudes de ancho de banda.
 10. Elementos de información del Mapa: Es una lista de elementos de información que está a su vez dividida en dos sublistas. La primera sublista es la asignación de ancho de banda realizada por el CMTS. Cada IE está compuesto de un valor SID, un identificador IUC y un número de miniranuras de offset. El primer IE tiene el valor offset de 0, significando que es el inicio del mensaje Mapa. Cada subsiguiente IE especifica un offset que va en incremento. La cantidad de recursos de retorno asignables por IE va desde el número offset de la miniranura en el corriente IE hasta el offset de inicio del siguiente IE en la lista. Si el CMTS necesita enviar un reconocimiento a uno o más CMs, la primera sublista será finalizada por un IE nulo y la segunda sublista será un IE por cada SID que necesite un reconocimiento. Cada IE es siempre de la misma longitud. Cada IE en el mensaje Mapa especifica un IUC (interval usage code), el cual define el tipo de asignación para cada IE. Los tipos de IUC son: Solicitud, REQ/Datos, Mantenimiento inicial, Mantenimiento de estación, Concesión para datos cortos y Concesión para datos largos. En adición a los IUC mencionados, existen valores reservados para el IE Nulo y el IE de “reconocimiento de datos”. Estas regiones IUC no asignan recursos para el retorno.

- Solicitud de escalamiento

Mensaje enviado por un nuevo CM durante el proceso de inicialización y periódicamente ejecutado con el CMTS. Contiene el SID del CM, el identificador del canal descendente del último mensaje UCD procesado y algunas informaciones suministradas por el CM para informar su estado de inicialización.

- Respuesta de escalamiento

Mensaje enviado por el CMTS en respuesta a la recepción de una “solicitud de escalamiento”. El mensaje contiene el SID con que se recibió la solicitud, el identificador del canal de retorno en el cual el CMTS recibió el mensaje y una lista de parámetros e información de estatus como TLVs.

- Solicitud de registro (REG-REQ)

Una solicitud de registro es enviada por el CM al CMTS después que el CM ha logrado descargar el archivo de configuración y se ha procesado.

- Respuesta de registro (REG-RSP)

El CMTS envía una “respuesta de registro” luego que recibe el mensajes de “solicitud de registro” del CM. En adición a un SID y un “indicador de respuesta”, el CMTS incluirá información para la configuración del flujo de servicio, configuración del clasificador y configuración de supresión de carga útil, siempre y cuando estas estén presentes en la “solicitud de registro”.

- Reconocimiento de registro (REG-ACK)

Después del proceso de “respuesta de registro”, el CM transmitirá un “reconocimiento de registro” al CMTS. El mensaje confirma aceptación de las configuraciones realizadas en la “respuesta al registro”. Si el CM no soporta alguna de las configuraciones, enviará un reporte al CMTS detallando los errores ocurridos.

- Solicitud de cambio de canal de retorno (UCC-REQ)

Puede ser enviada por el CMTS para solicitar al CM que cambie el canal de retorno. Incluido en el mensaje está el ID del nuevo canal de retorno, así como también información concerniente a los nuevos niveles de escalamientos que serán necesarios realizar.

- Respuesta de cambio de canal de retorno (UCC-RSP)

Después de recibir una “solicitud de cambio de canal de retorno”, el CM transmite una

“respuesta de cambio de canal de retorno” antes de cambiarse a uno nuevo. El mensaje incluye el ID del nuevo canal de retorno.

- Solicitud de adición de servicio dinámico (DSA-REQ)

Puede ser enviada por el CM o el CMTS para solicitar la creación de un nuevo flujo de servicio. El mensaje contiene un ID único de transacción que es creado por el que lo envía, en adición a los parámetros de flujo de servicio, parámetros de clasificación y parámetros PHS.

Cada flujo de servicio está definido en el sistema por un SFID. Los clasificadores y parámetros PHS son asignados por el SFID. El CMTS relaciona el SFID con un SID cuando el SFID está activo. Si el CM inicia el mensaje, sustituye el valor de referencia genérico de flujo de servicio por el SID. Si el CMTS inicia el mensaje, puede asignar el valor del SID.

- Respuesta de adición de servicio dinámico (DSA-RSP)

Mensaje enviado como respuesta a la “solicitud de adición de servicio dinámico” (dentro del mensaje está el ID de transacción).

- Reconocimiento de adición de servicio dinámico (DSA-ACK)

Mensaje enviado como respuesta a la “adición de servicio dinámico” para confirmar que el nuevo servicio añadido debe ser implementado. Cualquier error es devuelto en este mensaje, similar a la operación de “reconocimiento de registro”.

- Solicitud de cambio de servicio dinámico (DSC-REQ)

Mensaje que puede ser transmitido tanto por el CM como por el CMTS. El mensaje incluye un único ID de transacción generado por el que inicia la solicitud del mensaje. Incluido en el mensaje están los parámetros para los clasificadores, el flujo de servicio y PHS.

-
- Respuesta de cambio de servicio dinámico (DSC-RSP)

Similar a la “respuesta de adición de servicio dinámico”, “la respuesta de cambio de servicio dinámico” provee una respuesta de confirmación para el mensaje de “solicitud de cambio de servicio dinámico”.

- Reconocimiento de cambio de servicio dinámico (DSC-ACK)

Similar al “reconocimiento de adición de servicio dinámico”, el mensaje de “reconocimiento de cambio de servicio dinámico” provee respuesta de confirmación para el mensaje de “respuesta de cambio de servicio dinámico”.

- Solicitud de eliminación de servicio dinámico (DSD-REQ)

La “solicitud de eliminación de servicio dinámico” puede ser enviado tanto por el CM como por el CMTS para solicitar la eliminación de un flujo de servicio. Se incluye un ID de transacción generada por el que realiza la solicitud y el SID.

- Respuesta de eliminación de servicio dinámico (DSD-RSP)

La respuesta de eliminación de servicio dinámico es enviada como “respuesta a la solicitud de eliminación de servicio dinámico”. El mensaje incluye confirmación de que la operación de eliminación fué ejecutada.

III.8.4 Operación de la Capa MAC

Asignación de ancho de banda de retorno

El canal de retorno es modelado como una cadena de miniranuras. El CMTS debe generar un tiempo de referencia para identificar a las ranuras. También debe controlar el acceso de los CMs a las mismas.

Existe una variedad de algoritmos de planificación que pueden ser implementados en el CMTS por diferentes fabricantes; las especificaciones DOCSIS no establecen un algoritmo

en particular. En vez de esto, sólo se describe los elementos del protocolo a través del cual el ancho de banda es solicitado y concedido.

Para el proceso de asignación de ancho de banda se hace uso del mensaje de gestión denominado Mapa, ya mencionado anteriormente. Es un mensaje MAC de longitud variable que es transmitido por el CMTS para definir las oportunidades de transmisión sobre el canal de retorno. Incluye un encabezado de longitud fija seguido de un número variable de elementos de información o IEs (information elements). Cada elemento de información define el uso permitido para un rango de miniranas.

Cuatro tipos de SIDs son definidos:

1. - 0x3FFF-broadcast, destinado para todas las estaciones.
2. - 0x2000-0x3FFE- multicast.
- 3.-0x0001-0x1FFF- unicast, destinado para un CM o un servicio particular dentro de ese CM.
- 4.- 0x0000.- dirección nula, no destinado a ninguna estación.

- IE de solicitud

Provee un intervalo para realizar una solicitud de ancho de banda en el retorno. La característica de este IE cambia dependiendo de la clase del identificador de servicio o SID. Si es broadcast, corresponde a una invitación hacia todos los CMs para competir en las solicitudes. Si es unicast, corresponde a una invitación a un CM particular a solicitar ancho de banda.

- IE de solicitud/datos

Provee un intervalo en el retorno en el cual las solicitudes de ancho de banda o paquetes cortos de datos pueden ser transmitidos. Este IE se diferencia del IE de solicitud en que:

1. Provee un medio a través del cual el algoritmo de asignaciones puede proveer

contienda inmediata de datos bajo cargas ligeras de tráfico en la red.

2. El SID de multicast, debe ser usado para especificar la máxima longitud de datos, así como también, permitir puntos de inicio aleatorios dentro del intervalo. Por ejemplo un ID multicast particular puede especificar un paquete máximo de datos de 64 bytes, con oportunidades de transmisión cada cuatro ranuras.
3. Debido a que los datos enviados por el CM pueden colisionar, el paquete MAC debe portar en el encabezado MAC, una solicitud de reconocimiento que asegure que los datos han sido recibidos por el CMTS.

- IE de mantenimiento inicial

Usado con el SID de broadcast, provee un intervalo en el cual una nueva estación puede tratar de incorporarse en la red. Una longitud variable, equivalente al máximo retardo de propagación más el tiempo de transmisión de un mensaje de solicitud de escalamiento (RNG-REQ), debe proveer capacidad a las nuevas estaciones para ejecutar el proceso inicial de escalamiento. Los paquetes transmitidos en este intervalo deben usar los mensajes MAC de gestión RNG-REQ o el INIT-RNG-REQ.

- IE de mantenimiento de estación.

Provee un intervalo para las estaciones que necesiten realizar rutinas de mantenimiento de la red, tal como el escalamiento o ajustes de niveles de potencia. El IE de mantenimiento de estación es del tipo unicast. Los paquetes transmitidos en este intervalo deben usar el mensaje MAC de gestión RNG-REQ.

- IEs de asignación para datos cortos y largos

Provee una oportunidad al CM para transmitir uno mas PDUs en el retorno. Estos IEs son tratados tanto en respuesta a una solicitud de petición de una estación, como por una política de administración que provea alguna cantidad de ancho de banda a una estación en particular.

Las asignaciones para datos cortos son usadas con intervalos menores o igual al máximo tamaño de la ráfaga para este uso, el cual está especificado en el descriptor de canal de retorno (UCD).

- IE de expansión

Provee una extensión en el caso que futuros IEs necesiten más de 32 bits.

- IE nulos

Utilizado para terminar todas las asignaciones actuales de las listas de IEs.

- IEs de capa física avanzada de asignaciones para datos cortos y largos

Estas IEs son canales físicos avanzados equivalentes a los IEs de asignaciones para datos cortos y largos. En adición, estas IEs permiten operar en modo TDMA para DOCSIS v2.0, compartiendo los mismos canales de retorno con los modems DOCSIS v1.x. Los modems registrados en DOCSIS v1.x no deben usar estos intervalos.

- IE de capa física avanzada de asignaciones no solicitadas

Estos IEs pueden ser usados por el CMTS para realizar una asignación no solicitada de ancho de banda a los CM que trabajan en DOCSIS v2.0.

Un mensaje Mapa es de longitud variable. El comienzo del Mapa contiene dos piezas importantes de información: el identificador de canal de retorno o UCI (upstream channel ID) y el número de la miniranura de inicio. El UCI indica el canal de retorno para el cual el mensaje Mapa es aplicado, el cual es fijado por el CMTS. Un CM conoce el UCI del canal de retorno, luego, éste escucha el mensaje Mapa que aplica para ese canal.

El procedimiento general de asignación de ancho de banda es el siguiente:

1. Cuando un CM recibe un paquete en una de sus colas de retorno (tanto desde la pila de protocolos del CM como desde la interfaz CMCI del CPE), calcula el número de

miniranuras necesarias para transmitir el paquete.

2. El CM construye un paquete MAC de solicitud para el SID y espera por una oportunidad para el envío de dicha solicitud.
3. Cuando un intervalo de solicitud está disponible en el retorno, el CM transmite su solicitud, esperando que el CMTS la reciba sin colisión. Los intervalos de solicitud son intervalos de contienda. Si el CMTS logra recibir el mensaje enviado por el CM, podrá recibir como respuesta una concesión directa en el próximo mensaje Mapa enviado por el CMTS o por el contrario recibir un mensaje de reconocimiento de que la solicitud fue recibida.
4. Después de la recepción, el gestor de planificación del CMTS calculará cuando se podrá realizar la asignación de ancho de banda al CM.
5. Cuando el CMTS está listo para la asignación, el gestor de planificaciones construye un mensaje Mapa, donde asignará los recursos asociados al SID (ubicación del mismo y número de miniranuras asignadas).
6. Una vez que el mensaje Mapa es enviado en el descenso, el CM la recibe y explora por alguna concesión directa realizada o sólo por un mensaje de reconocimiento. En el primer caso el CM procesará el paquete y esperará el momento asignado para el proceso de envío del paquete. En el segundo caso, el CM esperará por la correspondiente asignación. Si ninguno de los dos casos son recibidos, el CM ejecutará un tiempo de expiración y entrará a un algoritmo de resolución de contienda.

Desde el punto de vista de colas y flujo de servicio, cuando un paquete debe ser enviado en el canal de retorno por el CM, el proceso de asignaciones de ancho de banda es el siguiente:

1. El paquete es examinado por el clasificador de paquetes. El clasificador es configurado con uno o más criterios de patrones de reconocimiento. Los paquetes que sean reconocidos y asociados a un patrón son asignados a un SFID que se ajusta a dicho criterio. Si el flujo de servicio es activo, el paquete es transferido a una cola que pertenece al SID asignado al SFID activo. De otra manera, los paquetes son transferidos

-
- a una cola SID por defecto.
2. Cada SFID tiene unos parámetros de QoS asociados con él. El planificador de retorno del CM usa la información para decidir cuando es apropiado transferir un paquete desde la cola al canal de retorno. La programación del QoS puede ser reactiva, caso en el cual el CM debe realizar una solicitud para transmitir datos. DOCSIS soporta un modo predictivo llamado UGS (unsolicited grant service) que es usado típicamente para una programación de tráfico CBR sin la necesidad de que el CM envíe una solicitud de ancho de banda.
 3. Si el CM necesita enviar una solicitud, entonces la generará y la enviará al CMTS siguiendo las reglas de solicitud de ancho de banda para el CM.
 4. El planificador del CMTS recibe la solicitud y asigna ancho de banda en el siguiente o en un posterior mensaje Mapa.
 5. El receptor del CM examina el mensaje Mapa y verifica si existen asignaciones relacionadas al SID en cuestión.

Solicitudes

Se refiere a los mecanismos usados por el CM para indicar al CMTS la necesidad de requerir ancho de banda. Una solicitud puede venir como una simple trama de solicitud o como una solicitud del tipo *piggyback*. La trama de solicitud puede ser transmitida durante los siguientes intervalos:

- IE de solicitud.
- IE de solicitud/datos.
- IE de asignación para datos cortos.
- IE de asignación para datos largos.
- IE de capa física avanzadas para datos cortos y largos.

Una solicitud del tipo *piggyback* puede estar contenida en los siguiente encabezados extendidos:

- Elemento EH de solicitud.

-
- Elemento EH de privacidad de retorno.
 - Elemento EH de privacidad de retorno con fragmentación.

La solicitud debe incluir:

- El SID que realiza la solicitud.
- El número de miniranuras requeridas.

Soporte para múltiples canales

Los vendedores pueden ofrecer varias combinaciones de canales de retorno y descenso dentro de un MSAP (MAC service access point). El protocolo de asignaciones de ancho de banda de retorno permite que múltiples canales de retorno sean administrados a través de uno o más canales de descenso. Algunos o todos los canales de retorno pueden coexistir aun en la misma frecuencia de transmisión

Procesos de escalamientos

El escalamiento es el proceso de adquirir el correcto offset de tiempo de tal manera que las transmisiones del CM estén alineadas con las fronteras de las miniranuras. Existen 2 tipos de escalamientos iniciales: tipo broadcast y tipo unicast.

Resolución de contienda

El método establecido para la resolución de contiendas está basado en el sistema “truncated binary exponential back-off”, con la ventana inicial de back-off y la ventana máxima de back-off controlado por el CMTS. Las ventanas se especifican en los mensajes Mapa y representa una potencia de dos valores. Por ejemplo para un valor de 4, indica una ventana entre 0 a 15; un valor de 10 indica una ventana entre 0 y 1023. Cada vez que un CM desee transmitir en una región de contienda, deberá entrar en el proceso de resolución de contienda a través de la fijación de su ventana interna de back-off igual a la definida en el Mapa actual.

El CM seleccionará aleatoriamente un número dentro de la ventana inicial. Este valor aleatorio indica el número de oportunidades de transmisión en contienda a la cual el CM deberá esperar antes de transmitir. Después de una transmisión en contienda, el CM esperará por una concesión de datos o un reconocimiento de datos en el siguiente Mapa. El CM determina que la transmisión en contienda fue perdida cuando el Mapa recibido no contiene concesión de datos o reconocimiento de datos. En este caso, el CM deberá incrementar su ventana de back-off en un factor de dos. El CM deberá seleccionar un número aleatorio dentro de esta nueva ventana y volver a repetir el proceso. Esto puede continuar hasta 16 reintentos después del cual el paquete PDU es descartado.

III.9 CALIDAD DE SERVICIO.

Conceptos

Un flujo de servicio es un servicio de la capa MAC que provee transporte de paquetes tanto para el retorno como para el descenso. Un flujo de servicio es caracterizado por un conjunto de parámetros QoS tales como latencia, jitter y aseguramiento de tasa de transmisión.

Para garantizar el control sobre la calidad de servicio (QoS) ofrecido a los CMs, se define un ID de “flujo de servicio” o SFID (32 bits) y es parte integral del proceso de asignación de ancho de banda. La implementación de este flujo de servicio en un CM se realiza a través del “identificador de servicio” o SID (14 bits). Cada flujo de servicio está directamente relacionado a un único SID. El SID es usado para asignación de ancho de banda, mientras que el SFID se utiliza para definir los parámetros de QoS para un flujo en particular (tasa de datos, retardo, jitter, etc.)

La cantidad de SFIDs asignados a un CM es de uno o más y los mismos se negocian durante el proceso de inicialización y registro del CM o también pueden ser establecidos dinámicamente posterior al registro. No obstante, a todo CM se le debe suministrar dos flujos de servicios básicos correspondientes al descenso y al retorno, denominados “flujos

de servicios primarios”.

Los flujos de servicios son signados al CM en una de las dos modalidades siguientes: aprovisionamiento estático y dinámico. La primera es ejecutada como parte de la configuración de inicialización del CM. La segunda es ejecutada después que el proceso de registro del CM es completado y está en operación.

Cada cola de retorno es identificada en el sistema como un flujo de servicio separado; este es asignado a un único SID por el CMTS como parte de la inicialización del CM. Un SFID activo es mapeado para cada SID. Se posee múltiples capacidades en las colas de retorno en un CM. En DOCSIS, cada SID se le asigna un ancho de banda haciendo uso de los mecanismos de concesión.

Tipos de flujo de servicio

Existen tres tipos de flujo de servicio:

1. Aproveccionado: es realizado en el proceso de aprovisionamiento a través del archivo de configuración.
2. Admitido: tiene recursos reservados por el CMTS mas aún no están activados.
3. Activo: el flujo de servicio tiene asociado los “clasificadores”. Cualquier paquete que no concuerde con un “clasificador”, es enviado al flujo de servicio primario.

Clasificadores

Un “clasificador” es un conjunto de criterios aplicados a cada paquete entrante en la red de cable. Si un paquete coincide con algunos de estos criterios, entonces es despachado en el flujo de servicio referenciado. Los parámetros de clasificación están basados en dirección IP, puertos TCP y UDP. En todos los casos se definen las condiciones tanto para el origen como el destino.

Clases de servicios

Los atributos de QoS para el flujo de servicio pueden estar especificados de dos maneras: explícitamente definiendo todos los atributos o especificando un nombre de clase de servicio. Un nombre de clase de servicio es un conjunto de parámetros de QoS asociados por el CMTS.

Planificación de flujo de servicio en el retorno

La planificación de servicio está diseñada para optimizar el proceso de solicitud/concesión. A través de la especificación de una planificación de servicio y sus parámetros asociados, el CMTS puede anticipar la tasa de salida, la latencia que necesitará un tráfico en dirección de retorno y proveer las concesiones en un tiempo adecuado

Cada servicio es adaptado a un flujo de datos específico. Los servicios básicos comprenden: UGS (unsolicited grant service), rtPS(real-time polling service), UGS-AD (unsolicited grant service with activity detection), nrtPS (non-real-time-polling-service) y BE (best effort).

- Servicio de concesión no solicitado (UGS)

El servicio UGS está diseñado para soportar un flujo de servicio en tiempo real que acepte paquetes de datos de longitud fija en un período determinado (ej.: voz sobre IP). El servicio ofrece asignaciones de longitud fija en tiempo real, el cual elimina el overhead y la latencia ocasionada en el proceso de solicitud realizada por el CM, asegurando que la asignación estará disponible para lograr las necesidades de flujo de servicio en tiempo real. El CM comunica la condición del estatus de la cola UGS al CMTS usando el UGSH (unsolicited grant synchronization header) en el EH (extended header). Si el tamaño de la cola para el UGS es insuficiente, entonces el CMTS asignará concesiones extras para satisfacer la condición requerida por el CM, éste último emitirá un mensaje de conformidad en el UGSH.

- Servicio de polling en tiempo real (rtPS)

Diseñado para soportar flujo de servicio en tiempo real que acepte paquetes de datos de longitud variable en un período determinado (ej.: paquetes comprimidos de voz o video MPEG). Este servicio necesita un mayor overhead que el UGS, pero soporta concesiones de longitud variable para un transporte de datos de forma eficiente.

- Concesión de servicio no solicitado con detección de actividad (UGS-AD)

El UGS/ AD es diseñado para soportar un flujo UGS que está inactivo durante porciones de tiempo de 10 millones de milisegundos o más (ej.: voz sobre IP con supresión de silencio). El servicio provee concesiones no solicitadas cuando el flujo está activo y polling unicast cuando el flujo está inactivo. De esa manera se combina el bajo overhead y la baja latencia de UGS con la eficiencia del servicio rtPS.

- Servicio polling no-tiempo-real (nrtPS)

El servicio nrtPS está diseñado para soportar un flujo de servicio del tipo nrt (no-real-time) que requiera una concesión para datos de longitud variable (ej.: alto consumo de ancho de banda para FTP). El servicio ofrece polling unicast asegurando oportunidades de transmisión inclusive en presencia de alto tráfico en la red de cable.

- Servicio best effort (BE)

El BE es un servicio eficiente que trata de proveer la mejor calidad de tráfico posible. Con la finalidad de trabajar correctamente, las políticas fijadas de solicitud/transmisión deberían ser tal que el CM se le permita usar las oportunidades de solicitud en contienda.

Fragmentación

La fragmentación es un servicio que se realiza en el proceso de transmisión en retorno. Ocurre cuando las asignaciones de miniranas dadas por el CMTS no satisfacen los requerimientos del CM. En el CMTS, los fragmentos son procesados similarmente a cualquier otro paquete recibido, pero con el requerimiento adicional de que deben ser reensamblados todos los fragmentos para conformar el paquete original. Si cualquier error

está presente, el CMTS procederá a descartar el paquete. El CM envía información del estatus de los fragmentos constantemente de manera tal que el CMTS pueda determinar cuando algún fragmento fué descartado por errores.

III.10 FUNDAMENTOS DE PRIVACIDAD EN DOCSIS

El conjunto de especificaciones DOCSIS incluye una Interfaz Básica de Privacidad Optimizada (BPI+). La versión pública de la especificación está referenciada como SP-BPI+-I09-020830.

Componentes básicos

La privacidad básica tiene dos componentes básicos:

1. Un protocolo para encriptación de los paquetes de datos a través de la red de cable. El protocolo define el formato de la trama para el transporte de los paquetes de datos encriptados dentro de tramas MAC y un conjunto de soportes criptográficos, como por ejemplo: encriptación de datos, algoritmos de autenticación y reglas para aplicar estos algoritmos en las tramas de paquetes de datos MAC.
2. Un protocolo de gestión de claves denominado BPKM (baseline privacy key management), que provee la distribución de claves desde el CMTS al CM. En adición, el CMTS usa un protocolo para establecer las condiciones de acceso a los servicios de la red.

