



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

“Diseño e Implementación de un curso de Servicios sobre Redes HFC de Nueva Generación”

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA

PATRICIO ANTONIO WOLFF ROJAS

PROFESOR GUÍA:

Sr. ALFONSO EHIJO BENBOW

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

Sr. NÉSTOR BECERRA YOMA
Sr. NICOLÁS BELTRÁN MATURANA

SANTIAGO DE CHILE
ENERO 2009

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA
POR: PATRICIO WOLFF ROJAS.
FECHA: 06/01/2009 EX. GRADO
PROF. GUÍA: Sr. ALFONSO HIJO B.

“Diseño e Implementación de un curso de Servicios sobre Redes HFC de Nueva Generación”

Las redes híbridas de fibra óptica y cable coaxial, HFC, fueron implementadas en un principio por operadores de TV Cable, los que posteriormente incluyeron servicios como *Video-on-Demand*, *Pay-Per-View*, etc. Con el avance de la tecnología, las redes de TV Cable fueron capaces de ofrecer otros servicios multimedia como telefonía y acceso a Internet de Banda Ancha. Para esto, modificaron las mismas redes existentes, transformándose en Operadores Multi-Servicio, MSO. La red sufrió modificaciones importantes, pasando de ser una red prácticamente unidireccional a ser una red bidireccional desbalanceada.

En la discusión actual sobre telecomunicaciones se encuentran habitualmente términos como convergencia IMS (*IP Multimedia Subsystem*) y Redes de Nueva Generación, NGN (*Next Generation Networking*). HFC representa un bloque fundamental en la comprensión de estos conceptos. Un factor clave para el éxito de los operadores de cable que pretenden adecuar sus redes para la próxima generación de arquitecturas de comunicaciones, será la capacidad del personal técnico para evaluar las diversas opciones disponibles. Por otro lado, los MSO, se enfrentan a otras consideraciones como el manejo de la compatibilidad de las diversas normas de próxima generación con las arquitecturas existentes y cómo determinar el momento óptimo para realizar este cambio.

El objetivo de esta memoria fue diseñar un curso teórico y práctico sobre servicios soportados por redes HFC de nueva generación, basándose en los atributos de escalabilidad y disponibilidad que esta tecnología presenta frente a otras. Para guiar el desarrollo de este proyecto se utilizó una metodología que consiste en la recopilación de información sobre tecnología HFC en la etapa inicial, seguido de un análisis de los datos obtenidos. Con esta información se generó un programa docente y una planificación que permitió desarrollar el curso.

En este proyecto de título se diseñó e implementó un curso de servicios teórico y práctico. En lo teórico se cubren temas como: *Broadcasting* de TV, Internet/Datos, Telefonía, IPTV, eTV, *Video-on-Demand*, *Pay-Per-View*, VoIP, videoconferencias y Juegos *On Line*. En lo práctico, se presenta una propuesta preliminar de laboratorio docente, que contempla una red HFC a escala y guías prácticas sobre la evaluación de servicio y la vía de retorno. El curso se diseñó para hacer uso de recursos docentes presenciales e interactivos a través de Internet.

Este curso representa un aporte, tanto fuera como dentro del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Chile, al tratar temáticas actuales con un enfoque orientado a la industria de los servicios ofrecidos por los MSO. El curso diseñado es una propuesta orientada a completar la instrucción de un ingeniero civil electricista.

*A mis padres,
familia
y amigos...*

Índice de Contenidos

ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VI
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 MARCO GENERAL.....	2
1.2 ESTRUCTURA GENERAL DEL TRABAJO.....	4
CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES Y METODOLOGÍA DOCENTE	5
2.1 REDES HFC.....	5
2.1.1 Topologías y elementos de las redes HFC.....	7
2.1.2 La vía de retorno.....	11
2.1.3 Señales sobre las redes HFC.....	12
2.1.4 Convergencia hacia IMS y Arquitecturas de nueva Generación.....	33
2.1.5 Servicio soportados por la red HFC.....	38
2.2 METODOLOGÍA DOCENTE.....	56
2.2.1 Planificación Curricular.....	56
2.2.2 Planificación de módulos y experiencias.....	59
CAPÍTULO 3 RESULTADOS	60
3.1 DESCRIPCIÓN DEL CURSO	61
3.1.1 Potenciales Alumnos.....	61
3.1.2 Prerrequisitos del Curso.....	61
3.1.3 Potenciales Profesores	61
3.2 CONTENIDOS Y ESTRATEGIAS.....	62
3.3 DISEÑO DEL CURSO	64
3.3.1 Periodo estimado.....	64
3.3.2 Contenidos Teóricos.....	64
3.3.3 Contenidos Prácticos.....	68
3.4 PROPUESTA DE LABORATORIOS DOCENTES.....	70
3.4.1 Introducción.....	70
3.4.2 Implementación del Laboratorio.....	71
3.5 RECURSOS DESARROLLADOS.....	75
CAPÍTULO 4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	79
4.1 ESTRATEGIA UTILIZADA.....	80
4.1.1 Formulación de Objetivos del Curso.....	80
4.1.2 Búsqueda de información.....	80
4.1.3 Diseño del Programa de Estudios.....	81
4.1.4 Diseño del Programa de Módulos de Estudio.....	81
4.1.5 Diseño del Programa de Evaluación.....	82
4.2 CONTENIDOS DEL CURSO.....	83
4.2.1 Módulos.....	83
4.2.2 Actividades Prácticas.....	88
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES	89
5.1 ALCANCE DE LOS RESULTADOS.....	89
5.2 METAS Y LOGROS	91
5.3 TRABAJOS FUTUROS.....	92

CAPÍTULO 6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
CAPÍTULO 7	ANEXOS	98
7.1	FIBRA ÓPTICA.....	98
7.1.1	Introducción.....	98
7.1.2	Optoelectrónica en redes HFC	99
7.1.3	Redes Ópticas Sincronas, SONET	100
7.1.4	Multiplexación por división en longitudes de onda densas, DWDM	100
7.1.5	Multiprotocol Label Switching, MPLS	101
7.1.6	Interconexiones de Fibra	102
7.2	COMPONENTES DE PLANTA EXTERNA DE LAS REDES HFC	104
7.2.1	Hubs.....	104
7.2.2	Nodos Ópticos.....	105
7.2.3	Taps.....	105
7.2.4	Splitters.....	106
7.2.5	Amplificadores.....	106
7.3	EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DEL CANAL DE RETORNO HFC	108
7.3.1	Introducción	108
7.3.2	Nivel de Señal.....	108
7.3.3	Nivel de Ruido	110
7.3.4	Cuociente Peak -to-Average.....	110
7.4	CALCULO DE POTENCIAS PARA LA PROPUESTA DE LABORATORIO.....	112

Índice de Figuras

Figura 2-1: Topología básica de una red HFC.....	6
Figura 2-2: Constelación 32-QAM.....	24
Figura 2-3: Telefonía en redes HFC	30
Figura 2-4: Arquitectura IMS simplificada	34
Figura 2-5 : Arquitectura <i>PacketCable</i> 1.0.....	36
Figura 2-6: Arquitectura <i>PacketCable</i> multimedia.....	37
Figura 2-7: Arquitectura Abierta	38
Figura 2-8: Esquema de Funcionamiento UVoD	47
Figura 2-9: Esquema <i>Multiplayer Games-on-Demand</i>	50
Figura 3-1: Laboratorio Docente Básico	72
Figura 3-2: Laboratorio Docente con Simulación de Ruido.....	73
Figura 3-3: Ejemplos de Presentaciones	76
Figura 7-1: Estrella	102
Figura 7-2: Anillo cubierto Analógico	103
Figura 7-3: Anillo Digital de Repetición.....	104

Índice de Tablas

Tabla 2-1: Modelo de 7 Capas	27
Tabla 2-2: Protocolo <i>Pagoda</i>	44
Tabla 2-3: Protocolo <i>Harmonic</i>	44
Tabla 3-1: Primera parte del Curso.....	62
Tabla 3-2: Segunda parte del Curso.....	63
Tabla 3-3: Tercera parte del Curso	63
Tabla 7-1: Cálculo de Potencias entre el Nodo Óptico y el <i>Splitter</i>	112
Tabla 7-2: Atenuaciones de los cables coaxiales.....	112
Tabla 7-3: Atenuaciones de los <i>Taps</i> y los cables	113
Tabla 7-4: Valores en los MTA y en el <i>Splitter</i>	114

Capítulo 1

Introducción

Las redes Híbridas de Fibra y Coaxial, HFC de Nueva Generación combinan fibra óptica y cable coaxial para la distribución de datos. Esta tecnología permite entre otros servicios, el acceso a Internet de banda ancha, telefonía fija y la transmisión de televisión. Esta tecnología fue implementada, en un principio, por operadores de TV cable, los que incluyeron servicios como *Video-on-Demand* y *Pay-Per-View*. Posteriormente las redes de TV Cable entregaron servicios de telefonía y acceso a Internet de banda ancha, utilizando las mismas redes existentes, transformándose en Operadores Multi-Servicio. En el Capítulo 2 de Antecedentes y Metodología Docente se profundiza más sobre las redes HFC.

1.1 Marco General

La principal motivación para realizar un curso sobre redes HFC de nueva generación son los atributos de escalabilidad y la disponibilidad que ésta presenta frente a otras tecnologías. Las motivaciones para realizar esta memoria abarcan distintos ámbitos como comerciales, tecnológicos y docentes. En el ámbito económico, las redes HFC presentan un gran ahorro, debido principalmente al número de servicios que permite esta configuración de red. Desde el punto de vista de la tecnología, el desarrollo de nuevos equipos, protocolos y servicios han impulsado el avance de las redes HFC. En cuanto a las motivaciones docentes, la amplia utilización de esta tecnología y las ventajas que presenta hacen indispensable para el Departamento de Ingeniería Eléctrica, DIE contar con un curso sobre redes HFC. En la actualidad no existe un curso similar en el DIE y las industrias de servicios como *Video-on-Demand*, VoD y Televisión sobre el Protocolo Internet, IPTV comienzan a exigir profesionales que tengan una formación de base en las plataformas que los operadores de cable utilizan para soportar sus múltiples servicios (Video, Internet/Datos, Telefonía y otras variantes como VoD, IPTV, *Pay-Per-View*, etc.).

Un factor clave para el éxito de los operadores de cable que pretenden evolucionar sus redes para la próxima generación de arquitecturas de comunicaciones, será la capacidad del personal técnico para evaluar los méritos de las diversas opciones disponibles. Por otro lado, los Operadores Multi-Servicio, MSO se enfrentan a otras consideraciones, incluida la compatibilidad de las diversas normas de próxima generación con las arquitecturas existentes y determinar el momento óptimo para migrar a la próxima generación de servicios.

El objetivo principal de esta memoria es el diseño e implementación de un curso de servicios entre los que se encuentran; Video y TV, *Video-on-Demand*, Internet/Datos, Telefonía Pública y Privada y Juegos *On Line*. El curso se diseñó a partir del análisis de servicios soportados y atributos de la arquitectura HFC.

A continuación se muestran los objetivos específicos que son parte de la memoria que se realizó:

1.1.1. Establecer una base de nociones y conocimientos tecnológicos avanzados sobre redes HFC y su arquitectura. El análisis de la arquitectura considera factores como la Disponibilidad, Flexibilidad, Escalabilidad, Calidad, Administración, Costo-Efectividad, Seguridad y el análisis detallado de las especificaciones y estándares que soportan los servicios como; DOCSIS, *PacketCable*, OCAP, entre otras. Seleccionar los temas más relevantes que permitan agrupar los contenidos que tendrá el curso desarrollado.

1.1.2. Establecer una metodología docente apropiada para realizar un curso teórico práctico. Aquí se propuso aplicar la metodología docente utilizada por otros memoristas que construyeron cursos para el DIE y que tuvieron al profesor Alfonso Ehijo como maestro-guía de su trabajo de tesis/título. Utilizar esta metodología docente para construir un programa de estudios de un curso avanzado teórico y práctico de redes HFC.

1.1.3. Generar material docente de apoyo a la implementación del curso.

1.1.4. Otro objetivo del curso fue desarrollar un conjunto de experiencias prácticas operacionales en un MSO, que serán realizadas por expertos invitados que dictarán algunas clases teóricas y otros que desarrollarán laboratorios prácticos específicos para mostrar temas de *Troubleshooting* (diagnóstico de fallas).

1.1.5. El desarrollo del curso también incorpora una batería de mecanismos de comunicación entre profesores, expertos y alumnos. Como ejemplo, se propuso la construcción de páginas Wikis, foros de discusión por *Chat*, seminarios en *Web (webminar)* y otras.

El material docente cubre temas avanzados sobre redes HFC, como las arquitecturas, estándares y normativas vigentes, en lo que respecta a la transmisión de información mediante fibra óptica y transmisión por cables coaxiales. Se contó con los medios logísticos necesarios para el desarrollo del curso.

En el contexto de la construcción de cursos universitarios, se destaca la aplicabilidad de la metodología seguida en las memorias de referencia, las cuales tratan el diseño de cursos para el DIE y que poseen la misma metodología docente que se utiliza en esta memoria.

1.2 Estructura General del Trabajo

En el capítulo 2 de este documento se presentan los antecedentes de la realización de esta memoria. En este capítulo se tratan temas referentes a las redes HFC que son fundamentales para el entendimiento de éstas como: topologías y elementos de las redes HFC; la vía de retorno; arquitectura de redes y plataformas de servicio; señales sobre las redes HFC; convergencia hacia Subsistema IP Multimedia, IMS y Arquitecturas de Nueva Generación; finalmente, Servicios soportados por la red HFC. En este capítulo se presenta la Metodología Docente que se utilizó para desarrollar el curso, la cual ha sido utilizada en otros cursos del DIE de la Universidad de Chile.

En el capítulo 3 se presentan los resultados obtenidos por el desarrollo del proyecto, en donde se describe el curso, se definen los requisitos que deben cumplir los potenciales alumnos y profesores. Por otro lado, se presentan los contenidos y estrategias del curso. Finalmente, se muestran algunos recursos desarrollados. En este capítulo se muestra el laboratorio docente desarrollado.

El capítulo 4 de este documento muestra una discusión de los resultados obtenidos en este trabajo de memoria. Para esto, se presenta una discusión sobre la construcción de la metodología docente y la estrategia utilizada. En este capítulo se analizan los contenidos que fueron incluidos en el diseño del curso y se discute el aporte que éste entrega.

El capítulo 5 presenta las conclusiones finales del proyecto y se analiza el alcance de los resultados. En este capítulo se muestran las principalmente metas, logros obtenidos y los trabajos futuros que se desprenden del desarrollo de esta memoria.

Capítulo 2

Antecedentes y Metodología Docente

En este capítulo se encuentra información sobre las redes HFC de Nueva Generación, con especial énfasis en los servicios que son soportados por éstas, protocolos y estándares más importantes. Por otro lado, se incluye información sobre la metodología docente que se utilizó para la construcción del curso.

2.1 Redes HFC

HFC de nueva generación son redes que combinan fibra óptica y cable coaxial para la distribución de datos. Esta tecnología permite el acceso a Internet de banda ancha, telefonía fija, televisión y otras variantes como *Video-on-Demand*, *Pay-Per-View*, Juegos *On Line* y otros. La topología de HFC se puede dividir principalmente en dos partes. La primera corresponde a la sección de la red, en la cual se conecta el abonado por medio de cable coaxial a un nodo zonal.

En la segunda parte se encuentra la interconexión de los nodos zonales mediante fibra óptica a una red troncal. La tendencia de las diferentes empresas Multi-servicio es sustituir progresivamente la red coaxial por redes de fibra óptica, acercando la fibra hacia el usuario.¹

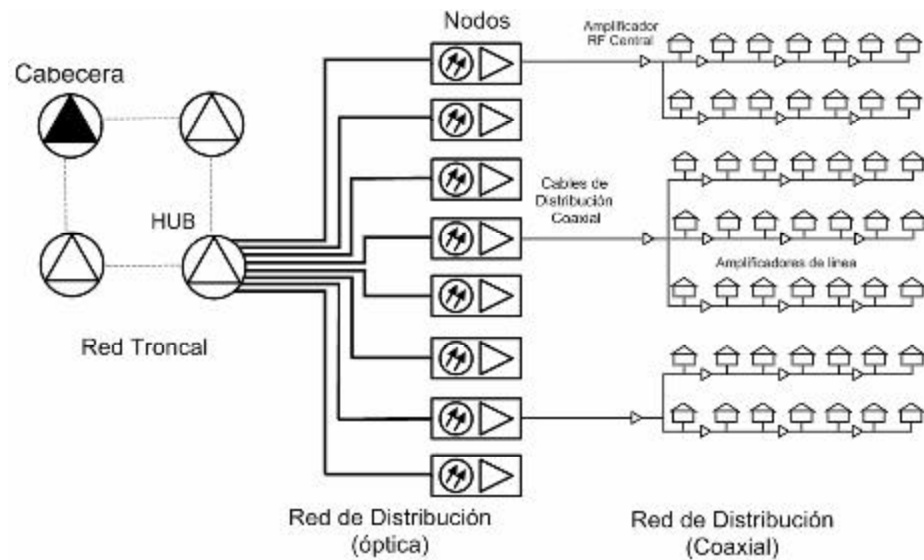


Figura 2-1: Topología básica de una red HFC

La Topología básica de una red HFC se compone de: una Cabecera o *Headend*, que realiza las funciones de control, emisión y transmisión; la red troncal de fibra óptica, que distribuye las señales hacia los nodos primarios o *hubs*; finalmente, la red secundaria, que une los *hubs* con los nodos finales, los cuales distribuyen la señal a los usuarios finales.