Principio de operación

BPI + usa criptografía de claves públicas. Durante la inicialización del BPI+, el CM ejecuta un proceso de certificación digital que incluye la dirección MAC y el número serial de identificación del fabricante, el cual es enviado al CMTS. El CMTS asocia esa información para el proceso posterior de facturación al cliente.

Una asociación de seguridad es realizada entre el CM y el CMTS a través del intercambio de SIDs. Cada SID lleva su propia relación de seguridad. La finalidad de esto se basa en dos razones principales:

- El tráfico unicast intercambiado entre el CMTS y el CM puede ser establecido de forma segura.
- El tráfico multicast en el descenso puede ser establecido de modo seguro entre cada miembro del grupo multicast.

Cuando BPI+ está siendo usado, la inicialización de la seguridad sucede después que se ha terminado el proceso de registro con el CMTS. Si un CM desea usar el BPI+, el archivo de descarga de configuración contendrá la información para la configuración de dicho servicio. El procedimiento para el registro de seguridad e intercambio de claves se especifica en el documento SP-BPI+-I09-020830.

Después de la inicialización del BPI+, todos los paquetes de datos del usuario entre el CM y el CMTS son encriptados. Los mensajes de gestión MAC son enviados sin encriptación.

El BPI+ debe soportar DES de 56 bits y puede soportar DES de 40 bits. El soporte de DES de 40 bits principalmente es para la compatibilidad con DOCSIS v1.0.

Protocolo de gestión de claves

El BPKM es un protocolo de gestión de claves utilizado por el CMTS para el control del sistema criptográfico usado en la red de cable. Dentro de sus procesos se encuentran la administración y entrega de claves. El protocolo usa los certificados digitales X.509 (ITU1), RSA (RSA, RSA1, RSA2 y RSA3) y dos claves triple DES para asegurar el intercambio de claves seguro entre el CM y el CMTS.

El BPKM se adhiere al modelo de cliente servidor, donde el CM (cliente BPKM), solicita

las claves y el CMTS (servidor BPKM), responde a estos requerimientos, asegurando que el CM correcto sólo sea el que reciba esta información.

Un CMTS autentica a un CM durante el inicio del proceso de autorización. Cada CM lleva un único certificado digital X.509 creado por el fabricante del CM. El certificado digital del CM contiene la clave pública que él utilizará, junto a otra información adicional, como su dirección MAC e ID del fabricante. Cuando solicita una autorización de claves, un CM presenta su certificado digital al CMTS. El CMTS verifica el certificado digital y luego usa la clave pública verificada para encriptar la autorización de clave, el cual es enviado por el CMTS de regreso al CM que realizó la solicitud.

El proceso de autenticación sirve para posteriores procesos de facturación al suscriptor y además verificar los servicios a los cuales está permitido. Igualmente se evita el proceso de clonación del CM dentro de la red.

Asociaciones de seguridad

El BPI+ SA es un conjunto de asociaciones de seguridad que establece el CMTS con los CMs, con el fin de garantizar una comunicación segura a través de la red de cable. Existen tres tipos de asociaciones de seguridad:

1. **Primaria:** relacionada a un único CM y es establecida cuando el CM completa el proceso de registro.
2. **Estática:** está aprovisionada dentro del CMTS.
3. **Dinámica:** es eliminada y creada constantemente, en respuesta al inicio y término de un flujo de tráfico específico de descenso.

La distribución de información por “asociación segura” (SA) incluye el tráfico de las claves de encriptación y los vectores de inicialización del CBC. BPI+ identifica la “asociaciones seguras” a través del SAID (security association identifier).

A través del uso del SAID el CM realiza solicitudes al CMTS para la obtención de las claves usadas en los servicios SA. Las claves tienen un tiempo de vida limitado, por lo que el CM tiene la responsabilidad de realizar las solicitudes correspondientes para evitar el vencimiento de las mismas.

QoS DISs y BPI+ SAIDS.

El esquema para el envío de información encriptada entre el CM y el CMTS es el SAID primario, el cual coincide con el SID primario. El envío de información descendente encriptada a un grupo de CMs es realizado a través del uso de asociaciones, las cuales se clasifican en estáticas y dinámicas.

A diferencia de la transmisión en descenso (en donde se necesita construir un encabezado extendido BDP+SAID), la transmisión en retorno se realiza con un encabezado extendido en el cual el elemento de la privacidad básica enviado contiene un QoS ID.

Proceso de inicialización

Después del proceso de inicialización el CMTS asignará uno o más SIDs estáticos al CM. El primer SID estático asignado durante el proceso del registro es el SID primario, que sirve a su vez como SAID BPI+ primario. Si un CM está configurado para ejecutar privacidad básica, entonces, posterior al proceso del registro, el CMTS ejecutará una serie de pasos de inicialización de estas funciones en el CM.

El proceso de inicialización comienza cuando el CM envía al CMTS una “solicitud de autorización” conteniendo lo siguiente:

1. Identificación del CM (ej.: dirección MAC).
2. Las claves públicas RSA del CM.
3. Un certificado X.509 .
4. Una lista de capacidades de seguridad por el CM.

5. SID primario.

Si el CMTS acepta la petición del CM, enviará una respuesta con una “autorización de claves”, del cual el CM y el CMTS derivarán todas las claves necesarias para asegurar el encriptamiento del tráfico. El CMTS encripta la claves de autorización con las claves públicas dadas por el CM.

Esta respuesta enviada por el CMTS también contiene una lista de descriptores de “asociaciones seguras”, identificando los SA primario y estático al cual el CM está autorizado a usar.

Después que el proceso de autenticación y autorización ha sido completado con el CMTS, el CM envía una solicitud al CMTS solicitando las claves para encriptar el tráfico de cada uno de sus SAIDs. La autenticidad de la solicitud del CM es realizada a través del hash (algoritmo HMAC RFC2104) derivado del material enviado en la clave de autorización. El CMTS responde con las claves solicitadas TEK (trafffc encryption keys). Las claves TEK son encriptadas usando triple DES con una clave de encriptación obtenida de la clave de autorización. Este mensaje de respuesta del CMTS también es autenticado a través del uso del hash, donde al igual que antes, las claves de autenticación del mensaje son derivadas de las claves de autorización.

Modelo de máquina estados

El BPKM especifica dos modelos de máquinas de estados separados e independientes:

- Máquina de estado de autorización.
- Máquina de estado TEK.

Máquina de estado de autorización

La autorización del CM, controlado por la máquina de estados de autorización consiste de los procesos siguientes:

-
1. El CMTS autentica la identidad del cliente.
 2. El CMTS provee al CM con las claves de autorización, a través del cual un KEK (key encryption key) y las claves de los mensajes de autenticación se derivan.
 3. El CMTS provee al CM con identidades (SAIDs).

El KEK es un sistema de encriptación usado por el CMTS, que consiste de dos claves triple DES para la encriptación del material TEK. El TEK es usado para encriptar el tráfico de datos del usuario. El CM y CMTS usan las claves de autenticación del mensaje para autenticar (vía “keyed message digest”), las solicitudes de las claves y el intercambio de respuestas.

Máquina de estado TEK.

Lograda la autorización, un CM inicia un proceso separado el cual es ejecutado por la máquina de estado TEK por cada uno de los SAIDs. Cada máquina de estado TEK operando en el CM es responsable por la gestión de las claves de seguridad asociadas al SAID. La máquina de estado TEK periódicamente envía un mensaje de solicitud de claves al CMTS solicitando actualización de las claves para sus SAIDs respectivos. La solicitud de claves incluye:

1. Identificación del CM.
2. Número serial, dirección MAC y claves públicas RSA.
3. El SAID cuyo material de claves es requerido.
4. Un HMAC “keyed message digest”, autenticando la solicitud de claves.

La respuesta antes la solicitud por parte del CMTS es:

1. Claves para encriptación de tráfico triple DES.
2. Vector de inicialización CBC.
3. Número de secuencia de claves.
4. Tiempo vida restante de la clave.
5. Un HMAC “keyed message” autenticando la respuesta.

Métodos criptográficos

A continuación se describe brevemente el método criptográfico usado:

- Encriptación de datos: modelo CBC del algoritmo DES.
- Encriptación TEK: método de encriptación de dos claves triple DES en el modo de EDE (encrypt-decrypt-encrypt)

Encriptación $C = E_{K1} [D_{K2} | E_{K1} | P \parallel]$

Desincriptación $P = D_{K1} [E_{K2} | D_{K1} | C \parallel]$

P= texto claro 64 bit TEK.

C= texto cifrado 64-bit TEK.

K1= últimos 64 bits a la izquierda del KEK de 128 bits.

K2= últimos 64 bits a la derecha del KEK de 128 bits.

$E[]$ = modo de encriptación DES ECB (electronic code book) de 56 bits.

$D[]$ = modo de desincriptación DES ECB de 56 bits.

- Algoritmo HMAC Digest: el hash empleado en el atributo HMAC Digest usa el método de autenticación HMAC según RFC 2104 con algoritmo hash SHA-1 (FIPS-180-1).
- Clave de autorización: clave pública RSA 1024 bits enviado por el CM.
- Certificados digitales: RSA de 1024 a 2048 bits para firmar certificados BPI+ X 509.

III.11 INICIALIZACION DE OPERACIÓN DEL CM

Cuando un CM es inicializado, se ejecuta un proceso de auto-verificación denominado

POST (power on self test), posteriormente se inicializa los parámetros necesarios para el funcionamiento apropiado de la capa MAC. Esto requiere una interacción entre el CM y el CMTS, dentro de estos parámetros se encuentran:

- Establecimiento del canal de descenso.
- Establecimiento del canal de retorno, incluyendo frecuencia, niveles de potencia y otros parámetros de transmisión.
- Escalamiento.

Al final del proceso de escalamiento, el CMTS procede a la siguiente fase de inicialización relacionada a capa IP. El procedimiento general es:

1. Obtener dirección IP y nombre del archivo de configuración desde el operador de cable usando DHCP.
2. Fijar hora local usando el protocolo TOD (time of day).
3. Descargar la configuración para el CM usando el protocolo TFTP.

El archivo de configuración para el CM contiene ajustes sobre los parámetros cargados en el proceso de inicialización. El siguiente paso en el proceso es el registro formal del CM en el CMTS. Durante este proceso, el CM informa al CMTS de la configuración de sus parámetros iniciales durante la inicialización. El CMTS responde aceptando los parámetros enviados por el CM o también puede no aceptar algunas de las configuraciones solicitadas. Sólo después que el registro está completo el CM puede empezar el proceso de envío de datos del usuario.

La secuencia del proceso general de inicialización del CM se detalla a continuación:

1. El CM es encendido y completa el proceso POST.
2. La frecuencia de descenso es supervisada en búsqueda de un canal digital activo DOCSIS. Un canal activo DOCSIS consiste de:
 - Modulación 64 QAM y 256 QAM.

-
- Presencia de tramas MPEG2-TS con PID DOCSIS.
 - Recepción periódica de UCD y mensajes Mapa.
3. El CM examina los mensajes UCD y selecciona uno apropiado para realizar una solicitud inicial para escalamiento.
 4. El CM examina los mensajes Mapas y espera un intervalo para el envío de un mensaje inicial.
 5. El CM transmite un mensaje de “solicitud de escalamiento”.
 6. Si el mensaje del paso 5 es recibido, el CMTS transmitirá un mensaje de “respuesta de escalamiento”.

Los pasos 5 y 6 se repiten hasta que el CMTS indique que fué exitoso el proceso.

7. El CM realiza una solicitud DHCP para obtener dirección IP, nombre del archivo que contiene la configuración del CM y el servidor TFTP donde está almacenado dicho archivo.
8. Un servidor DHCP usado por el operador del cable responderá la información solicitada por el CM.
9. El CM fija la hora del día.
10. El CM descarga el archivo de configuración, usando el protocolo TFTP desde el servidor indicado.
11. El CM procesa el archivo de configuración.
12. El CM envía una “solicitud de registro” al CMTS.
13. El CMTS responde con una “respuesta de registro”.
14. El CM procesa la “respuesta al registro” y responde con un “reconocimiento al registro”.
15. Si el archivo de configuración contiene los parámetros para establecer privacidad básica, entonces, el CM y el CMTS intercambiarán información de forma segura, siguiendo los procedimientos de la especificación SP-BPI+-I09-020830.
16. El CM está correctamente incorporado en la red y se le permitirá utilizar la misma.

III.12 PROTOCOLO DE GESTION SIMPLE DE RED EN DOCSIS

Existen dos especificaciones MIB para la gestión SNMP en DOCSIS: MIB para dispositivos de cable y las MIBs para interfaz RF

MIB de dispositivos de cable

Estas MIB están divididas en siete grupos:

1. Gestión del sistema de dispositivos de cable.
2. Seguridad de acceso SNMP.
3. Actualización del software del CM a través de descarga desde red.
4. Interacción con el servidor de aprovisionamiento.
5. Reportes de eventos y sucesos (traps).
6. Configuración de filtros para capa 2, 3 y 4.
7. Gestión de dirección del CPE.

Las MIBs del dispositivo de cable proveen administración de los filtros para la capa 2 del CM (ethernet /LLC) y capa 3 (protocolo IP). Los filtros de la ethernet/LLC limitan el reenvío de paquetes a un conjunto de protocolos tales como: IP, IPX, NetBIOS e EthernetTalk (AppleTalk). Los filtros IP pueden ser usados para la restricción de tráfico de retorno y de descenso basados en las direcciones IP tanto de origen como destino, así como también, filtros sobre los protocolos TCP, UDP e ICMP.

MIB de interfaz RF

Estas MIBs están estructuradas en tres grupos:

- Soporte de operaciones tanto del CM como CMTS, incluyendo canales activos de descenso, retorno y calidad de la señal RF.
- Soporte de operaciones del CM, incluyendo el monitoreo de la interfaz MAC DOCSIS y las colas de servicio de retorno.

-
- Soporte de operaciones del CMTS, incluyendo una tabla de valores *rolled-up* que resumen los eventos sobre todas las interfaces, una tabla de los servicios del CM registrados por el CMTS, colas de servicios de retorno, perfil de modulaciones para los canales de descenso y retorno.

III.13 SERVICIO MULTICAST

Las especificaciones DOCSIS también detallan el conjunto de reglas en el cual están basados los servicios multicast. Las mismas están separadas en dos grupos básicos: reglas para el CMTS y reglas para el CM. A continuación se describe cada una de ellas en forma breve.

Reglas para el CMTS como bridge

- 1 Reenviar todas las solicitudes de los miembros en todos los canales descendentes.
2. Reenviar la primera copia de un reporte solicitado o no solicitado a todos los canales de descenso.
3. Suprimir los reenvíos o reportes adicionales en el descenso en los intervalos de “solicitud de respuesta”.
4. Suprimir la transmisión en descenso para cualquier grupo multicast que no tenga miembros suscritos, sujetos al control administrativo.

Reglas para el CMTS como enrutador

1. - Reenviar la primera copia de un reporte solicitado o no solicitado a todos los canales de descenso.
2. - Suprimir los reenvíos o reportes adicionales en el descenso en los intervalos de “solicitud de respuesta”.
3. - Suprimir la transmisión en descenso para cualquier grupo multicast que no tenga miembros suscritos, sujetos al control administrativo.

4. - Ejecutar las funciones de enrutador multicast según las especificaciones del RFC2236.

Reglas para el CM

1. No reenviar solicitudes desde la interfaz del CPE a la interfaz RF (retorno).
2. No reenviar reportes o mensajes de “abandono de grupo” desde la interfaz RF al CPE, (descenso).
3. No reenviar paquetes multicast desde la interfaz RF a la interfaz del CPE al menos que el CPE sea miembro del grupo.
4. Reenviar paquetes multicast recibidos en la interfaz CPE a la interfaz RF (retorno) a menos que esté administrativamente prohibido.
5. Reenviar paquetes multicast enviados a todos las direcciones host, desde la interfaz RF a la interfaz del CPE (descenso).
6. Reenviar paquetes multicast de las consultas de todos los host o un grupo específico de consultas desde la interfaz RF a la interfaz CPE o si el CM implementa la porción de host según el RFC2236 en la interfaz RF, no actuará como un solicitante en la interfaz RF, sino como un solicitante en la interfaz CPE.

CAPITULO IV. EVALUACIÓN DE LA ARQUITECTURA DOCSIS

IV.1 EVALUACIÓN DE LA ARQUITECTURA DOCSIS SEGÚN LOS REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES DE LA ARQUITECTURA PARA ACCESO ABIERTO

IV.1.1 Introducción

En el estudio de las redes de acceso banda ancha residencial y el back-end de los operadores ISP, es de interés verificar su compatibilidad y cumplimiento con los criterios utilizados en las arquitecturas de acceso abierto. Las especificaciones para las redes de acceso abierto aún no forman parte de un estándar, sin embargo, existen un conjunto de lineamientos que tienen un gran consenso y los cuales se pueden tomar como referencia en el siguiente análisis.

IV.1.2 Arquitectura de Acceso Abierto en la Capa Física de DOCSIS

En el RFI de DOCSIS los canales RF descendentes operan dentro de la banda espectral correspondiente a los canales analógicos para televisión por cable. En el canal de retorno la asignación del espectro es desde los 5 MHz hasta 42 MHz. La región comprendida entre los 5 MHz a 24 MHz posee muchos problemas debido al alto ingreso de ruido ocasionado por agentes externos a la red de cable, generando inconvenientes para el uso de señales moduladas digitalmente. De esta forma, una porción del espectro es virtualmente inutilizable (excepto en redes de cable con bajo nivel de ruido), dejando de 15 MHz a 18 MHz del espectro RF como rango útil. Debido al problema inherente de ruido, el tipo de modulación usada para la comunicación en retorno es menos denso (constelación de menor tamaño) por razones de robustez. En DOCSIS v1.0 y v 1.1, corresponde a una tasa de datos de 2,5 Mbps a 5 Mbps para la mayoría de las redes de cable. En redes de cable con bajo

nivel de ruido, la capacidad de transmisión en el retorno puede ser duplicada por canal, a un máximo de 10 Mbps en 3,2 MHz, no obstante, en DOCSIS v2.0 una mejora ante este problema es realizada al implementar S-CDMA dentro del esquema de acceso del canal de retorno, permitiendo tener canales con ancho de banda de hasta 6,4 MHz para una capacidad de tasa de datos de 30,72 Mbps.

Para que la red de cable sobre la cual se sustenta DOCSIS pueda cumplir con la arquitectura de acceso abierto en la capa física, se requiere que el proveedor de la red de servicio disponga de la suficiente cantidad de canales tanto descendentes como de retorno, con la finalidad de permitir al usuario la capacidad de múltiple selección de proveedores y no estar restringido a un proveedor en particular. El requerimiento anterior no se adapta lo suficiente en las versiones DOCSIS v1.0 y DOCSIS v1.1 debido al poco ancho de banda RF disponible para los canales lógicos de retorno y ciertas deficiencias en el aprovechamiento del espectro por el tipo de esquema de acceso al medio implementado (FDMA). La inclusión de S-CDMA y A-TDMA en DOCSIS v.2.0 permite fortalecer y adaptar mejor las especificaciones de capa física para satisfacer la arquitectura de acceso abierto, al optimizar el uso del espectro RF en retorno.

El desarrollo de las especificaciones DOCSIS se sustenta en el cumplimiento de ciertas normas internacionales, tales como las regulaciones de la FCC. La FCC requiere que el operador de la red de cable controle y administre todas las transmisiones RF, de manera que la red de cable no irradie señales indeseadas dentro de la comunidad. Esto implica que todos los dispositivos utilizados en la cabecera de la red (CMTS) sean administrados y operados por un único ente regulador. El hecho de que un único operador de la red de cable deba tener control total del medio físico, limita en cierta forma la capacidad de cumplir con la arquitectura para acceso abierto en ésta capa.

IV.1.3 Arquitectura de Acceso Abierto en la Capa MAC de DOCSIS

El RFI DOCSIS v1.0 provee un protocolo de acceso basado en trama ethernet, administrado por la capa MAC. El enfoque de la arquitectura usada en el CMTS es de una única red LAN basada en ethernet, soportado sobre un único dominio broadcast, siendo un sistema del tipo reactivo (*best effort*), sin capacidad de implementación de políticas de calidad de servicio (QoS).

DOCSIS v 1.1 añade varios elementos importantes que pueden ser usados como base para el cumplimiento de la arquitectura de acceso abierto, tales como: capacidad para la clasificación de paquetes, soporte de políticas de calidad de servicio, implementación de múltiples colas de servicio por cada modem de cable; mejor soporte para servicio multicast y factibilidad para el uso de etiquetamiento de tramas con el protocolo IEEE 802.1p.

A continuación se realiza un estudio de cada uno de los aspectos involucrados en la arquitectura de acceso abierto y de la compatibilidad en la implementación de la capa MAC DOCSIS.

Requerimiento 1. Selección de Proveedor.

El suministro de acceso a alta velocidad a un sitio residencial o comercial, debe permitir al suscriptor elegir varios proveedores de servicio entre un grupo conformado por un número razonable de ellos, de acuerdo a los requerimientos de servicio que desee hacer uso el suscriptor (video, voz y datos).

La multiplexación de la capa MAC permitiría a múltiples proveedores de servicio acceder y compartir los canales de datos tanto de descenso como retorno. La capacidad de multiplexación en la capa MAC puede ser implementada usando el etiquetamiento para VLAN (especificación IEEE 802.1p) o a través de la explotación de las fortalezas de multiplexación que otorga la implementación de ATM. Aunque DOCSIS v1.1 y DOCSIS v2.0 reconoce la existencia del etiquetamiento IEEE 802.1p, omite cualquier especificación o requerimiento para el soporte de operación con VLAN entre el CM y el CMTS.

Requerimiento 2. Múltiples Proveedores.

Requerimiento extendido 1, para el soporte de múltiples proveedores de servicios, dispositivos de banda ancha (Ej.: modem de cable) y facilidades que deberán permitir a un subscriptor ser servido por múltiples proveedores a la vez.

La arquitectura DOCSIS contempla en principio un único proveedor de servicio en la capa MAC. Con la asimilación de la especificación IEEE 802.1p en DOCSIS, la extensión a múltiples proveedores de servicio sería factible. En cuanto al problema de la posible rápida escasez del espacio de etiquetas VLAN, este punto podría ser solventado a través del refuerzo del soporte para ATM en las especificaciones DOCSIS.

Requerimiento 3. Habilidad para Proveer.

Un proveedor de servicio deberá estar técnicamente capacitado para ofrecer servicios a sus clientes a través de cualquier acceso de banda ancha. Actualmente esta entrega del servicio será dependiente de un número de factores, incluyendo back-end de la red de acceso, disponibilidad de acceso físico a la red, tarifas, QoS necesarios, concesión de derechos, acuerdos de honorarios y otros.

DOCSIS está diseñado para proveer una infraestructura para el suministro de acceso banda ancha, basado en un esquema centralizado de administración de recursos de la red. Si bien no especifica el algoritmo bajo el cual se debe basar ésta función, si suministra las características que deben contener el algoritmo para garantizar que el mismo se ejecute de forma apropiada acorde a las especificaciones DOCSIS.

En cuanto a la disponibilidad de acceso físico, DOCSIS referencia el soporte de sus especificaciones bajo una estructura de capa física sustentada en los esquemas iniciales de redes HFC para televisión por cable (CATV), el estudio de la factibilidad y especificaciones de la red HFC para su uso no concierne a las especificaciones DOCSIS.

Con respecto a los estudios de los casos de negociación para establecer la factibilidad económica, establecimientos de acuerdos de tarifa en la red, honorarios, derechos de concesión y otros, no se contempla en las especificaciones DOCSIS. El único punto en particular que si forma parte de DOCSIS es la capacidad de manejar acuerdos de calidad de servicio con el cliente (SLAs), ofreciendo soporte con respecto a la administración centralizada, dinámica y estática de los parámetros de QoS.

Requerimiento 4. Asignación de Tasa de Datos.