El origen de las redes HFC se encuentra en los sistemas de televisión por cable coaxial. La industria de la distribución de canales de televisión por cable sufrió un cambio a mediados de los años 70 con la utilización de la tecnología satelital, la cual permitía aumentar el número de canales que se transmitían anteriormente, provenientes incluso de distintos continentes. Con la utilización de esta tecnología se fomentó la aparición de canales temáticos, como por ejemplo, los especializados en noticias, deportes y documentales.²

Posteriormente, las redes existentes aún dedicadas al rubro de la televisión por cable incluyeron entre las aplicaciones soportadas, otras aplicaciones que cambian el modelo de negocios básico de las compañías operadores de TV cable.

Al aumentar el número de canales se requirió incrementar el ancho de banda disponible de los sistemas de cable coaxial. Para solucionar esta limitación se introdujo la fibra óptica en los años 90, cuando los dispositivos ópticos podían ofrecer una adecuada linealidad. Es en este momento cuando la red en su conjunto, pasa a denominarse HFC.^{3 4}

Las redes HFC, entre otras cualidades, fueron capaces de soportar el transporte bidireccional de información y servicios de telefonía, pasando de ser un sistema de transmisión de televisión por cable a un complejo sistema de telecomunicaciones.

A mediados de los años 90, con la aparición de la televisión digital, las redes HFC sufrieron una nueva etapa de evolución que permitió, entre otras cosas, aumentar significativamente el número de canales, mejorando la calidad de imagen y sonido, aumentar la robustez del sistema y fomentar la aparición de aplicaciones interactivas.

2.1.1 Topologías y elementos de las redes HFC

A continuación se encuentra una descripción de los elementos físicos que componen topología de una red HFC típica⁵.

2.1.1.1 Cabecera

La principal función de las Cabeceras es combinar distintas fuentes de información para introducirlas en la red. En el caso de la televisión por cable, la Cabecera es la encargada de combinar las señales provenientes de distintos lugares y medios físicos e incluso tipos de información y formas de codificación. Antiguamente los operadores de cable combinaban señales provenientes de satélites, cables e incluso antenas radioeléctricas. En la actualidad, los nuevos operadores de cable son, en su mayoría, Operadores Multi-Servicio, proporcionando telefonía e Internet de alta velocidad. Esto se consigue utilizando técnicas de división por frecuencia.

Para proporcionar telefonía, las Cabeceras incorporan un nodo de acceso denominado *Host Digital Terminal* para controlar la asignación dinámica de los canales del cable a los abonados, cuando se producen llamadas entrantes y salientes.

Para la conexión a Internet, es necesaria una comunicación bidireccional y ésta es obtenida asignando una parte relativamente pequeña del ancho de banda, con una tasa de datos de 500 kbps a 1,5 Mbps que se conoce como *Upstream* de comunicación de datos del suscriptor al operador. Por otro lado, el ancho de banda de descarga suele ser más grande, con una tasa de datos de hasta 35 Mbps, que se conoce como comunicación de datos de *Downstream* del operador al suscriptor. En esta técnica se utilizan dos módems: uno en el extremo del usuario conocidos como Cablemódems, CM y otro en la Cabecera del operador, conocido como Sistema de Terminación de Cablemódems, CMTS. El operador conecta su Cabecera a un Proveedor de Servicios de Internet, ISP. Los CMTS pueden manejar la conexión a Internet de entre 4000 y 30000 usuarios. Una Cabecera puede tener más de un CMTS.

Este dispositivo realiza la codificación, modulación y gestión de acceso al medio compartido por los CM, proporcionando una interfaz *Ethernet*. En la Cabecera se encuentran, además otros equipos como el *Switch Ethernet*, un servidor AAA (*Authentication, Authorization and Accounting*), para control de acceso y tarificación y un servidor de contenidos locales y de *caching* para las páginas más visitadas.

Los proveedores de cable también tendrán servidores para la contabilidad y registro, Protocolo de Configuración de Anfitrión Dinámico, DHCP para asignar y administrar las direcciones IP de todos los usuarios de sistema del cable y control de los servidores. Otro protocolo utilizado por los MSO es el Protocolo de Transferencia de Archivos Trivial, TFTP, el cual es un protocolo de transferencia semejante a una versión básica de FTP. El Sistema de Aprovisionamiento Multimedia, MPS presta apoyo a *PacketCable* para hacerlo compatible con los Adaptadores de Terminal Multimedia, MTA e incluye una interfaz XML/Corba para los Centros de Atención al Cliente, CCC.

Las redes HFC más evolucionadas proponen la utilización el servicio telefónico sobre IP. Esto es posible gracias al estándar DOCSIS (*Data Over Cable Service Interface Specification*) en el que se especifican mecanismos para garantizar la calidad de servicio en tiempo real. En este caso, la voz y los datos comparten los mismos canales en la red HFC. El equipo *VoIP Residential Gateway* codifica las señales del aparato telefónico adecuadamente para su transporte sobre IP. De todas maneras, se requiere de un servidor de llamadas para realizar todas las funciones control. Se

destaca el hecho que la comunicación entre dos abonados de telefonía de la misma red se pueda realizar sin pasar por la red telefónica pública. En este caso toda la comunicación se efectúa sobre protocolo IP bajo el control del servidor de llamadas.

2.1.1.2 Fibra Óptica

La fibra óptica se utiliza para transmitir a lo largo de la red señales seleccionadas de todos los tipos y comúnmente en formato digital. Las interconexiones de fibra proveen en las redes HFC la conectividad entre el punto donde se genera el espectro FDM y el punto central de distribución coaxial. También es utilizada para comunicar las Cabeceras y con proveedores externos de información como *Broadcasters* y proveedores de Internet.

Las conexiones básicas propias de la red HFC son: Estrella, Anillo Cubierto, Anillo Cubierto Analógico y Anillo Digital de Repetición. En el anexo 7.1 se explica con mayor profundidad las características de la fibra óptica.

2.1.1.3 Nodos de Fibra

Los nodos de fibra son básicamente la interconexión entre una línea de fibra óptica y la red de distribución coaxial. Un nodo está compuesto básicamente de un receptor óptico que alimenta a un amplificador de *Downstream* y opcionalmente, puede contener un transmisor de *Upstream*, también conectado a la red coaxial.

Algunos nodos tienen la opción de tener múltiples entradas de fibras para *Downstream* que son alimentadas por receptores ópticos diferentes cuyas salidas son combinadas en un filtro *diplex*. Con esto se tienen dos opciones: mejorar la calidad de la señal y flexibilidad de la red. A esta configuración se le conoce con el nombre de Entradas de Fibra Múltiple *Split-Band*.

Una alternativa para utilizar múltiples entradas de fibra para *Downstream* es la redundancia para la fibra óptica en redes del tipo *Trunking* (función para conectar dos *Switches*, enrutadores o servidores, mediante dos cables en paralelo en modo *Full-Duplex*). Consiguiendo

un doble ancho de banda para la comunicación entre los *Switches*. A esta configuración se le conoce con el nombre de Entradas de Fibra Múltiple Redundante.

2.1.1.4 Red de distribución Coaxial

El parámetro más elemental en una red coaxial es el Ancho de Banda, el cual es determinado por los equipos de amplificación que son utilizados en dicha red. Algunos operadores de redes HFC sugieren emplear redes coaxiales pequeñas para evitar el uso de amplificadores entre la parte óptica y el usuario.

El segundo parámetro importante a considerar en una red HFC es el tamaño del área de la red coaxial. Todos los usuarios conectados a la misma red coaxial comparten el ancho de banda.

El suministro eléctrico presenta niveles de confiabilidad, por lo general, levemente inferiores a los esperados para los requerimientos de las redes HFC. Por esto se emplea una estrategia para minimizar los efectos de los cortes de suministro. Un grupo de baterías puede asegurar el suministro a algunos equipos por un par de horas. Esto es suficiente para interrupciones cortas, pero para interrupciones mayores se utilizan distintas fuentes de abastecimiento eléctrico.

2.1.1.5 Equipos Terminales

Los equipos terminales proveen la interfaz entre los dispositivos de aplicaciones del usuario final y el sistema de distribución compartido. Dependiendo del servicio, los equipos terminales pueden realizar funciones como: transformación de formatos de los datos de la red, testeo y otras funciones de seguridad. Por lo general, son la cara más visible de la red y proveer a los usuarios de estos equipos representa una gran inversión debido principalmente al alto número de equipos que puede tener una red.

Los equipos más importantes son: Equipos *In-Home*, que se encuentran al interior de los hogares conectados directamente a la red o como equipos intermedios entre el *Drop* y el receptor

del suscriptor; Equipos Punto-de-entrada, que proporcionan medios para aislar las redes de cable direccionales de las señales generadas al interior de los hogares, este equipo puede manejar un canal de *Ethernet*; y Equipos Terminales Compartidos con multipuertos para ser compartidos por más de un usuario.

La más comúnmente utilizada es la configuración híbrida, que utiliza equipos Punto-de-entrada o equipos terminales compartidos coordinados con equipos *In-Home*. Esta configuración es más costosa, pero brinda a la red una gran flexibilidad y al operador la facilidad de elegir entre distintos distribuidores de equipos.

2.1.2 *La vía de retorno*

En un principio, el canal de retorno se usó principalmente para soportar servicios como *Impulse* PPV y algunos datos provenientes del monitoreo de estado de la red. Los servicios de vídeo, telefonía, transmisión de datos y otros servicios interactivos de alta velocidad requieren de bidireccionalidad de la red. Los canales de subida o *Upstream* y de bajada o *Downstream* viajan en filamentos separados de la fibra, pero comparten el mismo cable coaxial. En el canal de bajada los datos no presentan ningún problema, debido a que se envían a todos los suscriptores igualmente, lo que se denomina *Broadcast*.⁶ Sin embargo, en el canal de subida los datos viajan de todos los suscriptores a un extremo principal, pudiéndose producir colisiones entre los paquetes.⁷

En una red HFC el ruido eléctrico en la dirección de subida puede representar un gran problema para los usuarios finales y para los MSO. El ruido puede provenir de muchas fuentes en el sistema. La trayectoria de subida puede sufrir un gran impacto de ruido al enviar señales analógicas, porque las fuentes múltiples envían ruido como señal en la red de *Upstream*. El Ruido Blanco Gaussiano Aditivo, AWGN es inyectado en la red de HFC en el extremo del cliente, en dirección hacia la Cabecera mediante el canal ascendente. El AWGN es la interferencia más frecuente en la mayoría de los canales de comunicaciones.⁸

Tradicionalmente, el canal de subida se ubicó entre los 5 MHz y los 30 MHz, sin embargo, en la actualidad se utiliza hasta la banda de 42 MHz, aunque existen equipos capaces de

utilizar una banda de los 85 MHz. En estas frecuencias la posibilidad de interferencia es significativa. Por lo tanto, es de gran interés para quien estudia una red HFC comprender cómo funciona el canal de datos ascendente.

En el protocolo DOCSIS, la red HFC tiene una arquitectura bidireccional. En Norteamérica, el espectro del canal de subida se extiende a partir de 5 MHz a 42 MHz. Un canal de subida con un tamaño de espectro de 6,4 MHz puede proporcionar un ancho de banda de 30,72 Mbps usando Acceso Múltiple por División de Código Ensanchado, S-CDMA.

2.1.3 Señales sobre las redes HFC

A continuación se muestran los principales servicios que son soportados por las redes HFC:

2.1.3.1 Televisión Analógica

La televisión analógica ha sabido adaptarse a los requerimientos actuales, dificultando la adopción de otras tecnologías más eficientes, desde el punto de vista del ancho de banda, como la televisión digital. Debido a que existe un público que no está dispuesto a abandonar su confiable televisión analógica, las redes HFC han permitido a las empresas operadoras de TV cable entregar a los subscriptores la transmisión de televisión analógica y digital.⁹

El objetivo de las comunicaciones por cable, entonces es lograr transmitir la mayor cantidad de Bandas Base por el mismo medio, minimizando la interferencia entre ellas. El proceso que se utiliza es la Multiplexión por División de Frecuencias, FDM, debido a que las señales se envían simultáneamente, pero ocupando distintos espectros de frecuencia, conocidos como canales.

Las cámaras de televisión analógicas emiten señales en Banda Base proporcionales a la luz en la imagen y con pulsos de sincronización, utilizando el voltaje máximo. La frecuencia cero representa el promedio de brillo en la imagen y las frecuencias más altas los detalles, las áreas blancas están cerca del voltaje cero y las áreas negras cerca del voltaje máximo.

El método más natural de modulación resulta ser modular en frecuencias, trasladando la señal de Banda Base en el espectro. La modulación que se utiliza se le denomina Modulación de Doble Banda Lateral con Portadora Suprimida.

Este método permite el uso de diodos detectores de envolvente de bajo costo, pero si se observa detenidamente, se descubre que existe un desperdicio de potencia, ya que se gasta la mitad de la energía en transmitir la portadora y sólo un cuarto en transmitir la información (ya que ambas bandas laterales son redundantes). Para esto, se transmite sólo una de estas mitades por medio de filtros colocados en el circuito de transmisión. A esta modulación se le denomina Modulación de Banda Lateral Única.

Si se filtra parcialmente una de las dos bandas laterales resultantes de una modulación en doble banda lateral, se mejora la relación señal a ruido en las bajas frecuencias de la señal moduladora. A este proceso se le llama Modulación de Banda Lateral Vestigial y se utiliza en la transmisión de televisión analógica PAL, SECAM y NTSC.

La televisión analógica moderna difiere de la original en la adición de color, sonido estéreo y señales auxiliares. El color fue, sin lugar a dudas, una importante mejora que se introdujo al sistema de televisión analógica original. El descubrimiento que permitió este desarrollo fue el hecho de que el ojo humano responde a la combinación de 3 colores llamados primarios (rojo, verde y azul).

Otro de los importantes avances de la televisión analógica moderna es el sonido estéreo. La señal de sonido se transmite en 4,5MHz sobre la portadora que transmite las imágenes y con un ancho de banda de 250 kHz y en Frecuencia Modulada, FM.

2.1.3.2 Televisión Digital^{10 11 12}

En contraste con la televisión analógica tradicional, la televisión digital codifica sus señales de forma binaria. Esta tecnología presenta grandes ventajas en comparación a la televisión analógica, en especial, al ancho de banda que utiliza y la inmunidad al ruido.

Las terminaciones sensoriales de los seres humanos son básicamente analógicas, sin embargo y desafortunadamente, las señales analógicas que viajan grandes distancias están sujetas a perturbaciones como el ruido, distorsiones, interferencias que degradan la calidad de las señales. Cuando una señal analógica se transforma en digital aparece un ruido producto de esta codificación. Por otro lado, se disminuyen significativamente las perturbaciones antes mencionadas, si es que se ocupan inteligentemente las técnicas desarrolladas para esto.⁵

Para convertir una señal analógica en digital, como primer paso, se debe multiplexar la señal con un tren de pulsos separados por una distancia igual y de magnitud constante, según el teorema de Nyquist, si este tren de pulsos posee una frecuencia igual al doble de la frecuencia más alta de la señal, entonces la información podrá ser recuperada en forma intacta. Luego se debe utilizar un voltímetro digital para medir la magnitud de cada uno de los pulsos y pasar a una secuencia de datos. La precisión de este voltímetro digital incide en la calidad de la cuantización. El error asociado puede ser reducido, pero nunca eliminado por completo. Luego, se utiliza el formato binario que codifica la señal en códigos de sólo 2 dígitos. Esta codificación binaria presenta mayor inmunidad al ruido y simplifica los diseños de circuitos utilizados en su manejo.

Una importante ventaja de la codificación digital es el hecho que ella permite una manipulación matemática importante, permitiendo detectar errores en la transmisión e incluso corregirlos. Entre los métodos más simples destaca la detección de paridad, los métodos como éste requieren que se agregue información adicional. A esta información adicional, que no corresponde a datos, se le denomina encabezado y su tamaño depende de la complejidad de los métodos de detección y corrección de error utilizados.

Otra importante ventaja de las señales digitales es que éstas son capaces de ser comprimidas mediante métodos complejos que eliminan la redundancia de la información, lo que permite transmitir mayor cantidad de información por tiempo utilizando el mismo ancho de banda o reducir los anchos de bandas necesarios. Esto requiere de menos espacio en memoria para almacenar información.

La televisión digital sin técnicas de compresión, utiliza 27 muestras por segundo de 8 bits de cuantización, requiere de 215 Mbps para la información de video, para el audio se requiere algunas veces de 100 MHz de ancho de banda. Estos anchos de banda no se acomodan a los

requerimientos de ancho de banda para sistemas multicanal y multiservicios sobre la misma red, por lo que se utilizan métodos para reducir la tasa de bits a niveles aceptables.

Existe un gran número de redundancia en las señales de televisión y áreas con un alto grado de detalle y otras de relativamente bajo nivel de detalle. La redundancia puede ser temporal, espacial o en el sentido vertical u horizontal. Las cosas que no cambian en una secuencia de imágenes no es necesario retransmitirlas. De la misma forma si una secuencia de imágenes es más sensible a un color, entonces los recursos son asignados a esa clase de colores. El ojo humano no es sensible a los detalles de los objetos en movimiento. Los movimientos en sentido horizontal son detectados mejor que los verticales y diagonales. Factores como estos son considerados a la hora de crear los métodos de compresión de información digital de imágenes en movimiento.

La información del brillo y las componentes de color son cuantizadas para cada punto de la imagen y organizada en bloques de 8 por 8 píxeles. Un píxel o "elemento de imagen" es la menor unidad homogénea en color que en conjuntos forman las imágenes. La forma de transmitir es separar la imagen en megabloques de 16 por 16 píxeles. La información del brillo de todo el megablock es enviada antes que dos componentes de color de 8 por 8 píxeles.

Existe más información de la requerida por el sistema de visión humano, para que se considere como una imagen satisfactoria. Como consecuencia de esto, los valores de las celdas pueden ser aproximados por grupos de datos menores, para esto se utiliza una matriz de cuantización, esta matriz es parte de la información enviada con la señal.