La red de banda ancha debe permitir que los operadores de red tengan suficiente control sobre la disponibilidad y asignación de ancho de banda a los suscriptores y proveedores de servicio, de acuerdo a las relaciones previamente establecidas entre ambas partes, así como la previsión de poder aceptar asignaciones adicionales de ancho de banda conservando y respetando los niveles ofrecidos.

DOCSIS especifica claramente los mecanismos de asignación de ancho de banda. Para esto define una gestión de asignaciones soportada en el mensaje Mapa y los elementos de información relacionados (IEs). Los IEs permiten parametrizar todo lo concerniente al proceso de concesiones, solicitudes, escalamientos y otros recursos que aseguran la debida gestión del espectro RF en el cual están soportados los canales de retorno. La definición de los *clasificadores* dentro de las especificaciones DOCSIS, también forma parte de los procesos que garantizan un cumplimiento de los acuerdos establecidos para el suministro de recursos de banda a los suscriptores.

Requerimiento 5. Calidad de Servicio.

La red de acceso de banda ancha debe soportar atributos de QoS para servicios específicos (Ej.:retardos, jitter, tasa de errores, etc.), el cual debe estar de acuerdo a la necesidad de servicios del suscriptor. Los niveles de QoS ofrecidos deberían ser provisionados estáticamente o dinámicamente.

Como se mencionó en el requerimiento 4, DOCSIS tiene especificaciones sobre los recursos que se deben utilizar para garantizar la correcta administración de la calidad de servicio ofrecida al suscriptor. Esta es soportada sobre la definición de dos conceptos básicos: flujo de servicio y clasificadores.

Para la administración del flujo de servicio se crearon otras definiciones que dan apoyo a la gestión, facilitando la ejecución de las tareas de reservación de recursos, tales como: clases de servicios, autorización y planificación de servicios.

La planificación de servicios es uno de los más importantes, ya que da origen a la creación de los servicios básicos para UGS, rtPS, UGS, AD, nrtPS, BE, quienes al combinarse apropiadamente originan a su vez otros servicios relevantes tales como el CIR.

Requerimiento 6. Contención del Suscriptor.

La red acceso de banda ancha debe contener y limitar a los suscriptores abusivos, esto es, un suscriptor con un servicio, no debería ser capaz de interferir con los servicios provistos a otros suscriptores.

DOCSIS establece módulos de autenticación y autorización para la identificación univoca de sus suscriptores y control de los servicios autorizados, evitando posibles interferencias de recursos de la red entre suscriptores. Las especificaciones BPI+ y RFI (modulo de administración de calidad de servicio) soportan los procesos correspondientes de autenticación y autorización de los recursos a los cuales el suscriptor tiene derecho.

Requerimiento 7. Contención del Proveedor.

La red de acceso de banda ancha debe contener y limitar a los proveedores de servicio abusivos, esto es, el servicio ofrecido por un proveedor no debería ser capaz de interferir con otros servicios o con servicios de otros suscriptores.

En cuanto al requerimiento 7, DOCSIS no establece especificaciones al respecto.

Requerimiento 8. Privacidad en la Red de Acceso.

En el caso de medios compartidos, se presenta la necesidad de encriptar los datos de los usuarios que comparten el medio de físico de transporte, con la finalidad de evitar intrusiones entre suscriptores y/o agentes externos. Se busca realizar la encriptación a nivel de la capa de enlaces de datos, y el objetivo no es una solución end-to-end, sino por el contrario, encriptación solamente en el medio de acceso compartido, típico de los sistemas de modem de cable e inalámbricos.

DOCSIS especifica los procesos relacionados a los mecanismos para privacidad en el documento SP-BPI+-I09-020830. Estos mecanismos se soportan con el protocolo de gestión de privacidad BPKM en el cual se desarrollan modelos de máquinas de estado que controlan los procesos de gestión de las claves criptográficas y por ende todo lo relacionado a la asignación, distribución y procesos de actualización de las mismas. Los métodos están claramente definidos y ofrecen la capacidad de modificar las opciones de encriptamiento por futuras alternativas que ayuden a robustecer la privacidad. El proceso de encriptación de los datos es soportado como una opción entre el suscriptor y el proveedor de servicio.

Requerimiento 9. Preservación del Contenido del Usuario.

El contenido de la información en los paquetes enviados entre el suscriptor y el proveedor de servicio, no deben sufrir ningún tipo de modificación o alteración, excepto por los definidos en los protocolos y operación estándar de equipos gateways Internet y enrutadores.

En el RFI DOCSIS v2.0, las tramas ethernet no son alteradas por la capa MAC durante el intercambio de paquetes entre el CM y el CMTS. Si el CM o el CMTS ejecutan enrutamiento IP, las tramas ethernet intercambiadas serán alteradas o descartadas, pero los

datos ethernet no serán afectados. Estas operaciones son normales para switch ethernet y enrutadores IP. Así, aunque los datos contenidos dentro del paquete IP están inalterados, el encabezado del paquete IP puede experimentar cambios.

Requerimiento 10. Gestión de Direccionamiento del Proveedor.

El manejo de direccionamiento usado por los servicios (Ej.: direcciones IP, número telefónico para paquetes de voz, VCI ATM, etc.), deberán ser gestionados por el Proveedor del Servicio y no por el Proveedor de la Red de Acceso de Banda Ancha.

DOCSIS no realiza especificaciones de ningún tipo en cuanto al manejo de direccionamiento por parte del proveedor de la red de acceso banda ancha, en este sentido se entiende que la administración de estos servicios puede ser manejado en principio por el proveedor del servicio.

Requerimiento 11. Gestión sobre el Subscriptor.

El subscriptor debe tener el respaldo de su Proveedor de Servicio, para soporte técnico en la solución de problemas presentados en el servicio de acceso. El Proveedor de Servicio deberá responder de forma efectiva a través de la interacción con el Proveedor de la Red de Acceso, para determinar lugar de falla entre la red del Proveedor de Servicio y el punto de demarcación del servicio del lado del cliente, conformado por la premisa del usuario (CPE). Esto involucra control total sobre la gestión de la red de acceso hasta el CPE.

DOCSIS especifica el soporte de variables MIBs para establecer la gestión remota de los dispositivos que conforman la red de acceso. El soporte MIB debe cooperar en el proceso de detección, diagnóstico y corrección remota de averías presentado en la red, permitiendo a un proveedor de servicio la posibilidad de mantener monitoreo y control constante sobre la plataforma. El soporte de operaciones para la gestión está especificado en el documento de SP-OSSIV2-0-i03-021218 (Especificación de la Interfaz para el Sistema de Soporte de Operaciones). Una aplicación correcta de estos recursos y una estructura procedimentada de

atención de fallas por parte del proveedor de servicio facilitará el cumplimiento del requerimiento 11. La especificación no sólo documenta el soporte MIB para DOCSIS de acuerdo a los estándares IETF para dispositivos de cable e interfaces RFI, sino que también especifica la capacidad para el soporte de otras herramientas de gestión de soporte basados en protocolos diferentes a SNMP, como ping (ICMP echo y echo reply) y traceroute. También se definen entre otros puntos: niveles de criticidad de alarmas, generación de traps, capacidad de logs de eventos. Como punto relevante es que las variables contenidas no sólo son para el soporte de eventos de disponibilidad, sino también sobre evaluación de rendimiento en la red de acceso y configuración de los elementos (CM y CMTS).

Requerimiento 12. Servicios IP sin Restricción.

El subscriptor debe tener la libertad de poder realizar uso del servicio de intercambio de paquetes IP desde su premisa, hacia cualquier destino en Internet, a través de su red de acceso, sin tener ningún tipo de limitación introducida por la red de acceso o por el Proveedor de Servicio. Toda alteración del paquete, que no estén estipuladas dentro de los protocolos estándares del manejo de enrutadores es prohibida.

DOCSIS no especifica ningún tipo de restricción, manejo o alteración de los paquetes en la capa III del modelo ISO.

IV.2 EVALUACION DE DOCSIS BAJO EL ESQUEMA INFRAESTRUCTURA GLOBAL DE INFORMACIÓN. RECOMENDACIONES LTA (LONG-TERM ARCHITECTURE)

IV.2.1 Introducción

Como parte del estudio de la implementación de la tecnología de acceso de modem por cable basada en DOCSIS y su factibilidad de permanencia en el mercado de las telecomunicaciones, es importante hacer una breve mención sobre los estudios realizados por la ITU con relación a lo que se denomina como LTA (Long-Term Architecture). El LTA tiene sus principios en lo que se conoce como GII (Global Information Infrastructure).

IV.2.2 Ubicación Funcional de la Red de Acceso en los Servicios Multimedia Bajo El LTA

La arquitectura de red multimedia establecida por el LTA, consiste de 4 dominios:

1. - Equipos terminal.
2. - Red de acceso.
3. – Red core.
4. - Servicios de aplicaciones.

El dominio de la red de acceso contiene diferentes componentes que pueden estar basados en varias tecnologías de acceso actuales y futuras. Para comunicarse con estas redes de acceso, varios tipos de terminales son introducidos como parte del sistema de comunicación multimedia. Esto incluye desde equipos terminales móviles, hasta equipos terminales fijos con o sin módulos de identificación personal (UIM) para soportar servicios móviles personales, servicios específicos de operador y datos de la red del cliente.

IV.2.3 Evaluación de DOCSIS según los Criterios Establecidos en LTA

Requerimiento 1. Interoperatividad.

La arquitectura debe permitir que los componentes arquitectónicos puedan interoperar en diferentes administraciones, de una manera consistente para la correcta ejecución de los servicios.

DOCSIS mantiene interoperatividad de operación en lo que respecta al uso de los canales

de retorno entre las versiones 1.x, y 2.0, a través del uso del protocolo de capa física avanzada. Con relación a los servicios adicionales ofrecidos en cada actualización de versiones, DOCSIS mantiene también una compatibilidad básica bajo ciertas restricciones, que permite la coexistencia simultánea de versiones sin que implique un funcionamiento incorrecto de aquellos equipos que permanezcan en versiones anteriores a la última implementada.

Requerimiento 2. Reutilización de los Componentes Arquitectónicos.

La arquitectura debe ser capaz de tener componentes arquitectónicos reutilizables, ante la presencia de actualizaciones y creación de nuevos servicios o capacidades administrativas.

DOCSIS mantiene consistencia en la interoperatividad de operación entre las versiones 1.0, 1.1 y 2.0, permitiendo la agregación de servicios sin ocasionar incompatibilidad de funcionamiento simultáneo entre dispositivos de diferentes versiones. En cuanto a la reutilización de componentes arquitectónicos, la implementación de DOCSIS permite la factibilidad de reutilización de los componentes arquitectónicos provenientes de la arquitectura CATV (infraestructura de fibra/ coaxial).

Requerimiento 3. Ejecución Distribuida.

La arquitectura debe permitir la libre distribución de los componentes arquitectónicos a lo largo de los nodos del sistema, permitiendo transparencia en el procesamiento distribuido.

La ejecución distribuida es aplicable en DOCSIS en lo que respecta a los CMs, en vista que su relación con la cabecera (CMTS) es realizada a través de un sólo punto de agregación físico y lógico común que no mantiene relación única con un único CM, por lo que su portabilidad a diferentes puntos de acceso dentro del mismo dominio CMTS es factible. En cuanto al CMTS, al ser diseñado bajo una concepción de elemento centralizador de operaciones, su redistribución en los nodos del sistema no es aplicable.

Requerimiento 4. Servicios de Soporte.

La arquitectura debe de llegar mas allá de los tradicionales esquemas de soporte técnicos basados en la gestión del modelo de llamadas (Call Center).

En este sentido, DOCSIS contempla un modelo de gestión basado en SNMP, que puede permitir una implementación de monitoreo y control sobre el sistema. Las acciones reactivas, correctivas y preventivas estarían dados por la correcta implementación de los recursos de gestión SNMP proporcionados por las especificaciones DOCSIS. El requerimiento actual es similar al requerimiento “*Gestión sobre el Subscriptor*” para la arquitectura de acceso abierto, razón por al cual todos los puntos señalados anteriormente aplican también al presente requerimiento.

Requerimiento 5. Soporte de Administración.

La arquitectura debe permitir la coordinada administración de sus sistemas y de los componentes que la conforman, así como también, de los recursos de la red.

En DOCSIS el esquema de gestión del sistema de cable está centralizado en el CMTS el cual implementa un flujo de actividades para la administración de asignaciones de recursos disponibles bajo los esquemas de servicios dinámicos y estáticos, administración y control de QoS, aprovisionamiento de usuario, administración de seguridad y control de tráfico, entre otros.

Requerimiento 6. Calidad de Servicio y Privacidad.

La arquitectura debe ser capaz de establecer servicios de QoS, niveles de seguridad y duración de estos servicios específicos según solicitudes de los clientes.

En DOCSIS la calidad de servicio (QoS) está definida bajo un esquema de asignaciones de flujo de servicio a los CMs, que garantizan una apropiada asignación de recursos en función del esquema de tareas del CMTS y recursos disponibles en la red. El requerimiento

actual es similar al requerimiento 5 “*Calidad de Servicio*” para la arquitectura de acceso abierto, razón por la cual aplica las mismas reseñas realizadas anteriormente. También se recomienda en la especificación SP-OSSIV2-0-I03-021218 para OSS (operation system support), diferentes clases de servicios basados en la duración del tipo de tráfico ofrecido.

Con relación al nivel de seguridad, la misma se establece en el SP-BPI+-I09-020830 de DOCSIS, basado en la definición de máquinas de estado que controlan el proceso de autenticación y encriptación. El requerimiento actual es similar al requerimiento 8 “*Privacidad en la Red de Acceso*” de la arquitectura para acceso abierto, razón por la cual todas las reseñas realizadas anteriormente también aplican al requerimiento actual.

Requerimiento 7. Calidad del Servicio.

La arquitectura debe soportar un rango de requerimiento de rendimiento del servicio de acceso.

DOCSIS establece en el RFI un esquema de control periódico sobre la red en lo que respecta al uso correcto del espectro RF y niveles de distribución de potencia en el mismo, para garantizar que el medio no presente degradación de rendimiento. Estas operaciones son administradas por el CMTS, a través de mecanismos de gestión MAC de mantenimiento, usados para la constante revisión de los parámetros de funcionamiento de la red y posteriores ajustes en el caso de ser necesario.

También DOCSIS se soporta sólidamente sobre los recursos suministrados en la especificación SP-OSSIV2-0-I03-021218 para OSS (operation system support) en donde se definen los parámetros de medición utilizados de acuerdo a los estándares de la IETF para la medición de rendimiento de la plataforma. La información suministrada en la especificación mencionada, en conjunto con una debida implementación dentro de una consola centralizadora de eventos, permitiría un constante diagnóstico de la calidad del servicio que se ofreció al subscriptor.

Requerimiento 8. Escalabilidad.

La arquitectura debe permitir tanto el crecimiento de la red, como de los servicios ofrecidos. También debe lograr aumentar la capacidad de administración y gestión de los mismos en función del crecimiento presentado en todas las estructuras.

En DOCSIS el crecimiento de los servicios puede ser soportado en cierta medida. La limitación intrínseca impuesta por el ancho de banda disponible tanto de descenso como de retorno (heredado de los sistemas CATV), hace que su crecimiento continuo no sea una labor totalmente factible.

En cuanto al crecimiento arquitectónico de la red, el sistema DOCSIS se plantea sobre un esquema modular de dominios CMTS, con un sistema distribuido de CPEs cuyo factor de agregación máximo es calculado en función de lograr un uso óptimo de los recursos en el medio compartido. La escalabilidad requiere la implementación de nuevos módulos en la cabecera así como mayor penetración de fibra.

Requerimiento 9. Seguridad.

La arquitectura debe soportar los siguientes requerimientos de seguridad:

- 1. Autenticación y autorización de entidades envueltos en una interacción.*
- 2. Mutua identificación y autorización.*
- 3. Monitoreo de actividades de intrusiones en la red. Eso requiere resguardar la integridad, confidencialidad y la disponibilidad del sistema.*
- 4. Protección de la información almacenada, tanto desde el punto de vista de confidencialidad como la de integridad de la misma.*

En lo que respecta a los puntos 1 y 2, DOCSIS define el RFC de Baseline Privacy, el cual especifica los puntos concernientes a autenticación, encriptación y esquema de intercambio dinámico de claves de seguridad, bajo una estructura que permite flexibilidad en la

actualización de las recomendaciones en función de futuros reforzamientos deseados en el BPI+. Las reseñas realizadas en el requerimiento 8 “*Privacidad en la Red de Acceso*” para la arquitectura de acceso abierto, aplican al requerimiento actual.

Con respecto a los puntos 3 y 4, DOCSIS no establece ningún tipo de especificación al respecto.

IV.3 COMPARACION DE LA TECNOLOGIA DOCSIS Vrs xDSL

IV.3.1 Introducción a la Tecnología xDSL

La familia xDSL es un grupo tecnológico conformado por varias técnicas de accesos cuyo factor común es el uso de los lazos de par trenzado de cobre de la red telefónica pública, para dar acceso banda ancha a los usuarios. La familia tecnológica xDSL está conformada por dos grandes grupos, los que proporcionan la misma velocidad para el retorno y el descenso (acceso simétrico) y aquellas que proporcionan velocidad de ascenso y descenso diferentes (acceso asimétrico). La característica principal que resalta las técnicas de acceso asimétricas es su capacidad para suministrar altas velocidades de acceso a distancias mayores que las ofrecidas en las implementaciones de acceso simétricas. Entre las tecnologías simétricas de la familia xDSL se encuentran: HDSL, HDSL2, SDLS e IDSL.

La tecnología HDSL y HDSL2. (high bit rate DSL) operan a la velocidad de la portadora T1 (1,544 Mbps) americana y E1 europea (2,048 Mbps). El HDSL utiliza 2 pares de cobre para el suministro de un T1 con un alcance de lazo de 4.5 km. Para llegar a un E1, HDSL necesita 3 pares de cobre, con la misma distancia máxima. Debido a que el uso de más de un par de cobre de la última milla del usuario hace que la tecnología pierda su característica principal (que consiste en la utilización del par de cobre del usuario sin mayor extensiones o modificaciones), su uso no prosperó y fué rápidamente sustituido por la tecnología HDSL2, quien ejecuta las mismas funciones del HDSL pero con un sólo par trenzado.

La tecnología SDSL (single pair o symmetric DSL), tuvo su origen en un intento de corregir el problema de HDSL en lo que respecta al uso de más de un par trenzado, permitiendo velocidades de 768 kbps hasta una distancia de 3 km, no obstante, el tiempo de vida de SDSL caducó rápidamente al aparecer HDSL2.

La tecnología IDSL (ISDN-DSL) apareció posterior a las técnicas anteriormente mencionadas. Es una técnica de acceso basada en ISDN BRI, pero con la distinción que no hace uso de la red conmutada. IDSL utiliza un par de cobre y proporciona las mismas velocidades de acceso suministradas por ISDN BRI (dos canales 2B+D que operan a 144 kbps).

La familia xDSL está conformada por aquellas técnicas que proporcionan acceso asimétrico, siendo estas: ADSL, RADSL, CDSL y VDSL.

ADSL (asymmetric DSL), deja de lado las condiciones de establecer flujos simétricos de acceso y aprovecha la asimetría para proporcionar mayores velocidades en el descenso. ADSL se implementa sobre un par de cobre y puede proporcionar velocidades de descenso que van desde los 1,5 Mbps hasta 8 Mbps, y velocidades de retorno entre 16 kbps a 640 kbps. La distancia de alcance del lazo de cobre establece un máximo en el orden de 5,5 km.

RADSL (rate adaptive DSL), tuvo su origen durante la búsqueda de una solución para las primera versiones de ADSL que no permitían un ajuste dinámico de la velocidad de acceso. Las correcciones dinámicas eran necesarias en vista de la variación de los parámetros del medio de transmisión ocasionados por diversos agentes de ruido (la inclusión posterior de DMT corrige este punto). Actualmente ADSL proporciona la característica mencionada, razón por la cual la distinción con RADSL es sólo de origen histórico.

CDSL (consumer DSL) es una técnica muy parecida a ADSL pero con la diferencia que no

necesita un filtro en las premisas del usuario para realizar la división en los espectros de voz (telefonía) y datos, como actualmente se realiza en ADSL. Sin embargo, SDLS proporciona menores velocidades, estando en el orden de 1 Mbps para el descenso y de 16 kbps a 128 kbps para el retorno. El soporte de CDSL es realizado también a través de un par de cobre.

Por último la tecnología VDSL (very high-speed DSL), es el miembro más reciente de la familia xDSL y es el que proporciona las mayores velocidades de descenso y retorno. La velocidad de descenso va desde 13 Mbps hasta 52 Mbps y la de retorno en el orden de 1,5 Mbps a 6 Mbps. Las altas velocidades cobran su precio en una mayor disminución de la distancia del lazo de cobre, llegando a unas distancias de 300 a 1300 mts, lo cual tiene que ser compensado con la inclusión de nuevos elementos de red para incrementar su alcance, tal como lo es la inserción de fibra óptica.

IV.3.2 Introducción a la Tecnología ADSL

ADSL (asymmetric digital subscriber line), es una tecnología proveniente de la familia xDSL. Consiste en una serie de métodos para el transporte de datos sobre un par trenzado, que hacen uso de la basta infraestructura instalada de cobre para POTS. La tecnología ADSL requiere de considerable potencia, el cual normalmente incrementa costos y complejidad. Gran parte de esto es debido al hecho que los pares trenzados nunca fueron diseñados para transportar altas tasas de transmisión.

La tecnología ADSL está caracterizada por asimetría en la velocidad de transferencia entre el cliente y el ISP. La velocidad de descenso es aproximadamente 10 veces más alta que la velocidad de retorno, tomando valores desde 1 Mbps a 8 Mbps. La velocidad máxima de transferencia depende de la longitud y condiciones del lazo, el cual es determinada durante la inicialización del proceso de comunicación.

Varias organizaciones de estandarización poseen un papel importante en las especificaciones de ADSL. Dentro de estos comités tenemos:

- Comité T1: primer organismo de estandarización que se dedicó al estudio de la tecnología ADSL. Conformado por grupos del sector industrial creadores de estándares en norteamérica. Su estructura está basada en subcomités, de los cuales el subcomité T1E1 es el relacionado con xDSL. Este subcomité se divide a su vez en diferentes grupos de estudio, como el grupo T1E1.4 (asignado a acceso DSL), que maneja el desarrollo de los estándares para la capa física, incluyendo técnicas de transmisión y funcionalidad de interfaces. El grupo T1E1.4 desarrolló el estándar T1.413 para ADSL.
- Forum ADSL: es un grupo de participantes del sector industrial formado en 1994 para promover ADSL tanto a nivel de marketing como a nivel de nuevos avances técnicos no cubiertos por T1E1.4. El forum está dividido en varios grupos de trabajo en los que se tratan temas tales como: estudio de ADSL dentro de redes ATM, estudio de la evolución de redes implementadas en ADSL, mecanismos de gestión para ADSL, incluyendo el uso de variables MIBs, estudios de protocolos de prueba para redes ADSL, etc.
- ITU: a trabajado en muchos temas relacionados a ADSL de los cuales podemos mencionar: G.DMT, proyecto basado en T1.413; G.lite, proyecto relacionado a reducir la complejidad de la implementación de ADSL; G.test, proyecto dedicado al estudio de especificaciones para protocolos de prueba en tecnologías xDSL; G.OAM, proyecto para el estudio de especificaciones de operación, administración y mantenimiento de sistemas xDSL; G.HS, proyecto para definir protocolo handshaking de negociación de inicio entre modems ADSL.
- ETSI : Instituto Técnico Europeo de Estandarización, del cual el grupo TM6 es responsable por el desarrollo de estándares para xDSL incluyendo ADSL. La

cooperación en el T1E1.4 y el ETSI TM6 para el desarrollo de estándares ADSL es bastante común.