Un resultado importante es que la mayoría de los bloques de alta frecuencia contienen coeficientes que son tan pequeños que se vuelven cero cuando se cuantiza a una escala gruesa. De esta forma se asignan más bits a las áreas con más detalle en comparación a las áreas más planas de la imagen. El orden en que se transmiten los componentes es del tipo zig-zag.

Otra técnica empleada para reducir el número de datos es, asignar un tamaño menor a los patrones de datos que ocurren con más frecuencia, para reducir el total de bits requeridos para transmitir la información. Esta técnica es conocida como los Códigos de Huffman.

Estos procesos son conocidos como Codificación de *Intraframe* y refieren a la compresión de información en una imagen, sin embargo, las mayores ventajas de la compresión proviene de

la Codificación de *Interframe*, que contempla técnicas que permiten eliminar la información redundante de una secuencia de imágenes.

El video consiste en 30 imágenes por segundo, las películas poseen 24 imágenes por segundo, en la mayoría de los casos, las imágenes son bastante similares unas con otras. Si la imagen no varía existe un gran desperdicio de recursos al enviar una y otra vez la misma información.

Por otro lado, si las escenas presentan movimiento, es muy probable que esas sólo varíen en alguna parte de la imagen y no la imagen completa. Por ejemplo, la aparición de un objeto en una imagen conservando el fondo, requiere que se envíen únicamente los datos de los bloques de píxeles que definen el objeto y sus matrices de cuantización. Cuando un objeto se mueva en la imagen, dos cosas deben ocurrir: primero el objeto debe ser borrado de la posición en la que estaba anteriormente y reempezarlo por la parte de la imagen que corresponde. En segundo lugar, se debe introducir la imagen del objeto en su nueva posición.

Existen algunas dificultades asociados a estos métodos de compresión. Las dificultades se presentan cuando se pierde parte de la información producto de errores o ruido, interferencias, distorsiones o en el caso de la televisión por cable, el salto de un canal a otro en el cual no se dispone de la imagen inicial. Para esto es importante realizar reiniciaciones al proceso tan seguido como sea necesario.

Existen Métodos adicionales que pueden ser incorporados para reducir aun más la redundancia de información. En el caso del objeto en movimiento que conserva el fondo, se debe notar que el objeto algunas veces no se modifica, por lo que no es necesario retransmitir la información del objeto. Sin embargo, estos procesos no son tan simples. Estos métodos se denominan Compresión en Movimiento y se basan en determinar direcciones de movimiento de píxeles o grupos de píxeles.

Existe otra forma de Compresión en Movimiento cuando un objeto se mueve de una posición a otra, deja un espacio en blanco que debe ser completado. Estos espacios pueden ser estimados, si la imagen cambia, entonces se transmite la información del cambio. La predicción se realiza utilizando la información de imágenes anteriores. Estos procesos son bastante complicados y requieren de *Buffers* de tamaños adecuados en el codificador y decodificador, los

que agregan costo al decodificador y retardos, sin embargo, incrementan la eficiencia de la transmisión.

Como los bloques son tratados de formas independientes pueden existir diferencias entre ellos al momento de unirlos, estas diferencias son apreciadas como errores y se conocen con el nombre de Ruido de Bloqueo. Existen otros ruidos asociados a puntos en las imágenes, conocidos como Ruido de Mosquitos y otros ruidos producto de la precisión computacional que es requerida para codificar y decodificar las imágenes.

Por el lado del Audio, es importante destacar el hecho que los sistemas de detección de sonidos de los seres humanos son más exigentes que los de movimiento, por lo que los procesos de compresión explotan tasas de 4 es a 1 u 8 es a 1, en la compresión de la información. Sin embargo el audio requiere de anchos de banda menores que las imágenes, por lo que no representa una gran carga para el total de la información.

Existen 2 métodos de compresión de audio utilizados en la compresión de video: el Sistema Europeo Musicam y el Dolby AC-3. Ambos muy parecidos en términos generales, pero difieren en los detalles.

El sistema Dolby AC-3 posee sonido 5.1 que significa que posee 6 canales para audio: uno frontal, dos delanteros, dos traseros y uno encargado de los sonidos de baja frecuencia. El ancho de banda de los 5 canales es aproximadamente 20 kHz y para el canal encargado de los sonidos de baja frecuencia sólo tiene 120 Hz, debido a que los sonidos bajos se propagan en todas las direcciones sólo se requiere de un parlante, conocido como “.1”.

El sonido es comprimido con una tasa de muestreo de 48 kHz, el audio es segmentado en *frames* de 1536 muestras y cuantizado, al menos, con resolución de 16 bits. Los *frames* se dividen en seis bloques de 512 (existe traslape de información para mejorar la calidad de sonido).

Las muestras de audio son transformadas al dominio de las frecuencias mediante la transformada *Time Domain Aliasing Cancellation*, TDAC. La tasa de datos óptima para un 5.1 Dolby AC-3 es de 384 kbps, sin embargo otras tasas son soportadas, pero con menor calidad.

La Organización Internacional de Estándares, ISO creó en el año 1988, el Grupo de Expertos de Imágenes en Movimiento, MPEG con la finalidad de desarrollar un conjunto de estándares para la compresión de video digital y aplicaciones multimedia. Actualmente, este

grupo ha crecido y se compone de alrededor de 350 integrantes provenientes de diferentes universidades e industrias.

El estándar creado se basa en la transformada discreta del coseno utilizando bloques de 8 por 8 bits, posee alto grado de compresión incluyendo estimación y compensación, así surgió MPEG-1, pensado para computadores y CD-ROM. Con este tipo de compresión, la velocidad de transferencia quedó limitada a 1,5 Mbps. La resolución en MPEG-1 es de 352 x 240 píxeles, con lo que se obtiene una calidad similar al VHS.

Para aplicaciones de video apareció MPEG-2, el cual es un *Toolkit* de compresión, es decir, para algunas aplicaciones sólo son necesarias algunas partes del estándar. Este tipo de codificación, permite obtener mayor calidad y un ancho de banda entre 3 y 10 Mbps. La resolución corresponde a 720 x 486 píxeles, con esto se logra una calidad de TV.

Con el fin de obtener un estándar de alta resolución para la televisión, se propuso MPEG-3; pero ha sido dejado de lado, puesto que MPEG-2 puede lograr los mismos requerimientos con un ancho de banda mayor.

Una de las grandes ventajas de la paquetización a la que es sometida la información de video y audio, es la capacidad de enviar múltiples paquetes por el mismo medio, sin necesariamente, poseer el mismo destinatario. Esto da origen al concepto de circuitos virtuales, los cuales permiten aumentar el rendimiento de las comunicaciones en determinados casos.

La Corrección de Error hacia Adelante, FEC, es un proceso en el cual se agregan datos adicionales mediante un algoritmo que permite detectar cierta clase de errores en la transmisión y en algunos casos corregirlos.

Estos procesos que se mencionaron anteriormente complican las aplicaciones de las redes HFC, como la Inserción de Publicidad, extras noticiarios y otras prácticas muy comunes en la televisión analógica. La alternativa para los operadores de TV cable es decodificar las señales recibidas, generar la inserción de estas nuevas señales y luego recodificar para enviar a los suscriptores, sin embargo esto conlleva un alto costo de equipos y procesos.

En señales digitales se utiliza la modulación con el mismo propósito que en la televisión analógica. En televisión digital también se utiliza Multiplexión por división de Frecuencias, debido principalmente a las limitaciones en la velocidad por parte de los circuitos encargados de

la descodificación, ya que no pueden soportar las estructuras Multiplexión por división de Tiempo, TDM para todo el espectro de frecuencias. Por esta razón el espectro se divide en canales de 6 MHz. La TDM puede ser utilizada en canales de 6 MHz, conservando las propiedades antes descritas.

Una de las más importantes ventajas de la digitalización de las señales es la habilidad que se adquiere para agregar inteligentemente un grado de redundancia que permita la detección y corrección de errores.

Métodos como entregar un BIT adicional de paridad a lo que se envía, permiten detectar la existencia del error, sin embargo, no permiten determinar cuál es el dato erróneo y el número de errores que ocurrieron. Para combatir los errores en la transmisión se utilizan principalmente 3 estrategias que incluyen 2 códigos FEC, estas técnicas en conjunto permiten detectar y corregir errores en la transmisión.

Existe una gran variedad de detectores FEC en la actualidad, los dos más importantes son el código de Reed-Solomon y el código de Trellis. El código de Reed-Solomon utiliza un método matemático para detectar distintas clases de errores y sus ubicaciones. El código de Trellis es agregado a los sistemas 8-VSB e introduce un gran trato de redundancia. Como resultado se tiene un robusto sistema de transmisión.

En los sistemas digitales la calidad de la señal no es linealmente proporcional a la calidad de la imagen, que es lo que importa desde el punto de vista del usuario final. En sistemas digitales todos los suscriptores poseen esencialmente la misma calidad de señal de imagen y sonido sin importar el área donde se encuentren. Si la señal desciende de los niveles de Thershold, la imagen desaparece.

La calidad de imagen en los sistemas digitales es una función que depende de muchas variables tales como, la agresividad de la compresión, la calidad de la codificación, los detalles de la imagen, etc.

El consorcio de industrias de investigación y desarrollo de Cable, Cablelabs ha desarrollado una serie de especificaciones no consideradas como estándar. Sin embargo, para asegurar la interoperabilidad, Cablelabs establece un programa que verifica que los productos cumplen con la especificación y asegura un desempeño satisfactorio. *OpenCable* es una de esas

especificaciones creada con el objetivo de generar un ambiente de interoperabilidad entre múltiples vendedores de terminales *Set-Top* digitales.

La Televisión de Alta Definición, HDTV es un sistema de televisión del doble de ancho y alto. La proporción es de 16 en escala vertical es a 9 en escala horizontal, calidad de CD en el audio y sin errores en las imágenes a distancias razonables. La alta resolución de las imágenes (1920 píxeles con 1080 líneas o 1280 píxeles con 720 líneas) permite mostrar muchos más detalles que la televisión analógica. Estos requerimientos involucran grandes anchos de banda, sin embargo, se han desarrollado métodos de compresión, basados en no transmitir lo que el ojo humano no ve.

La televisión digital y la industria de la computación han trabajado juntas en la actualidad para desarrollar estándares de procesamiento de imágenes, que permiten maximizar la eficiencia de transmisión y almacenamiento. Por otro lado, el avance y masificación de Internet introdujo la necesidad de crear métodos de codificación más eficientes.

2.1.3.3 Transporte de Datos ⁵

Los servicios de Internet y datos sobre la red de cable se realizan con velocidades del orden de Mbps. Esta gran velocidad de acceso a las redes posibilita servicios de transmisión de datos, que contemplan la transmisión de voz, imágenes fijas o animadas y video digitalizado. Los servicios de banda ancha requieren bidireccionalidad y altas velocidades. Las redes HFC son adecuadas para los servicios de Internet y datos, adaptándose al crecimiento esperado de las aplicaciones punto a punto y multimedia. El tráfico de datos de subida o *Upstream*, se transporta en tramas *Ethernet*, típicamente en señales con Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura, QPSK. El tráfico de bajada o *Downstream*, se transporta encapsulado en paquetes MPEG. Estos paquetes se transportan en flujos de datos que normalmente utilizan Modulación de Amplitud en Cuadratura, QAM.

La figura de mérito que se utiliza para medir diferentes tipos de modulación es la Eficiencia de Espectro, expresada en bits/Hz o bits por segundo dividido por el ancho de banda

utilizado. Por otro lado, esta figura de mérito se compara con la inmunidad al ruido y costo del proceso.

FSK: Modulación por Salto de Frecuencia

La Modulación por Salto de Frecuencia, FSK es un método comúnmente usado, donde la señal enviada varía entre 2 frecuencias diferentes. Estas frecuencias varían según los símbolos binarios de la información que se desea transmitir.

El método FSK es muy frecuente en los sistemas de transmisión de baja velocidad, como por ejemplo, información de bajada de *Set-Top Box*, STB y sistemas de monitoreo, también es usado en la información enviada a la central para servicios como *Impulse Pay-Per-View*, IPPV y otros servicios de baja tasa de transferencia de datos. Las características de este tipo de modulación lo hacen resistente al ruido, de baja eficiencia espectral y de equipos relativamente económicos.

ASK: Modulación por Desplazamiento de Amplitud

La modulación por desplazamiento de amplitud, ASK es un método de modulación en el cual se representan los datos mediante variaciones de amplitud de la portadora, tomando dos amplitudes que representan los símbolos de la señal.

PSK: Modulación por Desplazamiento de Fase

La modulación por desplazamiento de fase, PSK es una forma de modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos, tomando dos fases que representan los símbolos de la señal.

BPSK: Modulación por Desplazamiento de Fase Binaria

La Modulación por Desplazamiento de Fase Binaria, BPSK, es un caso particular de la modulación por desplazamiento de fase, en la cual se representan los datos mediante variaciones de fase de la portadora, tomando dos valores que difieren en 180° uno del otro.

En conjunto con BPSK se utilizan métodos como el recubrimiento de reloj, que corresponde a sincronizar el reloj de transmisión con el de la recepción de los datos. En el caso que se envíe una señal que no varía mucho, es decir permanece varios bits en 0 o 1, la sincronización puede perderse, entonces el método que se utiliza es el *Scrambling* que tiene como objetivo que los datos varíen más seguido. Esta técnica consiste en combinar, mediante funciones lógicas la señal que se desea transmitir con una secuencia de datos pseudoaleatoria, para intentar eliminar las componentes continuas en la señal.

Otro método utilizado junto con BPSK es la Codificación Diferencial, la cual consiste en representar el 0 como “no cambio de estado” y el 1 como “cambio de estado” en 180° de fase. Este método es usado junto con varios métodos de modulación.

QPSK: Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura

La Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura, QPSK, es un caso particular de la modulación por desplazamiento de fase, en la cual se representan los datos mediante variaciones de fase de la portadora, tomando en este caso cuatro valores que difieren en 90° uno del otro. Estos cuatro estados permiten que se transmita más de un BIT al mismo tiempo, es decir se mejora la eficiencia espectral, pero aumenta la complejidad y se reduce la inmunidad al ruido.

La Tasa de Bits es una medida de los bits que son enviados por segundo. En QPSK más de un BIT es transmitido simultáneamente, es decir, se agrupan en Símbolos. El concepto de Símbolo es muy importante, ya que la cantidad de éstos en un esquema de modulación está estrechamente relacionada con la tasa de datos.

16-QAM: Modulación de Amplitud en Cuadratura de 16 Estados

La Modulación de Amplitud en Cuadratura de 16 Estados es una modulación digital avanzada que transporta datos cambiando la amplitud y la fase, definiendo 16 estados posibles para representar 4 bits por símbolo. Es ampliamente utilizado en sistemas que requieren alta eficiencia de ancho de banda. Es bastante similar a QPSK, sólo que cada uno de los cuadrantes es subdividido en cuatro estados.

Para la transmisión en canales de bajada, la industria del TV Cable utiliza métodos de modulación similares a 16-QAM, sólo que ellos poseen más estados, haciendo más densas las constelaciones. Esto provoca que el sistema sea más vulnerable al ruido, pero con una gran eficiencia espectral.

64-QAM: Modulación de Amplitud en Cuadratura de 64 Estados

Es considerada una modulación de alto orden o muy densa. En un principio parece ser similar a las anteriores, sin embargo presenta algunas diferencias importantes.

Para entender estas diferencias existe una figura de mérito de los tipos de modulación que es conocida como razón *peak-to-average*, que es el promedio del consumo de potencia en cada uno de los estados medido en dB. En el caso de QPSK, al estar todos los puntos en el círculo unitario, el promedio es 1, es decir 0 dB. En el caso de 16-QAM la razón *peak-to-average* es 2,55 dB. Para 64-QAM la razón *peak-to-average* es 3,68 dB.

256-QAM: Modulación de Amplitud en Cuadratura de 256 Estados

La Modulación de Amplitud en Cuadratura de 256 Estados, 256-QAM es una modulación digital muy densa que transporta datos cambiando la amplitud y la fase, definiendo 256 estados posibles para representar 8 bits por símbolo.

64-QAM y 256-QAM se utilizan a menudo en sistemas de televisión y datos de operadoras de TV Cable, aprovechando las cualidades de estas redes como su baja tasa de

errores. Estos métodos de modulación permiten explotar mejor el ancho de banda disponible, con una tasa de errores por bits transmitidos bastante pequeña.

Existen algunas variantes como 32-QAM, que presentan 32 estados posibles y son repartidos de manera diferente a los métodos anteriores, en el plano complejo para disminuir la razón *Peak-to-Average*. Este método cuenta con una eficiencia espectral de 5 bits/Hz. La forma en que los puntos se ubican en el plano complejo se muestra en la Figura 2-2:

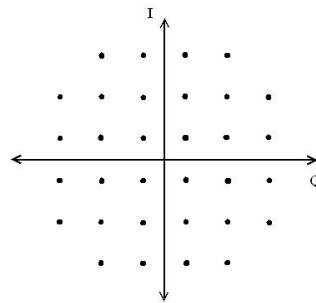


Figura 2-2: Constelación 32-QAM

8-VSB: Modulación de Banda Lateral Vestigial de 8 estados

8-VSB es un estándar de modulación cuyas características son bastante similares a las de 64-QAM, tienen esencialmente la misma eficiencia de espectro. Es el estándar utilizado para la transmisión de televisión digital terrestre en Estados Unidos y Canadá. Así como el estándar 8-VSB es similar a 64-QAM, el estándar 16-VSB es similar en características a 256-QAM.