IV.3.3 Evaluación de DOCSIS versus xDSL

Existen fortalezas y debilidades en cada tecnología. Para que la presente comparación no entre en un discurso subjetivo es necesario catalogar dichas debilidades y fortalezas en función de la capacidad que tiene cada una de las tecnologías involucradas en ofrecer servicios que se consideran básicos en una red de acceso banda ancha. En lo que respecta a la expectativa final del usuario o subscriptor, para él es irrelevante la tecnología subyacente en la solución (si el servicio es ATM o código Morse, le da lo mismo). Para el usuario final, es el servicio y la habilidad para ejecutar las aplicaciones ofrecidas, el único problema de su interés. Con esta premisa, primero se identificará los servicios relevantes a ser ofrecidos por un proveedor de servicio, los cuales posteriormente se utilizarán como elementos de medición. Igualmente la evaluación estará enfocada principalmente a la tecnología ADSL por ser esta una de las técnicas con mayor difusión en el ámbito actual de las redes de acceso banda ancha en el país.

Entre los servicios básicos considerados relevantes, que en principio deberían ser ofrecidos por un proveedor de servicios, se encuentra:

- Servicio de banda ancha.
- Broadcast, entretenimiento en una vía o sentido.
- Telefonía (wireline o wireless).
- Video digital en demanda (VOD) o video digital no en demanda (NVOD).
- Trabajo desde el hogar (teletrabajo).
- Comercio desde el hogar (E-commerce).

En función de estas pautas se establecen los siguiente parámetros de comparación:

Capacidad

- **DOCSIS.** Un usuario con modem DOCSIS, en general hace uso compartido de un canal de descenso en el orden de 30 Mbps. Este ancho de banda es distribuido entre 500 a 2000 usuarios. Con la apropiada ingeniería de tráfico, las aplicaciones pueden ser ejecutadas sin mayor degradación del servicio. Para el tramo de retorno, el ancho de banda compartido es aproximadamente de 2 Mbps. Nuevamente, no debería presentar mayor degradación en el servicio para todas las aplicaciones del tipo asimétrico, si se establece una apropiada ingeniería de tráfico en la red. Es importante destacar que la capacidad de la red DOCSIS se ve altamente afectada por la presencia de ruido en la red HFC, el cual presenta un 90% de los problemas de ruido en la red coaxial, como los son los ocasionados por ruidos impulsivos, efecto embudo en el canal de retorno (funneling), etc.
- **xDSL.** El modem xDSL opera en una implementación punto a punto. El ancho de banda de descenso no es distribuido, pero la tasa de bits varia dependiendo de la calidad de la línea de cobre y la distancia terminal. Para el caso de ADSL la tasa de descenso puede variar desde 1,5 Mbps hasta 8 Mbps. A menos que un suscriptor resida en áreas rurales, la gran mayoría cae en la categoría de 6 Mbps. El modem ADSL puede adaptar dinámicamente su ancho de banda en función del comportamiento del medio aun durante el proceso de la llamada. Para el retorno, el medio tampoco es compartido y puede variar en los rangos de 16 kbps hasta 640 kbps. Para todas las aplicaciones del tipo asimétrico, ADSL puede ejecutarlas sin ningún tipo de degradación del servicio. Al igual que en el sistema de modem de cable de DOCSIS, la capacidad del canal está altamente afectada por factores de ruido (Ej.: diafonías NEXT y FEXT). En el caso de VDSL podemos encontrar velocidades en el orden de 52Mbps.

Tasa de transmisión

- **DOCSIS.** A largo plazo, el modem DOCSIS exhibirá deterioro del servicio si un número relativamente grande de usuarios intentan transmitir simultáneamente, lo que requerirá ingeniería de tráfico más a menudo. Esto puede solventarse en principio, a través de la reasignación de suscriptores a canales menos congestionados. La opción de añadir mayor cantidad de canales de retorno y descenso es técnicamente factible, pero bastante costoso. Los amplificadores para la red HFC necesitan ser remplazados o por lo menos modificados. El modem de cable puede también que tenga que ser reemplazado si las nuevas frecuencia de operación, no son soportadas por el modem DOCSIS actual.
- **xDSL.** En el modem xDSL la tasa de bits está totalmente dedicada a un único usuario. La limitación en la banda de retorno podría ser un problema si las aplicaciones de video telefonía comienzan a ser más populares. Las tasas de bits variables (MPEG2) y las tecnologías avanzadas en compresión de video podrían poner a salvo a xDSL, siempre y cuando el usuario no exija alta calidad de video. En el caso de ADSL, el nodo de acceso es también un multiplexor. Mientras más y más tráfico es añadido, una reingeniería del tráfico tiene que ser realizada sobre el troncal. Un troncal de gran capacidad, extendido desde el nodo de acceso hasta la red, necesitará ser implementado para soportar nuevos incrementos de carga. Los incrementos de un E1 a un E3 e inclusive a un STM1, son implementaciones comunes de actualización sobre la capacidad de la red.

Tanto el modem DOCSIS como el ADSL pueden sobrevivir a futuras exigencias de aplicaciones asimétricas con aceptable rendimiento. Para el modem DOCSIS, se exige una mayor e intensiva labor de ingeniería de tráfico para su actualización.

Escalabilidad

- **DOCSIS.** La suscripción y el uso del servicio de retorno sólo se puede realizar,

después que se halla actualizado la red entera de cable a una red HFC bidireccional. En lo respecta al crecimiento, el mismo necesita incremento del número de CMTS, mayor penetración de fibra óptica en la red, incremento de tarjetas RF y factibilidad de aumentar el espectro RF del sistema.

- **xDSL.** xDSL es más escalable. Un operador puede proveer servicio a cualquier cliente con acceso de par de cobre, sin importar su ubicación geográfica (exceptuando las técnicas que necesitan añadir fibra en la última milla, como sucede en VDSL). En el caso ADSL, el cliente con acceso de par de cobre simplemente se moverá a una caja de acceso ADSL de la central telefónica (DSLAM en la central telefónica). Cuando existen suficientes personas con la necesidad de subscribirse al servicio, un nodo de acceso o DSLAM se hace justificable económicamente y es aplicable en el área. En el mercado actualmente existen DSLAMs con tarjetas modulares que pueden ir desde 10 puertos, para economizar y disminuir costos en la implementación inicial y dar oportunidad a una inversión continua y granular en función de las necesidades de crecimiento de acuerdo a la demanda (en este escenario el modem ADSL tiene ventaja sobre el modem DOCSIS). El crecimiento de la plataforma depende de la capacidad del DSLAM en la inserción de tarjetas con nuevos puertos (Ej.:actualmente se consiguen implementaciones de DSLAM con 120 puertos), capacidad de conectividad de DSLAM en cadenas (Ej.:en la actualidad se consiguen implementaciones con capacidad de encadenarse hasta 7 DSLAMs para llegar hasta 840 puertos) y disponibilidad de la red de transporte que hay detrás del DSLAM (troncales E1, STM1, etc.).

Rendimiento y Categorías de Servicio

- **DOCSIS.** Puede implementar las categorías de servicio tipo CBR y VBR con la apropiada ingeniería de tráfico. Aún no está totalmente definido como el servicio ABR podría ser ejecutado en DOCSIS. Si un servicio ABR es ejecutado por un CM, existe la posibilidad de que se cree un problema en la administración de los recursos

(ranuras) con el resto de los modems DOCSIS activos.

- **xDSL.** Al estar diseñado para el soporte de celdas ATM, puede operar con los servicios CBR, VBR y ABR sin ningún inconveniente. Para ABR, la conexión punto a punto evita que se presenten los limitantes observados en DOCSIS. El uso de la encapsulación PPPoA (point to point over ATM) en el modem ADSL, es un ejemplo de transmisión de celdas ATM directamente en la conexión del modem al DSLAM.

Seguridad

- **DOCSIS.** Al estar implementado en un medio compartido, el modem DOCSIS es más vulnerable a la intervención y violación de la privacidad. Todas las señales de los CMs van a través de una línea coaxial, incrementando la posibilidad de intervenciones en el medio. La encriptación y autenticación son parte importante del sistema DOCSIS. El mecanismo de privacidad usado para BPI+ es el modo CBC del algoritmo de encriptación DES, para encriptar el campo de datos del paquete MAC. Además hace uso de CBC DES y RSA para el intercambio de las claves.
- **xDSL.** Al ser xDSL una arquitectura punto a punto, las actividades de intervención no pueden ser posibles desde el hogar. Las líneas de cobre están tendidas bajo el piso, lo que da cierto nivel de seguridad. Una actividad de intervención requeriría introducción en los armarios de distribución o en algún tramo del tendido y establecer las configuraciones establecidas inicialmente en el modem xDSL.

Adaptación de Servicios para Voz y Video

- **DOCSIS.** El modem DOCSIS puede proveer servicio de voz. Si la funcionalidad POTS es desarrollada y soportada dentro de la lógica MAC, entonces ésta se puede añadir bajo la vulnerabilidad de la dependencia de la energía local. En cuanto a los servicios de video, la constitución intrínseca del sistema (construida sobre una red

CATV) da total capacidad para la transmisión de video de alta calidad sin problemas.

- **xDSL.** POTS sobre xDSL es provisto sobre la capa física. Durante la ausencia de energía local, la central telefónica puede proveer la corriente necesaria a la capa física para mantener la línea telefónica activa para la red POTS. Con relación al transporte de video, existen ciertas restricciones para el suministro del servicio de video de alta calidad.

Confiabilidad

- **DOCSIS.** El corte de un troncal en la red de cable donde se sustenta DOCSIS puede traer como consecuencia la caída parcial o total de los servicios suministrados a los usuarios. Igualmente, la inserción de ruido ocasionado por un transmisor defectuoso de un modem DOCSIS puede afectar a todos los usuarios que comparten el mismo medio. Una falla de amplificadores en la red HFC igualmente puede producir fallas masivas sobre el servicio. Otro problema relevante es que el ruido adicional insertado por cada uno de los usuarios es sumado y añadido al ruido total del sistema.
- **xDSL.** Al ser xDSL una tecnología con arquitectura punto a punto, las fallas en la última milla, afectará sólo a un usuario en particular. Igualmente la última milla no será afectada o degradada por el tráfico de otros usuarios accedendo a la red.

IV.3.3 Diferencias Técnicas de Implementación DOCSIS Vrs ADSL

A continuación se detalla brevemente, las principales diferencias en la implementación técnica entre la tecnología ADSL y DOCSIS.

Esquema de modulación

- **DOCSIS.** Modulación en descenso 64 QAM o 256 QAM. Modulación en retorno: 8 QAM, 16 QAM, 32 QAM, 64 QAM, 128 QAM y QPSK. Adicionalmente soporta 128 QAM TCM para S-CDMA.
- **ADSL.** Esquemas de modulación DMT como estándar según ANSI T1.513, e ITU G992.1 p G.DMT aunque los primeros dispositivos utilizaban CAP.

Ruido e interferencias de los sistemas

- **DOCSIS.** Ruidos de ingreso, modulación de amplitud HUM, ingreso de armónicos, ruido térmico, ruido impulsivo y distorsión de tramo común.
- **ADSL.** Crosstalk tipo NEXT (near-end crosstalk) y FEXT (far-end crosstalk). Ruidos del tipo impulsivos con valores típicos de 100 μ segs y picos aproximados de 10 milivoltios.

Estructura de transporte de datos

- **DOCSIS.** Se maneja el concepto de miniranas para el transporte de canales lógicos de retorno, soportados sobre los esquemas de acceso FDMA/TDMA y FDMA/TDMA/S-CDMA. Para el canal descendente se utiliza el esquema de transmisión MPEG.
- **ADSL.** Maneja el concepto de tramas, que se agrupan en conjuntos de 67 para conformar una supertrama. Las tramas son soportadas bajo el esquema de transmisión TDM para los modos de operación “sincronía de bit” y modo “adaptador de paquetes”. Para los modos de “paquetes punto a punto” y “ATM” se basan en el esquema de multiplexación de paquetes y celdas, correspondientemente. Existen cuatro canales para transmisión descendentes (AS0, AS1, AS2 y

AS3) y tres canales para transmisión bidireccional (LS0, LS1 y LS2).

Código de Corrección de Errores

- **DOCSIS.** Código de bloque cíclico Reed Solomon GF (256) con *codewords* desde 16 hasta 253 bytes. Polinomio generador $g(x) = (x + \alpha^0)(x + \alpha^1)\dots(x + \alpha^{2T-1})$ con $\alpha = 0x02$ hex. Polinomio primitivo $p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$
- **ADSL.** Código de bloque cíclico Reed Solomon GF (256), *codeword* típico 224 bytes.

Mecanismo de resolución de colisiones

- **DOCSIS.** Sistema de resolución de contenciones tipo *Backoff Exponencial Binario Truncado*.
- **ADSL.** Ninguno, ya que el medio de acceso es dedicado.

Asignación de ancho de banda

- **DOCSIS.** Esquema de asignación de ancho de banda basado en asignaciones dinámicas y estáticas de servicios. Se manejan los términos de flujo de servicio y clasificadores.
- **ADSL.** La misma es establecida de forma estática desde el proceso de registro inicial. No existen mecanismos de reservación dinámicas ya que el acceso es dedicado.

Espectros RF

- **DOCSIS.** Canales de 6 MHz. Espectros de 5 MHz a 42 MHz para retorno de datos, telefonía, gestión de red y pay-per-view. Espectro de 54 MHz hasta 350 MHz (TV analógica) y 350 MHz a 750 MHz para descenso (TV digital), 750 MHz a 1000

MHz (retorno adicional).

- **ADSL.** Canales de 4,3125 kHz en modelo DMT. Total de subcanales de 256 (hasta 1,1 MHz) del 1 al 6 reservado para banda dedicada de voz analógica. Del 6 en adelante para ADSL (desde 25 kHz) Posterior al canal 250 el nivel de atenuación impide su uso. Los canales de retorno son 32, empezando del número 7. Los canales descendentes son 250 con cancelación de eco o 218 con FDM.

Topologías físicas de implementación

- **DOCSIS.**
 - Capa de transporte físico: red de cable HFC.
 - Elementos de control y agregación: CMTS (head-end).
 - Elementos activos de red: amplificadores, nodos ópticos, nodos de distribución, extensores de línea y amplificadores de retorno.
 - Esquema de conectividad: punto-multipunto.

- **ADSL.**
 - Capa de transporte físico: planta de cobre telefónico (par cruzado telefónico).
 - Elementos de control y agregación: DSLAM.
 - Elementos activos de la red: ninguno.
 - Esquema de conectividad: punto a punto.

IV.3.4 Comparación de Costos

Los costos más fuertes involucrados en DOCSIS residen en la implementación de la red HFC. También se destaca que la construcción del modem DOCSIS es más costoso que un modem ADSL, en vista que el primero necesita atributos especiales para el soporte de seguridad, sintonizadores RF, implementación de potencia regulada, etc.

Por el otro lado la red ADSL toma el beneficio de la inserción del sistema dentro de la red de cobre de la red telefónica ya establecida. Lo que reduce los costos de implementación de última milla. El mayor peso en los costos reside en la agregación de DSLAMs adicionales, el cual es una función del número de usuarios y distribución geográfica del mismo.

Una forma relativa de comparar los costos de la implementación, es establecer un ejemplo de una solución de acceso banda ancha sobre un mismo sector geográfico y evaluar los recursos necesarios para la implementación bajo cada una de las tecnologías. El estudio siguiente da una visión del orden o magnitud de costos involucrados en cada solución.

IV.3.4.1 Costos asociados en la implementación DOCSIS

Esquema del Diseño

Se estudiará la implementación del esquema DOCSIS sustentado sobre una red HFC. En vista que los detalles del diseño de red HFC no conciernen al presente trabajo, se tomó como base para el estudio un diseño topológico ya realizado en uno de los nodos 9x de la red HFC de Net-Uno (ubicados en una urbanización de Caracas). Estos nodos están contruidos con un número UH (unidades habitacionales) de 2xxx para satisfacer la demanda UH promedio. Para el cálculo de costo se fijó un nodo con 2000 UH exactos. El esquema a implementar se realizó sobre un nodo compuesto de 16 áreas. Cada área está compuesta de 125 UH, siguiendo el estándar de agregación para conseguir un ancho de banda por CM de 336 kbps en retorno. La distancia entre el CMTS y el distribuidor de fibra es de aproximadamente 3000 km, para cumplir con las especificaciones de la máxima cantidad de amplificadores en cascada para el área 9x establecida por Net-Uno.

Los parámetros de diseño implementados en el desarrollo actual, están contenidos en la siguiente tabla:

Número de pelos de fibras por nodo de 2000 uh	8
Longitud de reservas de fibra (mts)	40
Distancia entre reservas de fibra (mts)	180
Ancho de banda del canal de bajada	54 MHz a 750 MHz
Ancho de banda del canal de subida	5 MHz a 42 MHz
Nivel mínimo a la salida de un dispositivo de toma de señal	17 dB @ 750 MHz 11 dB @ 54 MHz
Uso de dispositivos de toma de señal en las líneas troncales	NO
Amplificadores en cascada permitidos	5
Nivel de señal de tx(max.) De retorno en un dispositivo de toma de señal	54 dB
Pendiente negativa	< 3 dB
Pendiente salida dispositivo activo en canal de descenso	10 dB
Pendiente salida de dispositivo en canal de ascenso	0 dB

Tabla 1. Parámetros de diseño para redes HFC en Venezuela

Fuente: Guia Diseño Neptuno

Los requerimientos FCC que se utilizaron en la implementación de la red HFC por Net-Uno fueron los siguientes:

PARÁMETROS	REQUERIMIENTOS DE LA FCC (dB)
C/N	43
C/XMOD	51
C/DSO	51
C/CSO	51
C/DTO	51
C/CTB	51
IRC	47
HRC	47

Tabla 2. Requerimientos de la FCC

- **Lista de materiales sistema óptico**

La lista de materiales para el sistema óptico requerido en la implementación del nodo HFC

para la zona en estudio aparece en la siguiente tabla:

DISPOSITIVO	FABRICANTE	MODELO	CANTIDAD	COSTO U.S.D
FONS Optical Splitter	LUCENT	OSC 1T5F-2P5H, RIC72P-038	1	700,00
Patch Cord Cable	LUCENT	SC/PC TO SC/PC, LT1A- F/F	1	600,00
CABLE FIBRA ÓPTICA 16 Hilos (metros)	COMMSCOPE		3000	7.500,00
Empalmes de fusión			4	5,00
PHILIPS Forward RF amp. Module for Diamon Net node amplifier, 4 post amps., 750MHz forward Freq., 42/54 MHz band split. + conectores	PHILIPS	6-DNA497/34-42/54T, 9-DN/SC/I, 4-SC/APC-100, NOR-750/22-SC/APC,	1	400,00
Standard forward interface kit for Diamond Net optical stations	PHILIPS	NIFK	1	22,00
Philpips plug-in 1310 transmitter module, 45- 750 MHz, 10-14 mW	PHILIPS	712-TXSC/APC	1	6.300,00
Philips plug-in dual return module,1200-1600 nm, 5-200 MHz output	PHILIPS	2-RRX-SC/APC	1	1.000,00
TOTAL SISTEMA ÓPTICO				16.527,00

Tabla 3. Lista de materiales sistema óptico

Fuente: Implementación realizada por Net-Uno

- **Lista de materiales sistema coaxial**

La lista de materiales para el sistema coaxial requerida en la implementación del nodo HFC

para la zona en estudio aparece en la siguiente tabla:

DISPOSITIVO	FABRICANTE	MODELO	CANTIDAD	COSTO U.S.D
Divisores de Linea	PHILIPS	98XX	840	13.400,00
Directional Couplers 8	PHILIPS	9-TFC-8	52	1.850,00
Splitter	PHILIPS	9-TFC-4, 9-TFC-488, 9-TFC-777	3	3.000,00
TERMINADORES, Cables Coax 540" y 860" y conectores respect.	PHILIPS	GTR-M	N/A	41.300,00
Forward EQ, xdB	PHILIPS	6-2E750/xL	220	2.800,00
Attenuator X dB	PHILIPS	9-A-X	362	3.000,00
Cable Simulator, 750 MHz. X dB	PHILIPS	6-2E750/CXL	4	520,00
Return EQ, X dB	PHILIPS	5-E7108/XL	122	1.500,00
Philips Global Network Amplifier, 2 post amps., 34 dB gain, 5-40 MHz return, 54-750 MHz forward, 3 amp. Switched-mode power sup., 90 VAC powered amp.	PHILIPS	6-GNA397/33	14	6.600,00
Philips Global Network Amplifier, 3 post amps., 34 dB gain, 5-40 MHz return, 54-750 MHz forward, 3 amp. Switched-mode power sup., 90 VAC powered amp.	PHILIPS	6-GNA297/30	24	11.300,00
Philips Line Extender amplifier, 33 dB gain, 5-42 MHz ret., 54-750 MHz fwd, 90 VAC	PHILIPS	6-LE97/31	34	13.500,00
Philips Return Amplifier module, 5-40 MHz	PHILIPS	4-LER90 40/24	72	4.900,00

2-Way Splitter for Philips Amps	PHILIPS	7-DC-4-862-WC	10	130,00
8 dB Directional Coupler for Philips Amps	PHILIPS	7-DC-8-862-WC	5	65,00
TOTAL SISTEMA COAXIAL				103.865,00

Tabla 4. Listado materiales para el sistema coaxial

Fuente: Implementación realizada por Net-Uno

El costo total del sistema de transporte, el cual consiste de la suma de los costos de los sistemas óptico y coaxial son los siguientes:

TOTAL SISTEMA ÓPTICO (U.S.D.)	16.527,00
TOTAL SISTEMA COAXIAL (U.S.D.)	103.865,00
TOTAL SISTEMA HFC (U.S.D.)	120.392,00

Tabla 5. Costo total capa de transporte

Fuente: Implementación realizada por Net-Uno

- **Sistemas de control**

Los costos relacionados al sistema de control en la implementación del nodo HFC para la zona en estudio aparecen en la siguiente tabla:

DISPOSITIVO	FABRICANTE	MODELO	CANTIDAD	COSTO U.S.D
MODEM DOCSIS	CISCO	uBR7246VXR	2000	160.000,00
CMTS DOCSIS	CISCO	UBR 7114	1	23.000,00
Total Sistema de Control				183.000,00

Tabla 6. Costo Sistema de Control

Fuente: Cisco System

- **Sistema de energía**

Los costos relacionados al sistema de energía requerido en la implementación del nodo HFC para la zona en estudio aparecen en la siguiente tabla:

DISPOSITIVO	FABRICANTE	MODELO	CANTIDAD	TOTAL
15 Amps - Alpha Stand-by P.S.	ALPHA	XM9015NW	5	8.412,00
Pole/wall mount Enclosure		PWE-GY	5	1.438,00
Batteries (3 per supply)		ALGC12V1003A	15	1.725,00
Power Inserter, 1 GHz.15 Amp		SSP-PIK/5	5	219,00
Total Sistema de Energía				11.793,00

Tabla 7: Costos Sistema de Energía
Fuente: Implementación realizada por Net-Uno

Costo Total Implantación DOCSIS

El costo total de la implementación del sistema DOCSIS consiste de la sumatoria de los costos de la capa de transporte, sistema de control y sistema de energía. Los mismos aparecen sumariados en la siguiente tabla:

TOTAL SISTEMA HFC (U.S.D.)	120.392,00
TOTAL SISTEMA DE CONTROL (U.S.D.)	183.000,00
TOTAL SISTEMA DE ENERGÍA (U.S.D.)	11.793,00
TOTAL SISTEMA DOCSIS (U.S.D.)	315.185,00

Tabla 8. Costo total sistema DOCSIS

En este diseño sólo se tomaron en cuenta la etapa estrictamente de elementos de Control DOCSIS y la planta física requerida para ello, no obstante, se debe entender que para le

funcionamiento adecuado del sistema como un Proveedor de Servicios Internet integral, debe añadirse una etapa de datacenter compuesta de:

- Servidor DHCP
- Servidor TFTP
- Servidor Hora del DIA
- Servidor DNS
- Servidor WEB, etc.
- Backend de Routers y Swiching

Tampoco se han tomado en cuenta las hora/hombres involucradas en la instalación de la red de cable y el sistema de control, así como tampoco el costo incurrido en las actividades de construcción civil si fuese necesario producto del tendido de cables en las calles, cableado vertical edificios, etc.

Bajo estas condiciones el costo por UH en la implementación DOCSIS es de 158 USD. Se aclara que el mismo sólo es referencial y puede variar en función de varios factores, no obstante, el valor estimado es promedio y se ajusta en buena medida a las últimas implementaciones realizadas en la zona metropolitana de Caracas.

IV.3.4.2 Costos asociados a la implementación de la red ADSL

Para este diseño el análisis de costos se resume básicamente al cálculo de los dispositivos concentradores de acceso (DSLAM) y modems ADSL en vista que la capa de transporte es la red de cobre de la red POTS ya implementada en la telefonía metropolitana. El número de UH sobre la cual se establece el diseño es de 2000 UH, para establecer una comparación equitativa con la solución dada en la sección anterior de DOCSIS.

- Implementación ADSL opción A

Esta opción es calculada en función de la construcción de una solución técnica con dispositivos del proveedor Alcatel. Como base se tomó una propuesta técnica realizada ante

la unidad de Planificación y Desarrollo de la Red de Datos de CANTV.

Los dispositivos relacionados para la construcción del multiplexor de acceso ADSL, se ven en la siguiente tabla:

DISPOSITIVO	FABRICANTE	MODELO	CANTIDAD	COSTO U.S.D
DSLAM (384 puertos ADSL)	ALCATEL	ASAM 7300 High Density (HD)	5	-----
cable	ALCATEL	3EC16497 AA	5	45.827,00
HD/UD ACU	ALCATEL	3EC 16687 AA	5	4.220,00
HD/UD Extender board	ALCATEL	3EC 1635 AA	5	15.944,00
HD/UD SDH-NT STM1 Short Haul (S-1.1) 1310nm	ALCATEL	3EC 16452 AB	5	5.577,00
HD Line board ADSL/POTS	ALCATEL	3EC 16526 AA	160	221.754,00
HD Passive POTS splitter-600 ohm	ALCATEL	3EC 16574AB	160	47.725,00
CPE	ALCATEL	Manta	2000	180.000,00
Costo Total Implementación ADSL				521.000,00

Tabla 9. Costo implementación opción Alcatel

Fuente: Propuesta técnica proveedor Alcatel

- Implementación ADSL opción B

Esta opción es calculada en función de la construcción de una solución técnica con dispositivos del proveedor Cisco. Como base se tomó una propuesta técnica realizada ante la unidad de Planificación y Desarrollo de la Red de Datos de CANTV.

Los dispositivos relacionados para la construcción del multiplexor de acceso ADSL, se ven en la siguiente tabla:

DISPOSITIVO	FABRICANTE	MODELO	CANTIDAD	COSTO U.S.D
DSLAM (120 Puertos ADSL)	Cisco	Cisco 6260	17	45.336,00
Cisco 6200 Series DSL Access Cnccentrator IOS	Cisco	S62Z-12.0.8DA	816	24.398,00
DC Power Entry Module	Cisco	6260-1-PEM-DC	816	8.367,00
1 OC3/STM1 Wan, 1 OC3/STM1 Subtend,Single Mode	Cisco	NI-2-155SM- 155SM	816	18.382,00
4 Port DMT Issue 2 Line Card	Cisco	ATUC-4MT	17	9.775,00
1 E3 Wan,2x E3 Subtend	Cisco	NI-2-E32E3	17	45.336,00
Cisco 677 SOHO/Telecommuter ADSL Router Cisco xDSL Power Cord PE Microfilter,Inline, 3 Pack	Cisco	CISCO677 CAB-PS-XDSL-NA MF-INLINE-CPE- 3k	2000	354.000,00
Costo Total Implementación ADSL				460.258,00

Tabla 10. Costo implementación opción Cisco

Fuente: Propuesta técnica proveedor Cisco

En este diseño sólo se tomó en cuenta la etapa estrictamente de elementos de agregación xDSL La planta física requerida es la red de cobre ya existente perteneciente a la red POTS metropolitana, no obstante, se debe entender que para el funcionamiento adecuado del sistema como un proveedor de servicios Internet integral, debe añadirse una etapa de datacenter compuesta de:

- Servidor DHCP (Opcional de acuerdo a la implementación)
- Servidor TFTP
- Servidor DNS
- Servidor WEB, etc

-
- Backend de Routers y Swiching (LAC, NRP y NSP)

Tampoco se han tomado en cuenta las hora/hombres involucradas en la instalación de los equipos y sistema de control, así como tampoco el costo incurrido en las actividades de construcción civil si fuesen necesarios, producto del tendido de cableado estructurado e interconectividad con la red ATM con los concentradores de acceso DSLAM.

Los costos relacionados por UH para cada una de las soluciones se expresan en la siguiente tabla resumen:

Costos sistema DOCSIS por punto de acceso	Costos sistema ADSL por punto de acceso
167 \$	De 230 a 261 \$

Tabla 11. Comparación de los costos incurridos en cada una de las implementaciones DOCSIS vrs ADSL

Fuente: Creación propia

Nota: se recuerda que el capítulo presente toma sólo en consideración los costos involucrados en la implementación de la última milla, por lo que los costos del backbone o núcleo de la red no conciernen al análisis en cuestión, así como tampoco el backend de la red.

Finalmente, en los anexos se observará a manera referencial, una visión actual de los costos ofrecidos actualmente por los carriers más relevantes del país, tanto para la tecnología DOCSIS como para xDSL.

CONCLUSIONES

A continuación se realizará un análisis de los resultados obtenidos en los capítulos previos, resaltando las características más relevantes (debilidades y fortalezas) existentes en la tecnología de modem de cable DOCSIS.

Evaluación del Cumplimiento de las Recomendaciones de Acceso Abierto en la Capa Física de la Arquitectura DOCSIS

Para que la capa física cumpla con la arquitectura de acceso abierto, se requiere que el subscriptor tenga la opción de elegir entre múltiples proveedores de servicio (en la misma red de acceso). Las características heredadas de las primeras redes de televisión por cable (CATV), imponen ciertas restricciones debido a la disponibilidad limitada de ancho de banda destinada a la comunicación en retorno. La incorporación de nuevos métodos de aprovechamiento del ancho de banda y optimización de los recursos de los canales de retorno (capa física avanzada), permiten que parte de este requerimiento sea logrado en la versión DOCSIS v2. Por el otro lado, la imposición de la regulación FCC sobre la necesidad de centralizar la operación de la red de cable en un sólo operador de red, limitan los trabajos que DOCSIS pueda realizar para satisfacer la arquitectura de acceso abierto en la capa física.

Evaluación del Cumplimiento de las Recomendaciones de Acceso Abierto en la Capa MAC de la Arquitectura DOCSIS

El modem de cable DOCSIS v1.0 no provee una estructura suficientemente robusta en la capa MAC para el esquema de aprovisionamiento (reservación de recursos en la red) requerido en la arquitectura de acceso abierto. Por el contrario, DOCSIS v1.1 y DOCSIS v2.0 si satisface este punto y además ofrecen soportes adicionales que pueden ser explotados para cumplir con las recomendaciones de acceso abierto en la capa MAC. Es

importante destacar que aún no se define formalmente una solución de etiquetamiento en la capa MAC que permita y facilite el soporte del servicio banda ancha a través de múltiples proveedores de servicio.

El soporte para el manejo de celdas ATM es uno de los métodos recomendables para satisfacer los requerimientos de la arquitectura de acceso abierto en DOCSIS (tal como se demuestra en la experiencia obtenida con la tecnología ADSL). Aún no existen especificaciones para la implementación de un soporte robusto de ATM en DOCSIS.

Por último, el modelo DOCSIS define claramente los puntos concernientes al tratamiento de la privacidad y seguridad, administración de calidad de servicio (QoS), soporte para la gestión de fallas y gestión de recursos en la red, requerimientos que están presentes en las recomendaciones para la arquitectura de acceso abierto.

Evaluación del Cumplimiento de las Recomendaciones LTA en la Arquitectura DOCSIS

DOCSIS no define de forma suficientemente explícita la capacidad de ofrecer servicios de ejecución distribuida, así como también se observa ciertos problemas para la escalabilidad de la plataforma. La capacidad de escalabilidad es un factor relevante que define en gran medida el mercado al que estará destinada la tecnología de acceso, no obstante, en vista de las progresivas actualizaciones e innovaciones que se realizan en CableLabs para aumentar la capacidad de las redes de cable, posiblemente estos puntos sean soportados en versiones posteriores. El tema de la escalabilidad está también relacionado a la capacidad para el soporte y selección de múltiples proveedores de servicios en la red de cable, de esta manera, los puntos señalados para el cumplimiento de las recomendaciones de acceso abierto en este tema, aplican también para la discusión del cumplimiento del LTA.

Resultado de la Evaluación DOCSIS versus ADSL

El requerimiento de la capacidad y tasa de transmisión no establece ningún inconveniente

en ambas tecnologías siempre y cuando se haga uso de las debidas técnicas de ingeniería de tráfico. Es importante mencionar que la agregación continua de modems en la red de cable, tiende a degradar el medio físico en el sistema DOCSIS, a menos que se tomen las previsiones correspondientes (en el caso de ADSL no está presente este problema por ser una implementación física punto a punto).

La escalabilidad está entre uno de los temas en el que DOCSIS deberá realizar un mayor trabajo para robustecerlo, ya que a diferencia de la tecnología ADSL, el aumento de los usuarios en la plataforma podría estar relacionado a un notorio incremento de la capa física sustentada en HFC (tendido de fibra e inserción de nuevos componentes de control y comunicación adicionales), lo que podría establecer ciertas restricciones en virtud de los costos involucrados. En el caso de ADSL, la modularidad en la inserción de nuevos puertos en el DSLAM, así como la factibilidad de agregación de múltiples DSLAMs en cascada, pareciera hacerlo más flexible en el proceso de crecimiento de la red de acceso, por supuesto la misma también está sujeta a limitaciones, tales como: disponibilidad de la planta de cobre (par trenzado) en la zona, capacidad máxima de encadenamiento entre agregadores de acceso, disponibilidad de ancho de banda de los troncales que están interconectados en el backend de los DSLAMs, etc.

El requerimiento relacionado al rendimiento y calidad de servicio, están bien soportados en ambas tecnologías. Es importante resaltar que la naturaleza intrínseca de la tecnología ADSL para el soporte de celdas ATM, proporciona cierta predominancia en lo que se espera del manejo de la calidad de servicio (QoS).

La seguridad y privacidad es un tema de mayor relevancia en DOCSIS por la naturaleza del medio de transmisión compartido. Las especificaciones DOCSIS manejan y definen claramente esto y no se considera que exista alguna debilidad al respecto.

En cuanto al soporte de servicios de video en la red de acceso banda ancha, existe mayor

fortaleza en la tecnología DOCSIS sobre la ADSL, al estar la primera sustentada en las especificaciones del esquema de televisión por cable (CATV).

Por último, la confiabilidad es un problema que merece mayor atención en DOCSIS, ya que la última milla se soporta en troncales de fibra, haciéndolo más susceptible a fallas del tipo masivo (gran cantidad de usuarios afectados en un corte del canal de transporte).

Resultado Evaluación de Costos Involucrados en DOCSIS Vrs xDSL.

Los resultados permiten observar que la reutilización de un sistema tecnológico que haga uso de la arquitectura de capa física existente, no garantiza necesariamente una reducción de los costos en la implementación, ya que el resto de los dispositivos y elementos (tanto de control como de comunicación) que conforman el sistema pueden tener un porcentaje bastante apreciable en el costo total de la implementación.

Existen una serie de variables adicionales que pueden alterar de forma impredecible el balance a favor de alguna de las dos tecnologías (ADSL y DOCSIS) al momento de comparar costos, como son las estrategias de negocios establecidas por los grandes fabricantes y proveedores, que por lo general están relacionadas a reducción de precios lista de venta en el mercado a valores preferenciales en función de la cantidad de elementos involucrados en la compra o adquisición del producto, así como también de la estrategia y técnicas de penetración en el mercado de acceso local, que el proveedor desee implementar para darse a conocer.

En la selección de la tecnología no sólo se debería tomar en cuenta los costos relacionados a la implementación sino también todo el valor de los servicios agregados que se incluyen dentro de la plataforma tecnológica (escalabilidad, privacidad, facilidad de aprovisionamiento, capacidad de selección de multiprovedores, etc) ya que la carencia de alguno de ellos podría limitar la capacidad de cubrir posibles futuras demandas de nuevos servicios requeridos en el mercado de acceso, así como también, la necesidad de requerir posteriores

reinversiones para la actualización del sistema, a riesgo de quedar fuera del mercado al no satisfacer las demandas en un tiempo razonable.

RECOMENDACIONES

Se deben realizar algunos desarrollos adicionales en las especificaciones DOCSIS con la finalidad de cubrir ciertas debilidades encontradas durante el análisis y evaluaciones realizadas en los capítulos previos. Las mismas están orientadas a fortalecer la arquitectura DOCSIS, de tal manera de lograr cumplir con las características necesarias para una mejor adaptación a las futuras exigencias de nuevos servicios sobre la red de acceso de banda ancha.. Las recomendaciones se especifican a continuación:

1.- Añadir a las especificaciones un soporte formal para expandir el espacio de direccionamiento de la capa MAC, de tal manera de reforzar los futuros requerimientos relacionados a la necesidad de selección de múltiples proveedores de servicio por parte de los subscriptores.

2. - Extender la orientación inicial dada en las especificaciones para un soporte más robusto y explícito del transporte de celdas ATM, ayudando al cumplimiento de la recomendación anteriormente mencionada, ya que permitiría implementar un espacio de direccionamiento de características escalables.

3. - Integrar la capacidad de enrutador sobre el modem de cable, para fortalecer la recomendación no.1, al permitir incorporar capacidades avanzadas de enrutamiento que trabaje en función de la dirección IP origen, así como también, integrar soporte para establecimiento de canales virtuales o VPNs.

4. – Fortalecer el esquema de soporte de calidad de servicio (QoS) a través del manejo de ATM dentro de las especificaciones DOCSIS, en vista de la sólida experiencia que ya se tiene de su implementación con xDSL.

5. - Establecer alternativas para la utilización de rangos de frecuencia aún no usados en los

sistemas de televisión por cable (debido a que son zonas de alto nivel de ruido), fortaleciendo para esto las técnicas de modulación y acceso al medio implementados (reevaluación y optimización de la capa física avanzada implementada en DOCSIS v2).

GLOSARIO

Administrador de red: persona responsable de la configuración y la gestión de la red. El administrador generalmente configura la red, asigna contraseñas y permisos, y ayuda a los usuarios.

Agente: en SNMP, la información de los agentes está formada por comentarios acerca del usuario, la ubicación física de la computadora (ordenador) y los tipos de servicio, y se utiliza para generar informes de la configuración de la computadora.

Ascenso: dirección de transmisión desde el subscritor a la cabecera.

ATM: protocolo para la transmisión de una variedad de señales digitales usando celdas uniformes de 53 bytes.

Autenticación: validación de la información de inicio de sesión de un usuario.

Ancho de Banda: técnicamente es la diferencia en hertzios (Hz) entre la frecuencia más alta y la más baja de un canal de transmisión. Sin embargo este término se usa mucho más a menudo para definir la cantidad de datos que puede ser enviada en un período de tiempo determinado a través de un circuito de comunicación dado. Rango de frecuencias que deja pasar un circuito. Cuanto más alta es la velocidad de transmisión, mayores son los requerimientos de ancho de banda. Es una acepción común referirse al ancho de banda como el límite superior de la velocidad a la que se transfiere la información por la red.

Cabecera (Head-End): localidad central de una red de cable que es responsable por la inserción del video broadcast y otras señales en la dirección descendente.

Cabecera (header): parte inicial de un paquete, que precede a los datos propiamente dichos

y que contiene las direcciones de origen y destino, control de errores y otros campos. Los datos introducidos al principio de un paquete que contienen información de control. En un paquete TCP, la cabecera contiene el identificador de puerto, la suma de comprobación, el número de secuencia y otros datos.

Campo de información: contiene los datos del usuario y pueden ser tanto mensajes del protocolo de nivel más alto como información de la aplicación. Consiste en un número entero de octetos. Su tamaño máximo depende de la red, pero el Fórum de Frame Relay recomienda un tamaño por defecto de 1600 octetos. El contenido del campo de información es pasado sin ser alterado por la red y no es interpretado por en protocolo de Frame Relay en ninguna parte.

Canal: espectro de frecuencia ocupado por una señal. Camino entre emisor y un receptor que transporta una corriente de información (un camino de dos vías es un circuito).

CMCI : interfaz definida entre el CM y el CPE.

C/N: relación entre la potencia de la señal y la potencia del ruido.

Clasificadores: un conjunto de criterios usados para realizar comparación de paquetes de acuerdo a campos del tipo TCP, UDP, IP, LLC y /o 802.1 P/Q.

Componente de la capa de enlace: es el responsable de la correcta transmisión y entrega de paquetes a través de un enlace simple de comunicación. Si algún error ocurre dentro del paquete, el protocolo lo detecta e intenta recuperarlo. Otra función importante del protocolo de la capa de enlace es el control de flujo.

Componentes de la capa de red: esta parte contiene información que define el destino del paquete y asegura que una conexión extremo a extremo es llevada a cabo. El protocolo de

la capa de red es el encargado de establecer la conexión, transmitir los datos del usuario y liberar la transmisión.

Conmutación de paquetes (*packet switching*): paradigma de comunicaciones mediante el cual los paquetes (mensajes) son direccionados entre sistemas centrales, sin que exista una ruta (path) previamente definida. Técnica de transmisión que maximiza el uso de instalaciones de transmisión digital al transmitir paquetes de datos digitales de muchos clientes de forma simultánea por un único canal de comunicaciones.

CPE : Equipo en las premisas del usuario.

CRC: comprobación de redundancia cíclica. Valor numérico derivado de los bits en un mensaje. La estación trasmisora utiliza una o varias fórmulas para producir un número que se asocia al mensaje. La estación receptora aplica la misma fórmula y debería obtener el mismo número. Si el número no es el mismo se ha producido una condición de error.

Data (Datos): hechos, conceptos, instrucciones o caracteres representados de una manera apropiada para que sean comunicados, transmitidos o procesados por seres humanos o por medios automáticos y a los cuales se les asigna o se les puede asignar un significado.

Descenso: dirección de transmisión desde la cabecera al subscriptor.

Dirección Broadcast: es una dirección predefinida de destino, que denota el conjunto de todos los puntos de acceso del servicio de la red de datos.

DLL: capa 3 en la arquitectura ISO, que provee servicios de transferencia de datos sobre enlaces de comunicación entre sistemas abiertos.

DHCP: protocolo Internet usado para asignación de direccionamiento de la capa de red

(IP).

DOCSIS: Especificación de Interfaz de Servicio sobre Cable.

DSLAM : multiplexador que actúa como concentrador de acceso utilizado en xDSL.

Ethernet: cable de red y esquema de protocolo de acceso para LANs originalmente desarrollado por XEROX y en la actualidad comercializado por múltiples empresas del sector de las telecomunicaciones, tales como: Cisco System, Nortel Networks, 3Com, etc.

Hardware: equipos o dispositivos considerados en forma independiente de su capacidad o función, que conforman un computador o sus componentes periféricos, de manera que pueden incluir herramientas, implementos, instrumentos, conexiones, ensamblajes, componentes y partes.

Información: significado que el ser humano le asigna a los datos utilizando las convenciones conocidas y generalmente aceptadas.

ISO: Organización Internacionales para la Normalización. Fundada en 1946, es responsable de la creación de estándares internacionales en muchas áreas, incluyendo la informática y las comunicaciones.. Desarrolló el modelo de sistema de interconexión OSI.

Ráfaga (Burst): una señal RF continua desde un transmisor.

UIT: Organización de Naciones Unidas para el mantenimiento y la expansión internacional de la cooperación para la mejora y el uso racional de las telecomunicaciones de todas las clases.

LAN: Red de Área Local (Local Area Network), red de datos para servicio a un área geográfica máxima de unos pocos kilómetros cuadrados, por lo cual pueden optimizarse los

protocolos de la red para llegar a velocidades de transmisión superiores a los 100 Mbps.

Latencia: tiempo expresado en cantidad de símbolos, tomado por un elemento de señal para pasar a través de un dispositivo.

Modem de Cable: un modulador/demodulador en las localidad del subscriptor usado como elemento de comunicación de datos en el sistemas de televisión por cable.

Modulación HUM: modulación indeseada en las portadoras visuales de televisión a través de señales armónicas de bajo orden, tales como las originadas por fuentes eléctricas, entre otras.

MPEG : grupo voluntario el cual desarrolla estándares para gráficas digitales comprimidas de movimientos y audio asociado.

Nivel de Red: tercer nivel del modelo OSI que contiene las reglas y la lógica que determinan el camino a tomar por los datos que fluyen por una red.

Nivel de Transporte: cuarto nivel del modelo OSI. El software de este nivel comprueba la integridad y los formatos de los datos transportados por el nivel físico (1), gestionados por el nivel de datos (2), y quizás encaminados por el nivel de red.

Nivel físico: nivel más inferior del modelo OSI. Consta del cableado de red, el cable y el interfaz hardware que recibe y envía señales de la red.

NCTA: asociación voluntaria de operadores de televisión por cable el cual entre otras cosas, proveen guías sobre las medidas y objetivos de los sistemas de televisión en USA.

NTSC: comité el cual define el estándar para broadcast analógico a color usado en norte américa.

OSI: Open Systems Interconnection. Interconexión de Sistemas Abiertos. Conjuntos de protocolos diseñados por comités ISO con el propósito de convertirse en estándares internacionales de arquitectura de redes de computadores. Modelo de redes desarrollado por la ISO que divide las funciones de la red en siete niveles (físico, enlace, red, transporte, sesión, presentación y aplicación). Cada nivel se construye sobre los servicios proporcionados por los que están debajo de ella.

Proveedor de Servicio Internet: entidad que provee servicio de acceso a los subscriptores para el acceso a la red Internet.

Proveedor del Servicio de Cable: entidad que proporciona el carrier para que un proveedor de servicio pueda llegar a sus subscriptores y poder ofrecer sus servicios de banda ancha.

QAM : método de modulación digital de señales sobre portadoras de RF en el cual se usa la amplitud y la fase para en la codificación.

QPSK: un método de modulación de señal digital sobre señales RF que usa cuatro estados de fases para dos bits digitales.

Retraso en la Transmisión: este es el tiempo que tarda el paquete o trama en transitar en un enlace. Es medido desde la salida del primer bit desde del nodo de transmisión, hasta la recepción del último bit en el nodo de recepción. Este tiempo es proporcional a la longitud del paquete, a la velocidad de transmisión del enlace y a la longitud del enlace. Sin embargo, el retraso introducido por la longitud de la línea es normalmente ignorado.

Router (Enrutador): dispositivo similar a un puente que distribuye el tráfico entre redes. La decisión sobre a donde enviar se realiza en base a la información de nivel de red y tablas de direccionamiento. Da servicio a paquetes o tramas que contienen determinados protocolos. Los routers conectan LAN en el nivel de red del modelo OSI. Los routers

modernos manejan varias pilas de protocolos de forma simultánea y llevan paquetes o tramas a los enlaces adecuados para que lleguen a su destino.

Seguridad: condición que resulta del establecimiento y mantenimiento de medidas de protección, que garanticen un estado de inviolabilidad de las influencias o de actos hostiles específicos que puedan propiciar el acceso a los datos de personas no autorizadas, o que afecten la operatividad de las funciones de un sistema de computación.

Sistema: cualquier arreglo organizado de recursos y procedimientos diseñados para el uso de tecnologías de información, unidos y regulados por interacción o interdependencia para cumplir una serie de funciones específicas, así como la combinación de dos o más componentes interrelacionados, organizados en un paquete funcional, de manera que estén en capacidad de realizar una función operacional o satisfacer un requerimiento dentro de unas especificaciones previstas.