Formas de compartir el Espectro

La principal razón por la cual es bueno compartir el espectro, es lograr una mejor eficiencia de los recursos. A continuación se nombran las principales técnicas utilizadas enfocadas a las redes HFC.

1. FDM: Multiplexión por División de Frecuencia

La Multiplexión por División de Frecuencia, FDM es utilizada generalmente en sistemas de transmisión analógicos. Este método consiste en transmitir distintas señales en forma simultánea, por un solo medio de transmisión, pero ocupando distintas bandas de frecuencia en cada señal. Estas señales pueden ser analógicas o digitales e incluso se permiten los dos sistemas de transmisión en el mismo medio. Existen varias aplicaciones de FDM, como la radio FM comercial y las emisoras de televisión abierta.

2. OFDM: Multiplexión por División de Frecuencia Ortogonal

La Multiplexión por División de Frecuencias Ortogonal, OFDM es un método de modulación que consiste en enviar la información modulando en QAM o en PSK un conjunto de portadoras de diferentes frecuencias. Éstas se encuentran separadas por la mínima distancia que evita que las señales se interfieran entre ellas, las señales adyacentes son llamadas Ortogonales. Las características de esta modulación la hacen capaz de recuperar la información entre las distintas señales con distintos retardos y amplitudes, evitando problemas de interferencia en sistemas de radiodifusión de frecuencia única.

Entre los sistemas que utilizan la modulación OFDM, destacan el estándar de televisión digital terrestre DVB-T, la radio digital DAB y el protocolo de enlace ADSL.

3. TDMA: Acceso Múltiple por División de Tiempo

El Acceso Múltiple por División de Tiempo, TDMA es una técnica de multiplexión que distribuye la información en ranuras llamadas *Slots*, las cuales son alternas en el tiempo, permitiendo de esta forma, acceso múltiple a distintas señales que pretendan ser transmitidas por un mismo medio.

Esta técnica de multiplexión se emplea en infinidad de protocolos, sola o en combinación de otras. Es utilizada en sistemas que requieran bidireccionalidad de información o en canales de retorno.

Los *Slots* de tiempo asignados a cada canal, en muchos protocolos (como DOCSIS) poseen largos variables, que dependen de la cantidad de información que se quiera transmitir. Esta información es enviada desde la Cabecera, en donde se define el tamaño de los *Slots*. En sistemas enfocados principalmente en la distribución de información, se puede utilizar este método de acceso al medio, pero empleando un solo equipo transmisor en la Cabecera. Este método se llama Multiplexión por División de Tiempo, TDM.

4. CDMA: Acceso Múltiple por División de Código

El Acceso Múltiple por División de Código, CDMA es un método de multiplexión o control de acceso al medio basado en la tecnología de espectro ensanchado. CDMA se basa en el empleo de códigos de secuencia directa, saltos en frecuencia o una combinación de ambos para repartir la información en todo el rango de frecuencias. El receptor capta todo el conjunto de transmisiones y selecciona la de interés mediante el uso de códigos Pseudoaleatorios. Estos códigos deben ser conocidos por el receptor y tener la propiedad de ser ortogonales entre ellos, para evitar interferencias en la señal. Este método es ampliamente utilizado en bs sistemas de comunicaciones inalámbricos, pero también se utiliza en sistemas de fibra óptica o de cable.

Existe otra técnica de Acceso Múltiple por División de Código en la que se realizan saltos de frecuencia, FH-CDMA. Existen también otras implementaciones de la técnica CDMA como Multicarrier, MC-CDMA y por Codificación de Frecuencias, FE-CDMA.

Protocolos y Teoría de Capas

Los protocolos de comunicación son un conjunto de reglas que especifican cómo se realiza el intercambio de datos durante la comunicación entre las partes que conforman una red. En sistemas digitales los protocolos suelen ser bastante complicados y a la vez fundamentales en

la comunicación al interior de la red. Los protocolos definen una serie de pasos que los mensajes deben seguir.

En el caso de la comunicación de datos, una de las clasificaciones más estudiadas es el modelo de 7 capas OSI. La principal ventaja de la utilización de modelos que definan capas es dividir de forma inteligente la red, determinando qué partes de la información transmitida deben ser recibidas por cada capa y los protocolos que rigen este intercambio de información.

	Nombre
Capa 7	Nivel de aplicación
Capa 6	Nivel de presentación
Capa 5	Nivel de sesión
Capa 4	Nivel de transporte
Capa 3	Nivel de red
Capa 2	Nivel de enlace de datos
Capa 1	Nivel físico

Tabla 2-1: Modelo de 7 Capas

La Capa Física del modelo OSI es la encargada de las conexiones en la red, tanto en lo que se refiere al medio físico, características del medio y la forma en la que se transmite la información. Está encargada de transmitir los bits de información a través del medio. En ella se definen las propiedades físicas y características eléctricas de los diversos componentes, así como la velocidad de transmisión y si ésta es *simplex*, *duplex* o *full-duplex*. Esta capa también se encarga de transformar los datos provenientes de la Capa de Enlace en una señal adecuada al medio físico utilizado en la transmisión. En el lado del receptor realiza el trabajo inverso, es decir, se encarga de transformar la señal transmitida por el medio en series de datos binarios que serán entregados a la capa superior.

La Capa de Enlace es la encargada del direccionamiento de los datos en la red, del acceso, la notificación de errores y de la topología de la red. En esta capa se ordenan los paquetes que arriban en diferente orden secuencial, detectando pérdidas y errores en la información

proveniente de la Capa Física. En la Capa de Enlace existe una sub-capa llamada Control de Acceso al Medio, MAC que se encarga de guiar los paquetes por un camino común. Esta sub-capa es de particular interés en el estudio de las Redes HFC.

La Capa de Red se encarga de que los datos lleguen desde el origen a su destino, aún cuando estos no se encuentren conectados directamente. Los dispositivos que realizan esta función se llaman Enrutadores.

La función básica de la Capa de Transporte es dividir en pequeñas partes los datos enviados por las capas superiores y pasarlos a la capa de red. Esta capa está encargada de efectuar el transporte de los datos del origen al destinatario final, independientemente del tipo de red física que se utilice.

La Capa de Sesión se encarga de mantener el enlace entre los dos equipos que estén transmitiendo información. Es decir, dada una sesión establecida entre dos usuarios, la capa de sesión establece, gestiona y finaliza las conexiones entre ellos.

El objetivo de la Capa de Presentación es la representación de la información, de manera que los datos lleguen de forma reconocible, aunque las representaciones internas de la información no sean las mismas. En esta capa se tratan aspectos como la sintaxis y la semántica de los datos que se desean transmitir.

La Capa de Aplicaciones permite acceder a los servicios de las capas inferiores y define los protocolos que utilizan las aplicaciones para intercambiar datos. Entre los protocolos más conocidos destacan: el protocolo de Internet, HTTP (*HyperText Transfer Protocol*); el Protocolo Transferencia de Archivos, FTP (*File Transfer Protocol*); el protocolo de envío y distribución de correo electrónico, SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*).

Control de Acceso al Medio

Como ya se dijo anteriormente, esta subcapa de la Capa de Enlace es muy importante en el estudio de las redes HFC, en especial cuando se utiliza en ellas la técnica de acceso al medio TDMA en los canales de subida. Parte de la información de la red debe ser recibida por todos, en especial la de los canales de bajada con información de difusión, sin embargo, existe información

que debe ser conocida únicamente entre un usuario y la Cabecera. El concepto de Control de Acceso al Medio provee de protocolos que hacen eficiente el funcionamiento y permite la operación correcta de la red.

En sistemas TDMA existen métodos que determinan a qué elemento se le asigna un determinado *Slot* de tiempo. A estos métodos se les conoce como de Reserva. La asignación proviene de comandos centrales, que en el caso de las redes HFC se encuentran en la Cabecera. Otra técnica que utilizan los módems al interior de una red es el Método de Contención. Este método consiste en que cuando un equipo desea ocupar un *Slot* de tiempo, envía un requerimiento. Si dos equipos realizan un requerimiento al mismo tiempo, entonces se dice que Colisionaron, en tal caso ambos esperan un tiempo aleatorio para volver a intentar enviar su información.

Los Métodos de Contención son difíciles de implementar en redes como la HFC, debido principalmente a su compleja arquitectura. Los protocolos que utilizan Método de Contención son llamados Protocolos Aloha.

2.1.3.4 Telefonía

El Servicio de Telefonía o servicios de voz, también se puede integrar en las redes HFC. Requieren sistemas bidireccionales, tiempo real y ancho de banda constante mientras dure la transmisión. La alimentación eléctrica de los equipos que permitan la transmisión de voz puede ser local o remota a partir de los centros de distribución.

El usuario dispone de un dispositivo conocido como Puerto de Voz que convierte las señales telefónicas a señales de Radiofrecuencia, RF para transmitir las a la red HFC. En la Cabecera existe un módem que modula y remodula, utilizando QPSK el tráfico ascendente y descendente entre el puerto de voz y la Cabecera.