Sistema HFC: sistema bidireccional broadband que hace uso de fibra para la conexión entre la cabecera y los nodos de fibra y distribución coaxial de los nodos de fibra hasta las localidades del cliente.

Terminación del Sistema de Cable de Modem: elemento colocado en la cabecera del sistema de televisión por cable, el cual provee funcionalidades complementarias a los modems de cable para que puedan hacer uso de la red de datos banda ancha.

TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol): desarrollado por "Defense Advanced Research Projects Agency" en USA, es el protocolo básico de Internet o Intranet.

xDSL: conjunto de familias tecnológicas de acceso banda ancha que hacen uso de la plataforma de par trenzado de acceso de la red telefónica pública.

WAN: Red de Área Global (Wide Area Network). Tipo de red que conecta computadoras en

áreas potencialmente amplias, tales como ciudades, estados, países, continentes o el mundo entero.

ABREVIACIONES

ANSI: American National Standard Institute.
ATM: Asynchronous Transfer Mode.
RF: Radio Frequency.
CM: Cable Modem.
CMCI: Cable Modem to CPE Interface.
CMTS: Cable Modem Termination System.
C/N: Carrier to Noise Ratio.
CPE: Customer Premises Equipment.
DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol.
DLL: Data Link Layer.
DSLAM : Digital Subscriber Line Access Multiplexer.
DOCSIS : Data Over Cable Service Interface Specifications.
HFC: Hybrid Fiber /Coax.
ICMP: Internet Control Message Protocol.
IE: Information Elements.
IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers.
ITEF: Internet Engineering Task Force.
IGMP: Internet Group Management Protocol.
IP: Internet Protocol.
ISP: Internet Service Provider.
IUC: Interval Usage Code.
LLC: Logic Link Control.
MAC: Media Access Control.
MPEG: Moving Picture Expert Group.
NCTA: National Cable Television System Comité.
NTSC: National Television Systems Committee.
QAM : Quadrature Amplitude Modulation.
QPSK: Quadrature Phase-Shift Keying.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Laubach M.;Farber D.;Dukes S.“Delivering Internet Connections over Cable: Breaking the Access Barrier”.Jonh Wiley & Sons. Inc. Primera Edicion.

Azzam A.“High-Speed Cable Modems”. McGraw-Hill Series. Primera Edicion.

Rauschmayer D.“ADSL/VDSL Principles: A Practical and Precise Study of Asymmetric Digital Subscriber lines and Very High Speed Digital Subscriber Lines”. Macmillan Technology Series.Primera Edicion.

Goralshi W.“Tecnologias ADSL y xDSL”. McGraw-Hill Series. Primera Edicion

Abe G. “Residential Broadband: A comprehensive review of the technical, business, and regulatory challenges of high-speed residential networks”. Cisco Press.Segunda Edicion.

Fuentes de información proyecto de diseño de red HFC para Urb Metropolitana suministrados por Net-uno.

Fuentes de información proporcionada por Cantv Unidad de Planificación de la Red de Datos.

Fuente de información de costos de soluciones Acceso Residencial xDSL proporcionado por Alcatel /Newbridge.

Fuente de información de costos de soluciones Acceso Residencial xDSL y DOCSIS proporcionado por Cisco Solution.

Referencias Normativas suministrado por Cable Televisión Laboratories, Inc (CableLabs):

“Especificación DOCSIS Radio Frequency Interface Specification SP-RFIV2.0-I03-021218”

“Especificación DOCSIS Radio Frequency Interface Specification SP-RFIV1.1-I09-020830”

“Especificación DOCSIS Baseline Privacy Plus Interface Specification SP-BPI+-I09-020830”

“Especificación DOCSIS Operations Support System Interface Specification SP-OSSIV2.0-I03-021218”

APENDICE A

MODELOS DE CAPA FÍSICA PROPUESTOS PARA REDES DE MODEM DE CABLE

Modelo de Transporte Multitasa (Scientific Atlanta)

Breve reseña

El modelo de capa física de Scientific Atlanta utiliza una modulación del tipo QAM y corrección de errores FEC con Red-Solomon (RS-FEC). Scientific Atlanta desarrolló el sistema MRT (multirate-rate transport) para la entrega de video digital en redes híbridas de fibra/coaxial (HFC). La especificación de este sistema de capa física fue realizada previa a la adopción de sistemas similares en estándares reconocidos tales como: DVB (Digital Video Broadcasting Project) y DAVIC (Digital Audio-Visual Council). El SA-MRT define los requerimientos para aleatorización de datos, entrelazado (interleaving), corrección de errores, formato de modulación y transmisión.

El SA-MRT incluye modulación 64 y 256 QAM con un 20% de BW en canales de 6 MHz. La tasa de transmisión resultante son 30 Mbps para 64 QAM y 40 Mbps para 256 QAM. DVB incluye 16, 32, 64 QAM con un 15% de exceso de ancho de banda en los canales de 6 MHz y 8 MHz.

Con relación a Reed-Solomon, el mismo es implementado en el SA-MRT y adoptado por DVB y DAVIC. En todos estos tres casos, el RS es (188,204) con $t=8$. La carga útil de $N=188$ es equivalente a un paquete de transporte MPEG2. La ganancia de código con RS $t=8$ es aproximadamente 4.8 dB a 1×10^{-9} .

Otros detalles técnico relevantes

La transmisión en descenso se realiza a través de los esquemas de QAM y MRT (multirate framing structure). La modulación QAM se especificó debido a sus características de desempeño con respecto a la eficiencia espectral. Se definen dos niveles de modulación: 64 QAM y 256 QAM.

Trama de transporte MRT

La trama de transporte MRT utiliza la combinación de FEC con Reed Solomon (RS-FEC) y entrelazado (interleaving) de doble byte para soportar tanto los errores del tipo aleatorio como los del tipo ráfaga.

Formato del paquete MRT de datos

El campo de datos se codifica usando el algoritmo Reed Solomon para generar el campo de paridad. Al paquete de datos resultante se le aplica un entrelazado de doble byte y posteriormente se inserta dentro de la carga útil del paquete MRT. A esta carga útil se le

aplica posteriormente aleatoriedad a través del patrón de ceros generados por el LFSR.

Paridad Reed-Solomon

Es una subclase del código no binario BCH (Bose, Chaudhuri y Hocquenghem). La paridad de Reed Solomon es calculada sobre el campo de datos precedente. El código Reed Solomon usado para el calculo de paridad es: RS (N, N2t). El tipo de código de corrección de error Reed Solomon aplicado es $t=8$,RS (188,204) donde t es la capacidad de corrección de errores del código.

Función de entrelazado (interleaving)

El entrelazado es usado en conjunto con Reed Solomon para proveer protección contra errores del tipo ráfaga.

Modelo SDMT (Amati Communications)

Breve reseña

El modelo propuesto por Amati Communication está basado en una modulación del tipo DMT, involucrando 128 frecuencias en 32 subgrupos. La asignación de bits en cada banda de frecuencia varia entre 2 a 8 bits, en función del nivel de ruido. Los parámetros utilizados para el SDMT son:

Parámetros	Valor
Tasa de símbolo.	32 K baudios.
Separación de subportadora.	34.5 KHz.
Muestreo de datos por símbolo.	512.
Periodo de guarda	Aprox. 2 milisegundos.
Supertrama.	204 símbolos de datos + 3 símbolos de silencio.

Tabla A.1. Parámetros SDMT

Fuente: Albert Azzam (2002) *High-Speed Cable Modems*(p.165). Editorial McGraw-Hill.

Los overheads creados en el dominio del tiempo son dos y están ocasionados por el período de guarda por símbolo y un período de silencio por supertrama. El overhead generado es de 7.2 %.

Modelo Capa Física Basado en ATM (Alcatel Telecom)

Breve reseña

Alcatel Telecom propuso una construcción básica de bloques para la modulación y estructura de las tramas. La propuesta se alinea con las especificaciones de otros estándares (DVB, DAVIC, ETSI). En el modelo se asume que las aplicaciones sensibles al retardo se encuentran en canales de frecuencias distintos. Se soporta una tasa de transmisión de 41.7 Mbps con modulación 64 QAM y canales de 8 MHz o 6 MHz. Para el canal de retorno se soportan las tasas de 384 kbps, 1.536 Mbps y 3.072 Mbps. Alcatel Telecom propone adicionalmente una estructura de canal basado en dos opciones: sistemas HFC en banda y

sistema HFC fuera de banda.

Otros detalles técnicos adicionales

1. Estructura del canal en banda

Todo el flujo de datos en descenso concerniente a un suscriptor es llevado por un solo canal. La agrupación de todos los canales de descenso es referenciado como HFC-BB (HFC Broadband).

2. Estructura de canal fuera de banda

En el caso de sistemas fuera de banda, el transporte de datos es realizado en dos canales diferentes de descenso, uno denominado HFC-DS (típicamente de 3 Mbps en QPSK), el cual corresponde al canal de baja velocidad, y otro de alta velocidad denominado HFC-BB (valores típicos entre 30 Mbps a 45 Mbps en 64 QAM). Los diferentes flujos de datos para un usuario tienen diferente VPI/VCI. El tipo de datos incluidos en cada uno de estos canales de descenso está basado en el contenido.

Modelo INTRA (CORTEC)

Breve reseña

Modelo propuesto por CORTEC, basado en la transformación de la información en esquemas vectoriales, en el cual los conceptos de rotación y rotación inversa son aplicados para la definición de modulación y demodulación. El esquema de modulación utilizado es el de FM y la ganancia sobre el factor de señal/ruido es determinada por la ganancia de modulación, ganancia pre-énfasis y ganancia del proceso de compasión aplicada posterior a la modulación. Existen dos desarrollos teóricos: La teoría Intra Lineal y la No Lineal.

Otros detalles técnicos relevantes

o Teoría Intra Lineal:

Se implementa el esquema de coordenadas rotacionales sobre el banco de filtros banda base *multirate*. Un grupo de N muestras de la señal de información tratada por el modem a través del conversor A/D es visualizado como un sistema de coordenadas con un vector N-dimensional. Los datos son vistos como una representación vectorial del mismo vector pero proyectada sobre otro sistema de coordenadas.

El operador de modulación M rota la representación del vector de información desde el sistema de coordenadas para datos al sistema de coordenadas de señal. El operador D de demodulación rota el vector del conversor A/D atrás hacia el de datos. Luego como ocurre en los modems $[D][M] = [I]$, donde $[I]$ es el vector identidad. Asumiendo la capacidad rotacional, se permite entonces la propiedad de conmutación $[D][M] = [M][D] = [I]$.

Debido a que el proceso de modulación y demodulación son operadores conmutables en un modem tipo Intra, es posible enviar cualquier señal analógica limitada en banda a través de un demodulador para rotar estos a datos, luego encriptar digitalmente estos datos, y finalmente usar un modulador para rotar hacia atrás en una señal analógica. Esta

implementación permite la encriptación digital sin necesidad del incremento del ancho de banda.

Los filtros QMF (quadrature mirror filter) tienen matrices polifásicas conmutable de manera tal que pueden ejecutar el proceso de rotación. Los parámetros de solapamiento y *roll-off* para el diseño del filtro QMF son ajustados de tal manera que la propiedad de conmutación pueda existir en cualquier parte de la región en banda, asegurando operación óptima del modem.

○ *Teoría Intra No-Lineal.*

El modem FM es un ejemplo de mapeo no lineal de banda base a pasabanda, el cual tiene buena inmunidad a la respuesta al ruido tipo impulsivo y a la interferencia en banda angosta. Un modem FM INTRA puede tener ganancia en su receptor no coherente. Esta ganancia permite a un receptor FM poder usar más niveles o estados que un receptor AM, para la misma relación de señal/ruido y BER.

La ganancia en el modem FM proviene de varios factores. Uno de ellos es por la supresión o colapso de la distribución de banda inherente. Otro factor proviene del principio de que una amplificación banda-base no lineal (amp-log) en el transmisor, no tendrá efecto en la señal si existe también a su vez un receptor con atenuación de factor no lineal (log-inv). El ruido en el receptor puede ser atenuado, dando una mejora a la relación señal a ruido.

Por el otro lado cada modem puede ser capaz de sintonizar a cualquier canal de 6 MHz en la dirección deseada. El canal de retorno más bajo puede estar en el intervalo 5,75 MHz a 11,75 MHz.

Todos los modems son capaces de establecer lazos digitales y RF, ajustes de potencia, y medición de BER, en respuesta a comandos de gestión de red en el canal o en respuestas a la capa MAC. El uso de modem FM en canal de retorno de 6 MHz simplifica la estructura de la red de cable y elimina la necesidad de extensivas asignaciones de canales dinámicas debido al ingreso de sistemas “subsplit”.

Modelo QPSK Estándar para Canal de Retorno (Stanford Telecom)

Breve reseña

Stanford Telecom propuso el modelo QPSK estándar para el canal de retorno. El formato de la señalización incluye modulación diferencial y ráfagas con estructuras definidas de preámbulo.

Otros detalles técnicos

Parámetros	Valor
Tasa de bit para ráfaga	2.56 Mbps
Tasa de símbolo para ráfaga (R/2)	1.28 Mbps
Formato de modulación	QPSK

Conformación del pulso	RRC(Root Raised Cosine), rolloff $\alpha=0.4$
Duración del pulso	Truncado a 8 símbolos
Espaciamiento del canal	1.8 MHz
Eficiencia de transmisión	1.42 bps/Hz
Método de detección	Coherente
Longitud de ráfaga	1-80 bytes para una señal de reloj con precisión de 100 ppm 1-256 bytes para una señal de reloj con precisión de 30 ppm
Tiempo de guarda entre ráfagas	Nominal 10 símbolos, mínimo 3 símbolos
Longitud del preámbulo	28 bits
Bits de preámbulo	11 11 11 00 00 11 00 00 00 00 00 00 00
Codificación FEC	Aplicación específica, compatible con Reed Solomon
Control de potencia	Receptor mide potencia de la ráfaga, controlador ajusta potencia del suscriptor a través del enlace de descenso
Control de tiempo de ráfaga	Receptor mide el tiempo de llegada de la ráfaga, controlador ajusta temporización del suscriptor a través del enlace de descenso
Offset de frecuencia de portadora	± 10 kHz.
Resolución de sintonía de frecuencia de transmisión	25 kHz.
Rango del nivel de la señal de entrada para la adquisición	± 10 dB desde el nominal
Rango del nivel de la señal de entrada para la transmisión de datos	± 5 dB desde el nominal
Nivel de salida con transmisor apagado	60 dB por debajo del nivel de la portadora

Tabla A.2. Parámetros del modelo

Fuente: Albert Azzam (2002) *High-Speed Cable Modems*(p.186). Editorial McGraw-Hill.

Formato de trama:

Cada ráfaga consiste de un preámbulo y una carga útil. Existe un espacio (gap) entre ráfagas según los parámetros especificados en la tabla anterior.

Modelo de Espectro Disperso para Canal de Retorno (Zenith)

Breve reseña

Zenith propuso un modelo de capa física que utiliza el VSB (vestigial side-band) para la modulación del canal de descenso y modulación de secuencia directa de espectro disperso para el canal de retorno (DS-SS). DS-SS es un esquema de modulación eficiente para proveer CDMA en un medio físico compartido.

El uso de sistemas de espectro disperso optimiza la relación de señal a ruido del sistema. En CDMA la distribución de energía se realiza sobre el dominio del tiempo y la frecuencia. Cada transmisión de los usuarios es multiplicada por un único orto-vector de un espacio vectorial conformado por n-vectores. Los bits de datos son mapeados en pares hacia cualquiera de los cuatro puntos de la constelación del esquema de modulación QPSK; la salida es luego multiplicada por un vector código, quedando así ejecutado el proceso de equalización.

Otros aspectos técnicos relevantes

o *Arquitectura del Sistema*

Para el proceso de comunicación en retorno, se requiere primero acceso al modem descendente ubicado en el controlador de la cabecera (head-end) el cual gestiona la red de acceso. Para esto se utiliza un modem de alta velocidad de 16 VSB, bajo los estándares

ATSC (Doc. A/53-1995) e ITU (COM 9-R 6-E,1995).

Formato del paquete de datos de retorno

Los datos transmitidos en el canal de retorno están compuestos por dos bytes de preámbulo seguido por el encabezado y la carga útil. El paquete tiene 8 bytes de paridad Reed Solomon.

Proceso de transmisión en retorno

Dependiendo de cual de los ocho modos de modulación es seleccionado, el flujo de celda ATM es agrupado en bloques de información de 1, 2 o 9 celdas ATM.

Para soportar solicitudes automáticas de repetición (ARQ) en las capas superiores, un byte de identificación es añadido a cada bloque de información. Luego a este bloque de información se le es aplicado un proceso de aleatorización, y posteriormente FEC a través de Reed Solomon GF(256) el cual utiliza 8 bits por símbolo.

Las ráfagas TDMA contienen de una a dos palabras codificadas dependiendo del modo. Estas tramas son moduladas bajo el esquema QPSK o 16 QAM. La secuencia de símbolos es filtrada para una conformación espectral de 31,25 % SRRC (square-root-raised-cosine). El rango de operación de frecuencia se encuentra en el intervalo de 5 MHz a 40 MHz, este rango es dividido en intervalos de 25 kHz.

Modelo QAM/QPSK (General Instrument Corporation)

General Instrument propuso una modulación QAM para descenso y QPSK para retorno. En general se espera que la mayoría de las frecuencias en el rango de 5 MHz a 40 MHz en un sistema HFC, sea lo suficientemente bajo en lo que respecta a la interferencia por ruido y suficientemente alto para permitir una relación C/N satisfactoria para una modulación 16 QAM. La modulación QPSK tienen menor tasa de transferencia que el 16 QAM, pero es más robusto. Para ambos tipos de modulación, se propone tres velocidades de operación:

- Tasa baja de transferencia (133,33 kbaudio/seg).
- Tasa media de transferencia (266,67 kbaudio/seg).
- Tasa alta de transferencia (533,33 kbaudio/seg).

Modelo para Integración de ATM y STM en Redes HFC (Lucent Technologies)

Breve reseña

Los esquemas de TDM y FDM son usados para las tramas descendentes, y los esquemas TDMA y FDM son usados para las tramas en retorno. Las velocidades para el canal de descenso son de 7,68 Mbps y 2,56 Mbps para el retorno. El canal de descenso es

jerarquizado en tramas de 125 μ seg, multitramas de 2milisegundos y 8 milisegundos para supertramas. Los esquemas de modulación para el descenso pueden ser tanto QPSK sobre la banda de 6 MHz o QPSK en la banda de 3 MHz. El canal de retorno es modulado con QPSK en la banda de 1,8 MHz.

Otros aspectos técnicos adicionales

Formato de transmisión para canal descendente

Cada trama consiste de 960 bits sobre 125 μ seg. Las multitramas consisten de 16 tramas y las supertramas conformadas por 4 multitramas.

El tráfico STM puede ser ajustado en las tramas de 125 μ seg y multitramas de 2 milisegundos. El ajuste a tramas de 125 μ seg, permite disminuir la latencia a valores de retardo menores a 1,25 milisegundos para propósitos de uso de sistema de telefonía sobre redes HFC.

Un total de 8×10^2 bits son usados para transportar 6,528 Mbps de tráfico STM/ATM. Cuarenta bits son asignados para el canal de mensajes de 384 kbps. Todos los NIU reciben el mismo canal de mensaje común. Este canal es usado para llevar la gestión OMAP y mensajes de control de STM. Ochenta bits son asignados para llevar overhead de canales comunes de mensajes para control de conexión, control de potencia del canal de retorno, asignación de frecuencia de retorno, control de privacidad, etc. Por último 8 bits son asignados para llevar CRC en las tramas de descenso. El CRC es usado por el NIU para monitorear el rendimiento de la transmisión descendente.

Formato de transmisión para canal de retorno

La trama de retorno es organizada jerárquicamente como trama y supertrama. Cada trama consiste de 5120 bits sobre 2 milisegundos. Cada supertrama consiste de 4 tramas. Se utilizan bits como espaciado de guarda entre tramas, los cuales ya están incluidos en los 5120 bits.

La trama consiste de una sección para mensajes comunes y varias para tráfico ATM/STM. La sección para mensajes comunes es usada para llevar gestión OAMP, mensajes de control STM, etc. La sección para el tráfico SMT/ATM puede ser particionada para tráfico STM /ATM. Todas las ráfagas consisten de 10 bits de longitud colocados en ambos extremos de la ráfaga, 28 bits para preámbulo y una longitud variable para el contenido.

APÉNDICE B

MODELOS DE CAPA MAC PROPUESTOS PARA REDES DE MODEM DE CABLE

Protocolo Simple de Múltiple Acceso (Cabletron System Inc)

Aspectos técnicos relevantes

Estructura de la trama

La cabecera (head-end) continuamente transmite tramas a intervalos regulares. Durante la operación de inicio, una estación recibe la trama y establece sincronización. La trama de retorno es dividida dentro de ranuras de contención, reservación y disponibles.

Los paquetes MACs asumen como unidad básica de transmisión las celdas ATM. Cada ranura de tiempo es capaz de acomodar una celda incluyendo el overhead. Los paquetes originados desde la LAN deben ser segmentados a través de AAL5. Los paquete MACs pueden ser divididos en dos tipos: los que llevan datos (carga útil), y los paquetes de control entre el encabezado y la estación.

Los paquetes de control a su vez se subdividen en dos tipos básicos:

a.- Paquetes enviados desde una estación al encabezado. Estos son llamados mensajes de control de retorno e incluye la solicitud de inicialización y los mensajes de solicitud de término.

b.- Paquetes que son enviados desde la cabecera a la estación. Estos son los mensajes de control descendentes e incluyen una respuesta de inicialización, el comando de término y comandos especiales.

Principio de operación

Una estación para buscar su operabilidad debe adquirir sincronización a través de la observación de las marcas de tramas. Este es enviado en la ventana de contención y puede contener una solicitud para una asignación de ranuras. Cuando la cabecera recibe la trama de solicitud de inicialización, calcula el retardo de propagación desde la estación. La cabecera responde con un mensaje de respuesta de inicialización. Este tiene el valor del tiempo de propagación para la estación y las ranuras asignadas a la estación. El mensaje también puede indicar las ranuras libres que son definidas en la trama. Posterior a la respuesta al mensaje de inicialización enviada por la estación, la misma está lista para transmitir datos en las ranuras que le han sido asignadas. Cuando la estación solicita una reservación de ranuras y no hay disponibilidad de las mismas, la cabecera puede responder con un mensaje de *no-asignación* de ranuras a la estación. En este caso, la estación puede usar las ranuras libres, o esperar la asignación de una ranura reservada. Si no hay disponibilidad para la asignación de ranuras reservadas y no se han definidos ranuras libres, la estación debe esperar y enviar una solicitud otra vez hasta obtener el servicio.

Los mensajes de solicitud de inicialización son transmitidos durante la ventana de contención, y las mismas pueden experimentar colisiones, ocasionando que se corrompa el mensaje. Después de enviar la solicitud de inicialización, la estación espera durante un período de tiempo determinado. Si transcurrido este tiempo no es recibida una respuesta de inicialización desde la cabecera, se asume que la solicitud falló. La estación deberá esperar un número aleatorio de tramas dentro de un rango predefinido y retransmitir una solicitud nuevamente hasta obtener el resultado deseado.

El protocolo está basado en la capacidad de la estación de liberar la asignación de ranuras reservadas, cuando esta no tenga más datos que enviar. Una vez que la inicialización es completada, una estación puede transmitir datos en sus ranuras asignadas. La última ranura deberá contener unos mensajes de solicitud de término. Si la estación tiene una asignación indefinida de número de ranuras, este podrá transmitir datos tanto tiempo como lo requiera. Cuando la estación no tenga más datos que transmitir, puede enviar entonces un mensaje de solicitud de término.

Protocolo de Polling Basado en Proceso Pipeline (NEC)

Breve reseña

Los protocolos tradicionales basados en *polling* enfrentan un problema de retardo en la propagación, que los hacen poco aptos para su implementación en las redes de cable. El nuevo esquema denominado *Pipeline Polling* recibe las solicitudes desde todas las estaciones y basado en estas, la cabecera ejecutará asignaciones de canales a las estaciones correspondientes. Después que la cabecera realiza el *polling* en cada estación, procede a enviar datos e información relevante para la asignación de recursos. A diferencia de los procesos tradicionales de *polling*, la cabecera no esperará el fin de la transferencia de datos de la estación, en vez de esto, pasa a la siguiente estación (reduciendo los tiempo de retardos innecesarios).

El proceso de FFP se adapta sin problemas a requerimientos de tráfico tipo ráfaga como ABR. No obstante, no tiene mecanismos de asignación de ancho de banda para tráfico tipo CBR. Para el soporte de múltiples tráficos, algunas técnicas adicionales deben ser introducidas en el proceso de *Pipeline Polling*. Con el fin de soportar tráfico CBR o VBR, el parámetro CDV (transmission cell delay) es considerado. El *polling* circula en orden al tipo de tráfico de cada trama. Al principio la cabecera realiza *polling* de cada estación y asigna una cantidad fija de ancho de banda para tráfico CBR. Después la cabecera empieza el *polling* para categoría VBR y asignará ancho de banda para todos los tráficos que lo requieran, donde la cantidad de ancho de banda asignado es controlado para garantizar el QoS. Por último, después de asignar ancho de banda tanto para CBR como VBR, el tráfico remanente es usado para la categoría ABR. El número de acciones de *polling* de tráfico ABR por parte del encabezado depende del ancho de banda remanente.

Otros aspecto técnicos relevantes

Formato de trama

El formato de la trama de descenso está compuesto de un patrón para sincronización y un número de ranuras. La ranura utilizada para la acción de *polling* es colocada de acuerdo al esquema de ancho de banda. El resto de las ranuras son usados para datos. Para la indicación del tipo de ranura, cada una de ellas tienen un campo indicador de *poll /datos*.

Formato de retorno

La trama de retorno también tiene un formato de trama periódico. Cada trama está compuesta de un número de ráfagas para cada terminal. Cada ráfaga está compuesta de una o más ranuras. La primera ranura es la de solicitud, y es usada para la petición de ancho de banda. Las siguientes ranuras son denominadas ranuras de datos, y son usadas para la transmisión de datos del terminal.

Protocolo de Acceso Aleatorio Adaptativo (Zenith)

Breve reseña

Zenith propuso para la capa MAC un protocolo de Acceso Aleatorio Adaptativo. El protocolo combina un grupo optimizado de esquemas de reservación para contención y reservación. Las actividades de contención y reservación suceden sobre las tramas que contienen un número de ranuras de datos (DS) y miniranuras (MSs). La estación usa las miniranuras para contienda de ancho de banda y realizar solicitudes de reservación. Este también puede usar una ranura de datos para acceso inmediato.

Otros aspectos técnicos adicionales

Estructura del canal descendente

La estructura de trama para el protocolo de Acceso Aleatorio Adaptativo consiste de cuatro secciones. La primera sección contiene los parámetros globales de configuración. La segunda sección es usada para indicar el estado de cada ranura, el cual puede ser ranuras de prioridad normal (Mc), ranuras de prioridad alta (Mp), ranuras de contención (DS) y ranuras de reservación (RS). La tercera sección contiene los campos de reconocimientos, cada reconocimiento incluye un ID de estación. La cuarta sección contiene las ranuras de datos.

Estructura del canal de retorno

El canal de retorno consiste de dos tipos de ranuras de datos (DS): ranuras de contención y de reservación. Las ranuras de contención, pueden ser posteriormente divididas en un número fijo de miniranuras (MSs). El número de MS y DS es fijado dinámicamente. El número de MSs puede ser posteriormente subdividido en Mc y MP.

Reglas de transmisión. La estación puede acceder al MSs y DSs en cualquier momento, al menos que el sistema este en estado de bloqueo. En general, una estación puede transmitir

inmediatamente sobre MS o DS en situaciones de tráfico ligero, o sobre MS cuando no hay DS disponibles, lo cual ocurre en tráfico pesado. La selección de MS y DS está basada en un esquema aleatorio, en el cual un número aleatorio es generado basado en la cantidad de R_{cs} y R_{ps} . El R_c representa el rango de los números aleatorios basados en la colisión de Mcs , y R_p representa el rango de números aleatorios basado en las colisiones de Mps .

Regla de colas. La regla de cola controla la prioridad y razón del MS y DS. La cabecera mantiene un DQ, el cual lleva control del número de ranuras asignadas en cada estación. Existen dos tipos de niveles de prioridad de estación: normal y alta. Una estación contendiente fija su prioridad en alta, posterior a una colisión.

Reglas de reservación. En adición a las reglas de transmisión y colas, las reglas de reservación son diseñadas para lograr la operación requerida de múltiples tipos de tráfico (CBR, VBR y ABR). La clasificación del tipo de tráfico es basada en requerimientos de servicio de voz, video y tráfico de datos.

Protocolo para HFC (General Instrument Corporation)

Breve reseña

General Instrument Corp., propuso un protocolo MAC bajo la cual se puede realizar una administración de los recursos de la red HFC. Esta propuesta incluye: estructuras de mensajes, direccionamiento de mensajes, administración al acceso a los canales de retorno, etc. En la estructura de las tramas de dirección descendente, el transporte es realizado a través de celdas ATM. La capa MAC no añade características adicionales en estas celdas. La cabecera administra y especifica el VPI a ser usado en las celdas enviadas y recibidas por el modem de cable. En la dirección retorno, el paquete está compuesto de N celdas ATM con uno o más bytes adicionales. Estos bytes adicionales son campos enumerados secuencialmente que son usados para la implementación de un ARQ (solicitud automática de repetición). En cuanto a los esquemas de modulación propuestos están el 64 QAM, 256 QAM y QPSK. Con respecto a los esquemas de acceso al medio, se propone FTDMA, a través de metodologías de acceso basadas en asignaciones fijas y dinámicas.

Otros aspectos técnicos adicionales

Esquema de acceso múltiple en retorno

Para la transmisión en retorno la capa MAC controla una estación tanto en frecuencia como tiempo usando el esquema FTDMA (frequency and time division multiple access).

Formato de trama

La MAC soporta un formato dinámico configurable para TDMA. Los componentes de una trama consisten de un número variable de ranuras asignadas para la contención. La parte restante de la trama puede ser utilizada tanto para asignación fija o para asignación de acceso TDMA bajo demanda. La trama entera puede ser configurada para el acceso basado en contención o acceso bajo asignación dinámica, o cualquier combinación de ambos. La

gestión de la conexión MAC deberá determinar dinámicamente la composición de trama requerida basada en los requerimientos de tráfico del usuario.

Protocolo de Acceso Aleatorio de Cola Distribuida Extendida (Scientific Atlanta).

Breve reseña

En el XDQRAP (extended distributed queuing random access protocol), el canal de tiempo es dividido en un número de ranuras de tamaño fijo. Cada ranura contiene un campo de información (carga útil) y un campo de control. El campo de control es usado para negociar con la cabecera una solicitud de permiso para la transmisión sobre el medio compartido. Una estación con datos para transmitir, escribe la solicitud de transmisión en una de las miniranuras de control. Pero debido a la naturaleza del medio compartido, un proceso de disputa sobre este último es establecido. La cabecera monitorea y manipula el paquete, enviando el estado de las miniranuras de control y de las ranuras de datos hacia la estación, a través del canal descendente. Una miniranura contiene una solicitud para un cierto número de ranuras de datos R_k , donde k es el número de ranuras requeridas. La estación solicitante es S_j , donde j es el número de la estación. Dado esto, una solicitud para k ranuras desde la estación j es formada ($R_k S_j$).

Cuando el tráfico es generado desde una estación, este escribe una solicitud en una miniranura dirigida hacia la cabecera. La solicitud puede ser escrita en uno de las dos miniranuras de forma aleatoria. La cabecera provee respuesta a la estación, a través de un conjunto de colas distribuidas. Si una solicitud colisiona con otra solicitud, el conflicto es resuelto por un algoritmo de resolución de colisiones. Si una estación recibe una aceptación a su solicitud (no experimenta colisión), este transmitirá en una ranura con una estructura apropiada hacia la cabecera.

Otros aspectos técnicos relevantes

Colas en el XDQRAP

Existen tres tipos de colas, dos de las cuales son globales y una es de uso local a la estación. Las colas globales dadas a la estación para monitorear el estado global del sistema son:

- 1.- Cola de transmisión de datos o TQ.
- 2.- Cola de resolución de colisiones o RQ.

La cola TQ asegura una transmisión libre de colisiones en la ranura de datos, mientras que la RQ permite a la estación el reintento en la solicitud ante una colisión sucedida.

Reglas de Transmisión. Las reglas de transmisión para datos (DTR) y la regla de solicitud de transmisión (RTR) están basadas en los valores de TQ y RQ. Las reglas DTR a su vez están compuestas por dos reglas básicas:

- 1- Acceso inmediato al medio para envío de datos: en el acceso inmediato, una estación puede enviar información en la porción de datos de la ranura actual, siempre y cuando una

de las siguientes situaciones apliquen:

- El sistema de reservación global esta vacío y sólo una ranura es requerida para enviar datos.
- La estación vuelve a transmitir datos de acuerdo al proceso de reservación.

2.- Accesos a reservación: hay dos tipos de reglas de solicitud de transmisión que dicta cuando una estación puede enviar una solicitud en una miniranura de control:

- Solicitud inicial: indicando que la primera solicitud desde la estación que tiene un mensaje para transmitir puede realizarse si y solo si la cola de resolución es vaciada.
- Reintento de solicitud: aplica cuando una estación ya ha realizado anteriormente una solicitud inicial.

Protocolo MAC General (Philips Research Laboratories)

Breve reseña

El protocolo PRLGM (Philips Research Laboratories General MAC) tiene una estructura similar tanto para las tramas descendentes como de retorno. Al final de la jerarquía de trama, se definen las miniceldas. Un cluster de M miniceldas forman una trama básica (BF). Englobando a las tramas se encuentran las multitramas. Una multitrama contiene B tramas básicas. Existen dos clases diferentes de datos definidas: datos del sistema y datos del usuario. En la primera, las miniceldas son usadas para el proceso de sincronización, secuencias de escalamientos, mensajes rutinarios y protocolo MAC. Estas celdas MAC son usadas en la dirección de retorno para las solicitudes desde las estaciones hacia la cabecera. En la dirección de descenso, estas celdas son usadas para el reconocimiento de estas solicitudes y para la asignación de ancho de banda a una estación particular, por parte de la cabecera.

En el caso de los datos del usuario, las miniceldas son usadas para STM y toda otras gama de servicios. Esos servicios son basados en ATM. Debido a que en general las celdas ATM son más grandes que una minicelda, una celda ATM será mapeada en una secuencia de miniceldas consecutivas.

Otros aspectos técnicos relevantes

El sistema puede operar en dos modos: un modo donde no existe jitter sobre los datos STM, y un modo donde cierta cantidad de jitter en los datos STM es permitida. El último modo permite más eficiencia en el mapeo de miniceldas para otros servicios no STM dentro una trama básica. En el modo de no-jitter, es posible que para una cierta capacidad de STM, un número entero de celdas ATM no se podrá ajustar en el intervalo remanente entre dos bloques ATM sucesivos. Esto costará una cierta cantidad de ancho de banda para ATM. Permitiendo una cantidad de jitter en la posición de las celdas STM en la trama, se puede empaquetar la trama tan compacto como sea posible.

Protocolo de Acceso Digital Adaptativo (Lucent Technologies).

Breve reseña

En el protocolo de Acceso Digital Adaptativo, las tramas son divididas en regiones STM y ATM. Las características de ambas regiones pueden ser cambiadas dinámicamente. La región STM contiene ranura de tiempo con señalización STM. La región ATM de la trama es particionada en varias ranuras de tiempo ATM, cada una con capacidad de acomodar una celda ATM. Estas celdas son etiquetadas con R (Reservación) o C (conexión), correspondiendo al modo en el cual ellos son usados en la trama. Una llamada de datos para ATM/CBR requiere un ancho de banda fijo garantizado, por lo cual usará una ranura de tiempo reservada. La ranura de tiempo está disponible de una manera periódica para proveer un ancho de banda fijo durante la duración de la llamada ATM/CBR. Una llamada ATM/VBR puede también usar una ranura de tiempo reservada, no obstante, puede no estarlo por la duración entera de la llamada, sino sólo durante una ráfaga de datos (grupo de celdas ATM) que corrientemente están siendo generadas por la fuente ATM/VBR. La solicitud de asignación de ranura de tiempo para este tipo ráfaga es solicitada en una trama de retorno y el reconocimiento, asignación y mapeo ATM es recibido en la siguiente trama de descenso.

Otros aspectos técnicos relevantes

Estructura de trama retorno /descenso

En al dirección de retorno, una estación transmite en modo de ráfagas, mientras que en la dirección descendente la cabecera transmite en un modo continuo. Las tramas de retorno son transmitidas basados en la información de sincronización y tiempo suministradas por la cabecera. En la dirección de descenso, el canal de transmisión es controlado sólo por la cabecera, y por eso no hay necesidad de tiempos de guarda o preámbulos, y la transmisión toma lugar de forma continua.

Las características entre las regiones STM y ATM son dinámicas, el cual depende de la llegada de llamadas ATM y STM. La región STM consiste de ranuras de tiempo correspondiente a la señalización STM, DS0(Ej.: voz), y un nxDS0 (Ej.: videófono), y una región ATM consistiendo de una o más celdas ATM que incluyen el encabezado. El campo MAP lleva control e información del estado de las ranuras, el cual es enviado desde la cabecera a las estaciones.

Protocolo MAC General (LANcity)

Breve reseña

Este protocolo establece un balance de los canales de contención y reservación, a través de ajustes dinámicos en función de los cambios en la carga del sistema. La asignación de ancho de banda es realizada por la cabecera. El protocolo usa variaciones en la longitud de la transmisión para proveer eficiencia. También puede soportar paquetes, celda, o ambos tipos de tráficos simultáneamente. El protocolo MAC provee operación asimétrica. Los

canales de retorno y descenso pueden ser soportados a diferentes tasas de velocidad. El protocolo también puede proveer soporte para varios canales de descenso los cuales trabajan con un solo canal de retorno ajustado a las frecuencias de las topologías de los sistemas CATV.

Otros aspectos técnicos relevantes

En el ambiente HFC se presenta un problema principal, el cual es que el retardo de la propagación es mucho mayor que el tiempo de transmisión de paquetes o celdas. Para solventar este problema, cada nodo necesita tener una referencia global de tiempo y conocimiento de su retardo de propagación. Una vez que esto es conocido, cada nodo puede después transmitir precisamente en una ventana de tiempo dada o en un ancho de banda específico. Para este sincronismo la cabecera debe transmitir en el canal de descenso un bloque de sincronismo de referencia a una tasa periódica fija. El BSI (block synch interval) es usado para esta operación. Durante la secuencia de inicialización, cada nodo debe ejecutar una operación de medición para calcular el retardo de propagación desde la cabecera. Una vez conocido esto, el nodo puede transmitir en una ventana precisa de tiempo del canal de retorno.

Con la finalidad de minimizar el overhead, la asignación de ancho de banda se realiza en asignación de tamaños fijos llamadas ranuras TXOP (transmit opportunity). La cabecera controla la asignación de ancho de banda en el canal de retorno a través de la reservación de ranuras TXOP.

El protocolo soporta tres tipos de accesos:

- Acceso por contienda: permite que múltiples nodos disputen por una oportunidad de transmisión y está sujeto a colisiones. Esto reduce la latencia en el acceso de la red durante alto tráfico de red.
- Acceso por asignación fija dedicada: implica que un nodo le será asignado ranuras TXOP a intervalos predefinidos. Esto está disponible para tráfico tipo CBR. La asignación es realizada a través de mecanismos de señalización.
- Acceso por asignación variable dedicada: permite a los nodos adquirir y obtener ancho de banda dinámicamente. El nodo empieza a través de la solicitud de ancho de banda. La cabecera asigna el ancho de banda al nodo basado en la solicitud recibida y en los requerimientos de QoS. Este requerimiento puede ser obtenido previo proceso de contienda o a través de preasignación dedicada.

Con el fin de soportar varios tipos de QoS, el protocolo MAC soporta múltiples niveles de prioridades. Los niveles de QoS soportados por el protocolo MAC son:

VBR: el protocolo MAC lo soporta usando una combinación de modos de accesos fijos, dedicados y de reservación. Usando señalización, un nodo puede obtener una cantidad de CBR igual a la mínima cantidad de datos que enviará periódicamente. El nodo puede transmitir la cantidad de datos mínimos reservados y al mismo tiempo solicitar en un modo de contienda cualquier ancho de banda adicional necesario. La cabecera asignará un nivel

de prioridad ha esta solicitud para asegurar QoS.

VRB-NRT: para ofrecer este servicio el protocolo MAC usa exclusivamente el modo de reservación.

ABR y *UBR*: el tráfico ABR puede usar modo de reservación para obtener una mínima tasa de celdas, siendo asignado un apropiado nivel de prioridad. Si adicionalmente es requerido más ancho de banda, entonces el tráfico ABR podrá usar los modos de contienda y/o reservación en bajo nivel de prioridad para obtener el ancho de banda deseado. El tráfico UBR puede ser usado con el nivel de prioridad más bajo.

Protocolo MAC General (IBM Corp).

Breve reseña

El protocolo provee funciones de control de asignación de ancho de banda, mecanismos de resolución de colisiones, sincronización y funciones para el soporte de QoS. Entre las características relevantes está: soporte encapsulación ATM, ranuras de longitud variable, protocolos de gestión MLPMP, manejo de prioridades de tráfico, etc.

La estructura del mensaje tanto el canal de retorno como el de descenso son delimitados por intervalos de tiempo constante, denominados *bloques*. Los *bloques* son divididos en ranuras de longitud variable. Cada ranura contiene un mensaje, denominado primitiva. El protocolo se desarrolla en función de la definición del concepto de primitivas las cuales están divididas en dos grupos: primitivas para retorno y primitivas para descenso. El mecanismo de resolución de ancho de banda se basa en el algoritmo de *Start -3*. Con relación a los mecanismos de asignación de ancho de banda, las mismas se basan en un esquema de priorización de las clases de servicio.

Otros aspectos técnicos relevantes

Mecanismo de resolución de contienda Start-3

El mecanismo de resolución de ancho de banda se basa en el algoritmo de Start -3, en el cual la estación contendiente selecciona aleatoriamente un número entre 0 y 2. Aquellas con valor en cero, participan inmediatamente en el proceso de contención. El resto de las estaciones disminuyen su valor en uno. Si las estaciones llegan a colisionar, vuelven a tomar un valor entre 0 y 2. mientras que aquellas que no participaron en el proceso de contención deben sumar el valor de 2, directamente a su valor actual. Este proceso es repetido hasta que todas las estaciones hallan logrado transmitir. Con relación a los mecanismos de asignación de ancho de banda, las mismas se basan en un esquema de priorización basados en las clases de servicio.

Descripción del protocolo de asignación de ancho de banda

La estación implementa un algoritmo para solicitud de ancho de banda priorizando la solicitud basada en la clase de servicio. Cada cola de celda que es implementada por la estación es asociada a una clase de servicio particular. El orden de la solicitud enviada será el orden de la prioridad de la clase del servicio, de 0 (más alto) al 255 (más bajo).

La estación MAC debe limitar la solicitud a un máximo de una por clase de servicio o por bloque de retorno o por el número de ranuras de contención en el bloque de retorno, según quien sea el menor.

APENDICE C

ESTUDIO DEL MODELO FÍSICO DE TRANSMISIÓN xDSL

Para cualquier línea de transmisión, los parámetros básicos de interés son la resistencia, inductancia, capacitancia y admitancia. Estos parámetros son denominados RLCG. Para la banda de voz los parámetros de los pares de cobre calibre AWG#24 y #26 tienden a ser constantes. En las frecuencias por arriba de la voz, los parámetros RLCG varían según la frecuencia (a excepción de la capacitancia el cual tiende hacer constante con la frecuencia y el calibre del par).

El modelo RLCG de las líneas de transmisión define parámetros comunes usados en la modelación del voltaje y la corriente a lo largo de la línea. Estos parámetros son: propagación constante (γ) e impedancia característica ($Z_0(f)$). Con estos parámetros, el voltaje en cualquier punto z sobre la línea de transmisión de longitud "l" con una carga $Z_L(f)$, es dado a través de la ecuación siguiente:

$$V(f,z) = V_0(f) (e^{-\gamma(f)z} + \Gamma_L(f) e^{-\gamma(f)z}) \quad (C.1)$$

$V_0(f)$ = voltaje fuente

$\Gamma_L(f)$ = coeficiente de reflexión en la línea

El coeficiente de reflexión en la línea viene dado por:

$$\Gamma_L(f) = \frac{Z_L(f) - Z_0(f)}{Z_L(f) + Z_0(f)} \quad (C2)$$

La máxima transferencia de potencia sucede cuando la impedancia característica de línea y la impedancia de carga son iguales. De esta forma la ecuación anterior bajo condición de máxima transferencia de potencia se reduce a:

$$V(f,z) = V_0(f) e^{-\gamma(f)z} \quad (C3)$$

La constante de propagación de un par trenzado es la clave para entender el efecto del par trenzado sobre las señales transmitidas a través de él. La constante de propagación puede ser fragmentada de la siguiente forma:

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (C4)$$

sustituyendo en las ecuaciones anteriores tenemos:

$$V(f,z) = V_0(f) e^{-(\alpha + j\beta)z} = V_0(f) e^{-\alpha z} e^{-j\beta z} \quad (C5)$$

La ecuación de transferencia entre la fuente de voltaje de origen y algún punto z en el par

trenzado viene dado por:

$$H(f) = \frac{V(f, z)}{V_0(f)} = e^{-\alpha z} e^{-j\beta z} = |e^{-\alpha z}| \angle \beta z \quad (C.6)$$

En la ecuación anterior se puede observar que la parte real de la constante de propagación determina cuanto puede variar el voltaje a lo largo de la línea de transmisión del par trenzado y la parte imaginaria que tanto cambiará la fase.

Modelación de línea desbalanceada

En pares trenzados localizados uno cerca del otro, los componentes inductivos y capacitivos existen entre cada uno de los cuatro conductores y entre cada conductor y tierra. La interferencia o crosstalk ocurre cuando un desbalance existe entre los componentes capacitivos e inductivos.

- **Modelo Capacitivo**

El análisis de desbalanceo capacitivo sigue de la derivación realizada por Miller. El modelo consiste de una porción de la longitud de dos pares trenzados en estrecha cercanía.

Realizando un análisis nodal de la red, dividiendo todo entre Δx y aproximando Δx a cero, se podrá invocar al concepto de derivada, generando la siguiente matriz:

$$\frac{d}{dx} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -Z_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -Z_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -Z_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -Z_4 \\ \begin{bmatrix} Y_{1G} + Y_{12} \\ Y_{13} + Y_{14} \end{bmatrix} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Y_{12} & \begin{bmatrix} Y_{2G} + Y_{12} \\ Y_{23} + Y_{24} \end{bmatrix} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Y_{13} & 0 & \begin{bmatrix} Y_{3G} + Y_{13} \\ Y_{23} + Y_{34} \end{bmatrix} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Y_{14} & 0 & 0 & \begin{bmatrix} Y_{4G} + Y_{14} \\ Y_{24} + Y_{34} \end{bmatrix} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I \end{bmatrix} = A \cdot S$$

Posterior a simplificar la matriz, el crosstalk resultante del análisis del modelo desbalanceado genera la siguiente ecuación:

$$I_{2M} = \frac{-d}{dx} \frac{j\omega}{4} C_{M1M2} V_{1M} \quad (C.7)$$

donde

$$I_{2M} = \frac{I_3 - I_4}{2}$$

$$V_{1M} = V_1 - V_2$$

$$C_{M1M2} = -C_{13} + C_{14} + C_{23} - C_{24}$$

- Modelo Inductivo Desbalanceado

Considérese una pequeña sección de dos pares. La inductancia mutua existe entre cada par de conductores de los pares trenzados. La terminación efectiva de cada extremo de los dos pares es la impedancia característica. No existe interferencia si el acoplamiento está balanceado uno respecto al otro.

La inductancia mutua denotada por M_{M1M2} esta dado por:

$$M_{M1M2} = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 \quad (C.8)$$

Como resultado de la resolución de mallas se obtiene que:

$$I_{2M} = \frac{j\omega M \Delta x V_{1M}}{4Z^2 - M^2 \omega^2 \Delta x^2} \quad (C.9)$$

Debido a que M es usualmente muy pequeño y Δx es una mínima porción de la línea, el segundo término en el denominador es despreciable con respecto al primero y puede ser descartado. También, de la definición de derivada, podemos tender a Δx a cero, de tal manera que:

$$\frac{dI_{2M}}{dx} \approx \frac{j\omega M V_{1M}}{4Z^2} \quad (C.10)$$

Así el resultado del acoplamiento inductivo da similar al del acoplamiento capacitivo, en el cual la corriente inducida sobre la línea con distorsión debido a un voltaje sobre la línea es proporcional a la frecuencia.

La expresión final de interferencia o crosstalk sobre la línea viene dado al superponer las dos ecuaciones resultantes de interferencia tanto de los modelos inductivos y capacitivos de línea:

$$\frac{dI_{2M}}{dx} = \left[\frac{j\omega M}{4Z^2} + \frac{j\omega C_{M1M2}}{4} \right] V_{1M} \quad (C.11)$$

Interferencia de cercanía o Near-End Crosstalk (NEXT)

A través de la ecuación genérica obtenida anteriormente para Crosstalk y estableciendo los

siguientes puntos:

$$V_1(f, x1) = V_0(f) e^{-\gamma(f)x1} \quad (C.12)$$

$$I_2(f, x1) = \frac{d}{dx} j\omega Q_{M1M2} V_1(f, x1) = \frac{d}{dx} j\omega Q_{M1M2} V_0(f) e^{\gamma(f)x1} \quad (C.13)$$

$$P(f) = I(f) I^*(f) Z_{\text{term}} \quad (C.14)$$

Se obtiene que la función de transferencia para la distorsión NEXT es:

$$H_{\text{next}}(f) = \frac{|Z_0|^2 \omega^2 k}{4\alpha(f)} = \frac{k' f^2}{\alpha_0 f^{1/2}} = K_{\text{NEXT}} f^{3/2} \quad (C.15)$$

De esta manera para una distorsión con una distribución de densidad de potencia plana, se tiene una expresión de NEXT proporcional a $f^{3/2}$. Se puede observar que el NEXT no depende de la longitud del par trenzado. Esto es debido a que la interferencia por NEXT, aunque es una suma de las interferencias producidas en cada uno de los puntos del par, es en su mayor parte dominado por los puntos de desbalance cercanos al receptor. La constante K_{NEXT} es una variable aleatoria, el cual tiende hacia una distribución Gaussiana debido al Teorema Central del Limite.

Interferencia a distancia o Near-end Crosstalk (FEXT)

El desarrollo para el cálculo del FEXT es muy similar al realizado para el NEXT. Lo que cambia es el punto de evaluación de las ecuaciones, el cual corresponde al tramo remanente $L-x1$. Obteniendo la siguiente función de transferencia para FEXT:

$$H_{\text{FEXT}}(f) = K_{\text{FEXT}} f^2 e^{-2\alpha(f)L} \quad (C.16)$$

En esta caso K_{FEXT} es también una variable aleatoria, tal como lo es K_{NEXT} . Ante la existencia de múltiples elementos de distorsión, K_{FEXT} tendrá también una distribución Gaussiana Aleatoria (por el Teorema Central del Limite). También se observa que K_{FEXT} es una función de la longitud del par trenzado, a diferencia de K_{NEXT} .

Resumiendo, es importante observar que tanto K_{FEXT} como K_{NEXT} son ambas una función de la frecuencia y por lo tanto, un par trenzado diseñado para trabajar a baja frecuencia, tendrá un comportamiento muy diferente en alta frecuencia.

Análisis de lazo

El análisis de lazo es utilizado para determinar las características de transmisión del par trenzado. El modelo ABCD para dos puertos, es el utilizado para este análisis. Estos parámetros relacionan la entrada de voltaje y corriente a la entrada, con el voltaje y corriente a la salida.

Las ecuaciones genéricas del modelo ABCD vienen dadas por:

$$V_1 = A \cdot V_2 + B \cdot I_2$$

$$I_1 = C \cdot V_2 + D \cdot I_2$$

(C.17)

en forma matricial sería:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (C.18)$$

En el caso de la presencia de una impedancia en derivación en el medio de transmisión la matriz ABCD viene conformada por:

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z} & 1 \end{bmatrix} \quad (C.19)$$

donde Z representa la impedancia de derivación.

En el caso estricto de par trenzado uniforme (sin derivaciones), la matriz ABCD se obtiene a través de la inclusión de los parámetros de transmisión en las ecuaciones básicas del modelo ABCD, obteniendo que:

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma L) & Z_o \sinh(\gamma L) \\ \frac{\sinh(\gamma L)}{Z_o} & \cosh(\gamma L) \end{bmatrix} \quad (C.20)$$

En el caso de tomas de derivación (bridged taps), la matriz ABCD viene dada por:

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_{in_{tap}}} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_{0,tap} \coth(\gamma L_{tap})} & 1 \end{bmatrix} \quad (C.21)$$

Es importante aclarar que lo anterior no describe los parámetros ABCD a lo largo de la derivación, sino mas bien el efecto de la derivación sobre el lazo principal.

Una vez caracterizado el modelo de par trenzado en términos de parámetros ABCD, podemos de aquí en adelante determinar tres características importantes a cerca del lazo, los cuales son: impedancia de entrada, función de transferencia e inserción de pérdida.

Aplicando la ley de OHM sobre las dos ecuaciones básicas del modelo ABCD, se obtiene que la impedancia de entrada viene dada por:

$$Z_{in} = \frac{V_1}{I_1} = \frac{A \cdot V_2 + B \cdot I_2}{C \cdot V_2 + D \cdot I_2} = \frac{A \cdot I_2 \cdot Z_L + B \cdot I_2}{C \cdot I_2 \cdot Z_L + D \cdot I_2} \quad (C.22)$$

$$Z_{in} = \frac{A \cdot Z_L + B}{C \cdot Z_L + D} \quad (C.23)$$

La función de transferencia es obtenida resolviendo algebraicamente para V_1/V_2

$$T = \frac{V_2}{V_1} = \frac{Z_L}{A \cdot Z_L + B} \quad (C.24)$$

La última característica de interés es la inserción de potencia de ruido, el cual está definido como el cociente de la potencia entregada a la carga sin lazo, entre la potencia entregada a la carga con lazo:

$$IL = 10 \log \left(\left| \frac{P_{NoLoop}}{P_{WithLoop}} \right| \right) = 10 \log \left(\left| \frac{\frac{V_G^2 Z_G^2}{Z_L \cdot (Z_G + Z_L)^2}}{\frac{V_G^2 \cdot Z_L^2}{Z_L (A \cdot Z_L + B + Z_G (C \cdot Z_L + D))^2}} \right| \right) \quad (C.25)$$

$$IL = 20 \cdot \log \left(\left| \frac{A \cdot Z_L + B + Z_G \cdot (C \cdot Z_L + D)}{(Z_G + Z_L)} \right| \right) \quad (C.26)$$

Modelos de densidad espectral de potencia y crosstalk

La ecuación que describe el *crosstalk* consiste básicamente de tres términos. El primer término describe el PSD de la distorsión. El PSD de una distorsión es la distribución esperada de potencia el cual incluye a todos los filtros de transmisión asociados con la distorsión (PSD es una función de la frecuencia).

El segundo término de la ecuación de *crosstalk* es el de acoplamiento. Este término es simplemente la ecuación de NEXT y FEXT y depende de que tipo de distorsión se está analizando.

El término final de la ecuación de *crosstalk* es derivado del número de *crosstalkers* o distorsionadores a ser considerados:

$$PSD_{xtalk} = [PSD \text{ Distorsion}][eq.NEXT/FEXT][Total \text{ Term.Distorsion}]$$

Un modelo simple de múltiples distorsionadores NEXT o FEXT es el siguiente:

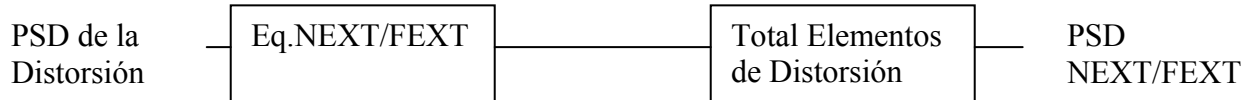


Figura C.1. Modelo de múltiples distorsionadores NEXT/FEXT

Fuente: Rauschmayer, Dennis (1999). ADSL/VDSL PRINCIPLES. Editorial MacMillan. (p. 91)

- Número de distorsionadores o crosstalker

El efecto de múltiples elementos de distorsión en el modelo del NEXT está dado por:

$$X_N = 0.882 \times 10^{-14} \times N^{0.6} \times f^{3/2} \quad (C.27)$$

donde N es el número total de elementos de distorsión. De esta manera ya se tiene dos, de los tres términos necesarios para encontrar el PSD de un *crosstalk*.

- Tipos de distorsionadores

Existen dos métodos disponibles para encontrar el PSD de una distorsión típica para ADSL y VDSL. El primer método es el basado en la función de correlación. En este método, el PSD es dado por la siguiente ecuación:

$$PSD = \frac{2\mathfrak{I}[R_{xx}(\tau)]}{ZT} \quad (C.28)$$

T es la longitud del ancho de banda, Z es la impedancia de referencia a través del cual la señal es medida. R_{xx} es la función de autocorrelación del código de línea. La función transformada de Fourier es:

$$\mathfrak{I}[R_{xx}(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (C.29)$$

El factor de 2 contenido en la ecuación de PSD refleja el uso de una sola banda PSD, a oposición del PSD doble banda (el cual es definido sobre frecuencias positivas y negativas). De esta manera el PSD obtenido de la ecuación dada, es solamente validad para el intervalo $(0, \infty)$. Las unidades establecidas para PSD es W/Hz.

Por último la correlación es obtenida a través de la siguiente expresión:

$$R_{xx}(\tau) = E[x(t)x(t - \tau)]$$

En donde E representa el valor esperado o esperanza.

El segundo método para obtención del PSD, es el que está basado en máscaras o formatos. La máscara o formato es un esquema que define el valor esperado de PSD para algún tipo específico de tecnología. Este permite reducir las complicaciones matemáticas involucradas en el cálculo del PSD, así como también, mayor flexibilidad en el diseño del PSD, al acotar fácilmente los valores borde o fronteras de la distribución.

Ambos métodos pueden ser aplicados para la obtención del PSD. Es decir, para el cálculo de la distribución de energía principal en el SPD o también denominado in-band PSD, puede ser obtenido por el primer método. Para él calculo de la energía fuera de banda (algunas veces llamados lóbulos laterales), es preferiblemente obtenido a través del segundo método.

Esquemas de modulación

- DMT ADSL (descenso)

Una señal DMT en ADSL es meramente un número de funciones sen y cos de diferentes frecuencias. La frecuencia más baja es de 34,5 kHz y la más alta 1,104 MHz. Todas las frecuencias son múltiplos de 4,3123 kHz. Matemáticamente se puede ver como funciones sen y cos a frecuencia igual a $n \times 4.31125$ kHz con $n = 8, 9, \dots, 256$. Por lo tanto, un símbolo DMT puede ser creado como la suma de todas las funciones sen y cos a las frecuencias utilizadas. La ecuación de la DMT sumariada para $f_0 = 4,31125$ kHz. es

$$s(t) = \sum_{n=8}^{256} (a_n \cos(2\pi n f_0 t) + b_n \sin(2\pi n f_0 t)) \quad \text{para } 0 \leq t < \frac{1}{f_0} \quad (C.30)$$

La expresión generalizada de PSD viene dada por:

$$PSD_m = K_m \frac{\sin^2(\pi T(f - m f_0))}{\pi^2 (f - m f_0)^2} \quad (C.31)$$

Aquí la variable K_{DS} representa el valor esperado de todos los términos escalares de una típica ecuación PSD. Para un sistema DSL típico, el valor es aproximadamente 10^{-7} .

Si las funciones sen y cos son independientes para un símbolo DMT, la expresión total para el PSD viene dada por:

$$PSD_{DS} = \sum_{i=8}^{256} K_i \frac{\sin^2(\pi T(f - m f_0))}{\pi^2 (f - m f_0)^2} \quad (C.32)$$

$$PSD_{DS} = K_{DS} \sum_{i=8}^{256} \frac{\sin^2(\pi T(f - m f_0))}{\pi^2 (f - m f_0)^2} \quad (C.33)$$

La ecuación anterior representa el modelo teórico de PSD para un DMT de descenso. Este modelo es poco práctico y muy complicado de implementar, en lo que a restricciones de borde se refiere. Igualmente, no ofrece suficiente robustez para las regiones fuera de banda o lóbulos laterales. De aquí, es que un modelo PSD desarrollado a través de la implementación de filtro en el frond-end del símbolo DMT, es un esquema mucho más viable y práctico de desarrollar.

El modelo más común para la generación de una señal ADSL viene dado por

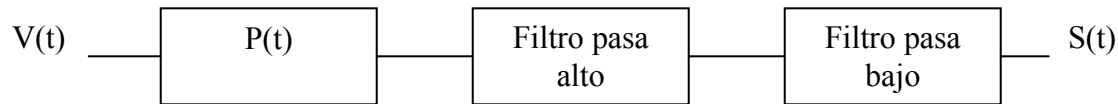


Figura C.2. Modelo generación señal ADSL

Fuente: Rauschmayer, Dennis (1999). ADSL/VDSL PRINCIPLES. Editorial MacMillan. (P 106)

$$PSD_{ADSL}(f) = \frac{2\mathfrak{I}[R_{vv}(\tau)]|P(f)|^2|HPF(f)|^2|LPF(f)|^2}{ZT} \quad (C.34)$$

- DMT ADSL (retorno)

Realizando el mismo desarrollo teórico de la sección anterior para la obtención del PSD, se tiene que la expresión para el ADSL en el retorno es:

$$PSD_{US} = \sum_{i=8}^{32} K_i \frac{\sin^2(\pi T(f - if_0))}{\pi^2(f - if_0)^2} \quad (C.35)$$

$$PSD_{US} = K_{US} \sum_{i=8}^{32} \frac{\sin^2(\pi T(f - if_0))}{\pi^2(f - if_0)^2} \quad (C.36)$$

donde el valor K_{US} es aproximadamente 10^{-7} .

Por los mismo motivos explicados anteriormente, la implementación de una máscara para obtener el PSD a través del modelo teórico expresado arriba, es muy engorroso y poco robusto en las condiciones de frontera, por lo cual, implementando más bien un desarrollo del PSD a través del modelo de filtros conformadores se obtiene que:

$$PSD_{ADSL}(f) = \frac{2\mathfrak{I}[R_{vv}(\tau)]|P(f)|^2|H_{US}(f)|^2}{ZT} \quad (C.37)$$

- ADLS CAP/QAM

La obtención del PSD los esquemas de modulación CAP y QAM son bastantes similares cuando se realiza el análisis en el dominio de la frecuencia. El diagrama de bloque representativo para éste esquema de modulación viene dado por

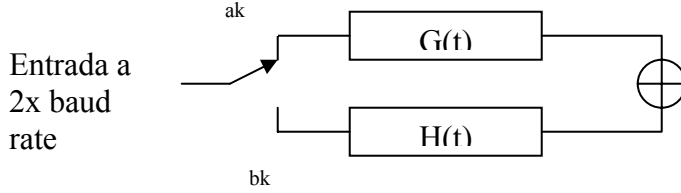


Figura C.3. Diagrama de bloque del esquema de modulación

Fuente: Rauschmayer, Dennis (1999). ADSL/VDSL PRINCIPLES. Editorial MacMillan. (p.113)

Asumiendo que a_k y b_k son independientes, de probabilidad PSD, media en cero, varianza igual a V^2 para ambos y una correlación entre ellos de $R_{ab}(t)=0$, se tiene que:

Ec.2.41

$$PSD_{CAP,un} = PSD_A(f) + PSD_B(f) = \frac{4V^2 \sin^2(\pi T(f - f_c))}{\pi^2 ZT(f - f_c)^2} \quad (C.38)$$

La implementación de una señal CAP (a través de la adición de filtros a la respuesta al impulso de las funciones g y h), es recomendable para atenuar el efecto de los lóbulos laterales en el PSD. Asignando los nombres de filtros r_1 y r_q , y asumiendo que ambos son funciones probabilísticamente independientes, la ecuación de PSD viene dada por:

$$PSD_{CAP}(f) = \frac{2V^2 |R_1(f)|^2}{ZT} + \frac{2V^2 |R_q(f)|^2}{ZT} \quad (C.39)$$

Expresiones de NEXT y FEXT

Para obtener el PSD resultante de una interferencia o *crosstalk* ya sea tipo NEXT o FEXT, se toma las ecuaciones previamente definidas para PSD y se pasan por las funciones de transferencia de NEXT y FEXT. Para el caso de una interferencia tipo NEXT, la ecuación resultante viene dada por:

$$PSD_{NEXT}(f) = PSD_{DIST}(f) \times X_N f^{3/2} \quad (C.40)$$

donde $X_N = 0.882 \times 10^{-14} \times N^{0.6}$

N es el número de elementos de distorsión que tienen un PSD dado por PSD_{DIST} . En el caso de una distorsión ocasionada por FEXT, la ecuación de PSD viene dada por:

$$PSD_{NEXT}(f) = PSD_{DIST}(f) \times |H_{channel}(f)|^2 \times K_{FEXT} \times l \times f^2 \quad (C.41)$$

H es la respuesta del canal, K es un acoplamiento constante y l es la longitud del tramo que está realizando acoplamiento. En el mayor de los casos NEXT es mucho mayor que FEXT, razón por la cual este último es ignorado.

Capacidad teórica del canal DSL en medios con interferencia

La capacidad de transmisión en el medio tiene sus bases en el estudio de la entropía y de la información mutua, tópicos tratados en la teoría de la información. La teoría de la información define la capacidad de un canal como la máxima información mutua entre el canal de salida y el canal de entrada ó $I(X; Y)$, donde X es la entrada y Y la salida. Escrito en términos de entropía para variables discretas X y Y, la definición es equivalente a:

$$\text{Max}(I(X;Y)=\text{max}(H(X)-H(X/Y)) \quad (C.42)$$

Donde H es la entropía de una entrada X y $H(X/Y)$ es la entropía de la entrada X dada la salida Y. Esta ecuación también puede ser establecida de la siguiente forma

$$\text{Max}(I(X;Y)=\text{max}(H(Y)-H(Y/X)) \quad (C.43)$$

La entropía de una variable aleatoria continua puede ser definida por:

$$h(Z) = \int_{-\infty}^{\infty} p(z) \log_2 \left[\frac{1}{p(z)} \right] dz \quad (C.44)$$

Donde p es la función de probabilidad de densidad de una variable aleatoria Z. Si Z es Gaussiana y caracterizada por media 0 y varianza σ_z^2 de $N_0/2$, entonces la expresión anterior queda reducida a:

$$= \frac{1}{2} \log_2(2\pi N_0) \quad (C.45)$$

esta expresión es utilizada ampliamente para la determinación de capacidad de una canal con ruido aditivo blanco (AWGN).

Considerando un canal AWGN con entrada X y salida Y, y un ruido aditivo Z, donde Z es independiente de X, se tiene que:

$$Y=X+Z \quad (C.46)$$

Utilizando las expresiones ya mencionadas arriba, y asumiendo independencia entre las variables X y Z, la capacidad del canal es establecida por:

$$C = \frac{1}{2} \log_2(4\pi(\sigma_x^2 + \sigma_z^2)) - \frac{1}{2} \log_2(4\pi\sigma_z^2) \quad (C.47)$$

simplificando se obtiene que:

$$C = \frac{1}{2} \log_2 \left[1 + \frac{E[x^2]}{E[z^2]} \right] = \frac{1}{2} \log_2(1 + SNR) \quad (C.48)$$

Esto indica que la capacidad del canal se incrementa logarítmicamente con la relación señal a ruido, para un canal del tipo AWGN.

No obstante, un par trenzado tiene respuesta al impulso diferente a cero, razón por la cual la ecuación anterior es incompleta al menos que se tome en cuenta este factor, así como también, la existencia del ruido de color en el par trenzado, el cual no es más que la variación de la interferencia a la frecuencia. Tomando en cuenta esto en la ecuación anterior y aplicándolo a cada uno de los subcanales establecidos dentro del canal principal se tiene que:

$$R_{\max} = \sum_{i=1}^L \frac{B}{L} \log_2 \left[1 + \frac{|G_i|^2 S_i}{|H_i Q_i + Z_i|^2} \right] \quad (C.49)$$

El cual expresa la máxima tasa de símbolos transmitidos y es conocida como Espectro de Densidad de Potencia Límite en el canal DSL.

Los términos de la ecuación tienen el siguiente significado:

- B: Ancho de Banda total del esquema de modulación-1.1 MHz para ADSL. Si L es el número de subcanales, luego B/L es el ancho de banda para cada subcanal.
- S_i: Potencia de cada subcanal en el transmisor.
- G_i: Pérdidas entre el transmisor y el receptor para cada subcanal.
- Q_i: Señal de potencia de un transmisor de interferencia.
- H_i: Función de transferencia de una interferencia dada por NEXT o FEXT.
- Z_i: El AWGN de fondo sobre un subcanal.

ANEXO 1

TARIFAS DEL SERVICIO xDSL Y DOCSIS EN EL MERCADO VENEZOLANO

(I TRIMESTRE 2004)

Planes xDSL Carrier “A”

Velocidades (kbps)	Tarifas /mes
256 downstream/ 128 upstream	Bs.70.900,00
384 downstream/ 128 upstream	Bs.85.900,00
768 downstream/ 256 upstream	Bs.170.900,00
1536 downstream/ 512 upstream	Bs.329.900,00

Características principales del servicio ofrecido

- Conexión dedicada las 24 horas, los 365 días del año.
- Desde 256 kbps hasta 1536 kbps, según el plan seleccionado.
- No ocupa la línea telefónica.
- Tarifa plana mensual por consumo de Internet sin cargos adicionales por consumo telefónico.
- Megas ilimitados sin cargo adicional.
- Conexión de uno a varios computadores, según el plan seleccionado.

Planes Modem de Cable (DOCSIS) Carrier “B”

Velocidades (kbps)	Plan A	Plan B	Plan C	Plan D	Plan E
320 downstream/64 /upstream	Bs.24.300,00	Bs.33.100,00	Bs.47.500,00	Bs.59.950,00	Bs.90.900,00
512 downstream/128up stream	Bs.31.400,00	Bs.43.400,00	Bs.60.660,00	Bs.73.000,00	Bs.123.900,00
768 downstream/ 256 /upstream	N/A	Bs.49.500,00	Bs.70.200,00	Bs.84.000,00	Bs.216.700,00
Consumo Megabits	300	660	1350	2400	Ilimitado

Características principales del servicio ofrecido

-
- Conexión dedicada las 24 horas, los 365 días del año.
 - Desde 320 kbps hasta 768 kbps, según el plan seleccionado.
 - No ocupa la línea telefónica.
 - Megas limitados en función del plan. Con opción a plan ilimitado
 - Megas adicionales incrementa la tarifa según el plan
 - Conexión de un computador. Costo adicional por el uso de un computador adicional para la navegación