Las redes HFC se adaptan a los servicios de voz con las mismas funcionalidades de las redes de conmutación de circuitos, pero la tendencia de todos los fabricantes es dar voz sobre IP, VoIP.¹

El Usuario de un teléfono o Equipo Terminal se conecta a la Oficina Central, a la que se encuentra habitualmente en un punto central del área a la que sirve. Las líneas que conectan un abonado a la Oficina Central se llaman Líneas de Abonado y las líneas que unen oficinas centrales se les conocen como Troncales. Las oficinas centrales se pueden conectar con Oficinas Tandem o intraLATA, que son las encargadas de las comunicaciones de larga distancia entre dos redes Troncales.

Los instrumentos telefónicos no son conectados directamente a los *Switch* al interior de las oficinas centrales, existe un equipo que conecta un grupo de teléfonos ubicados geográficamente cerca y que se conecta a la oficina central. A este equipo se le llama Concentrador DLC (*Digital Loop Carrier*) y mejora la eficiencia de la utilización de cable cuando un grupo de usuarios no se encuentra cerca de la Oficina Central. En la oficina central se requiere de una Interfaz DLC, que es un equipo que sirve de interfaz entre el Switch y los Concentradores DLC.

Cuando el servicio de telefonía es soportado por redes HFC, aparecen variaciones en la arquitectura. Primero desaparece el Colector DLC y es reemplazado por un Terminal Digital HDT, que en lugar de estar en el área donde se ubican los DLC, se encuentra en la Cabecera. Se requiere adicionalmente un Dispositivo de Interfaz de Red, NID en cada hogar entre el teléfono analógico y el equipo que se conecta a la red HFC, tal como se muestra en la Figura 2-3:

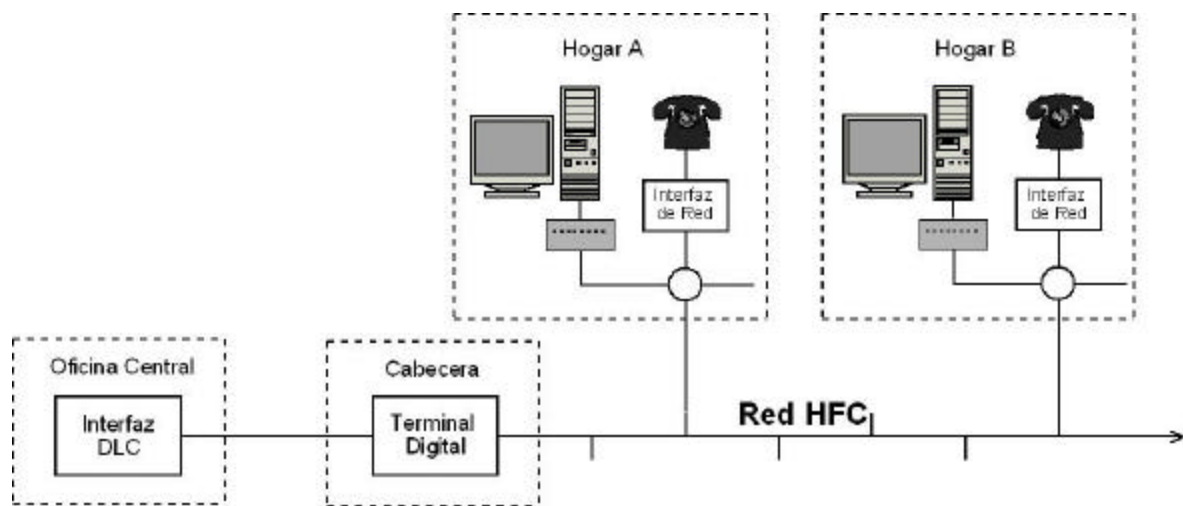


Figura 2-3: Telefonía en redes HFC

Lógicamente, el primer paso en la transmisión de voz por un sistema de telefonía digital corresponde al proceso de digitalización. La digitalización se realiza sobre componentes de frecuencias en el rango audible para el ser humano. La tasa de muestreo en telefonía es de 8000 muestras por segundo, obteniéndose mediante el teorema de Nyquist un ancho de banda de 4 kHz. Luego del muestreo, la señal es convertida en formato digital de 8 bits por muestra. Con esto se obtiene 64 kbps. Para la utilización del medio de manera más eficiente, se utiliza la Multiplexión por División de Tiempo para transmitir más de un canal. En Estados Unidos se agrupan bajo el nombre de DS1 en 24 canales que utilizan 1536 kbps y 8 kbps de control. En Europa, en cambio, se agrupan en 30 canales utilizables y 2 de Control, esto se conoce como E1.

El sistema de telefonía soportado por redes HFC es relativamente nuevo, por lo que no se consideran estándares maduros sobre la arquitectura de red. La Figura 2-3 representa un esquema sencillo de los sistemas actuales de telefonía en redes HFC. Para lograr la transición entre las señales existentes en la red HFC y los equipos de telefonía analógica tradicionales se requiere de un dispositivo conocido como Dispositivo de Interfaz de Red, *NID*. Este equipo se encuentra habitualmente en el exterior de la casa y realiza la interfaz de la red con otros servicios aparte de telefonía.

El Dispositivo de Interfaz de Red extrae parte de la potencia de la señal entrante para alimentar la red privada y el resto de la potencia continua para alimentar otros servicios con los que cuente el usuario. La alimentación de energía de los NID puede ser de diferentes formas, alimentada desde la planta o con energía del hogar del usuario.

En el lado de la Cabecera existen equipos encargados exclusivamente de las señales de telefonía en la red. Uno de los equipos importantes que se encuentra en la Cabecera es el OAM&P, encargado de la operación, administración, mantenimiento y aprovisionamiento de la red telefónica. Por otro lado, la Cabecera cuenta con equipos que sirven de interfaz entre la red y los *Switches* externos a la red y que pueden pertenecer a la red telefónica pública.

Uno de los objetivos de la ingeniería de redes en sistemas de telefonía es lograr que se completen la mayor cantidad de llamadas realizadas por los clientes. Para esto es muy importante evitar los bloqueos de llamadas, lo cual ocurre cuando la red está muy congestionada. Por otro lado, se debe evitar invertir en excesos de equipos que sobredimensionen la red. Aquí aparece el

termino Erlang, el cual corresponde a una unidad adimensional utilizada como una medida estadística del volumen de tráfico. Corresponde a una hora de utilización de un determinado canal. Por ejemplo, si un canal está ocupado durante treinta minutos en una hora se dice que soporta un tráfico de 0,5 Erlangs.

Una suposición que se utiliza comúnmente es que un usuario en su casa utiliza 0,1667 Erlangs (5 minutos cada una hora), las líneas de oficinas 0,3333 Erlangs y las líneas dedicadas a la transmisión de datos 0,6667 Erlangs.

La técnica que se usa para no asignar un canal a cada línea es concentrarlas en grupos con líneas disponibles menores al total de abonados. Esto mejora la eficiencia del medio, pero provoca bloqueo de llamadas en horas conflictivas. La ingeniería de redes se encarga de planificar de manera eficiente estas agrupaciones, de modo de reducir al máximo el número de bloqueos. Un gran número de abonados en un nodo reduce significativamente la probabilidad que todos intenten hacer una llamada al mismo tiempo, pero se ha comprobado que un alto número de abonados incrementa el ruido de concentración y crece el área de servicio del nodo, aumentando los costos de instalación de cableado.

Telefonía IP

La Telefonía bajo el Protocolo de Internet, IP, genera gran interés en las compañías Operadoras Multi-Servicio, como una alternativa de reemplazar el sistema tradicional de telefonía. Esta tecnología resulta atractiva por la reducción en costos en larga distancia y eficiencia de ancho de banda utilizada. Esta telefonía utiliza mecanismos de transporte de datos que son propios del protocolo de Internet. La voz es codificada en tarjetas de sonido, comprimidas mediante software y enviadas en paquetes de información mediante la red Internet. Para que la Telefonía IP tenga una penetración importante, es necesario que se base en los instrumentos telefónicos y se aleje de los computadores, es decir, que el usuario no perciba la diferencia entre su confiable línea telefónica analógica y el moderno teléfono IP.

2.1.4 *Convergencia hacia IMS y Arquitecturas de nueva Generación*

La evolución de la redes hacia lo que se conoce como Redes de Nueva Generación, NGN presenta una oportunidad para las actuales redes del tipo HFC, en especial las que cuentan con operación en base al envío en forma de paquetes. La tecnología HFC de nueva generación ya cuenta con algunos de los requisitos que las NGN deben satisfacer: Soportan servicios del tipo multimedia; las conexiones son orientadas a la sesión; la red está orientada a paquetes con convergencia de voz y datos; y la poseen bases de datos para simplificar la operación.¹³

El Subsistema IP Multimedia, IMS es parte del núcleo de la arquitectura de las nuevas redes y representa la respuesta de la industria a los requerimientos actuales. IMS es desarrollado por el 3GPP/3GPP2 junto a otros importantes organismos de estandarización, tales como la ITU. La arquitectura definida en 3GPP R5 y 3GPP2 es de particular interés de los operadores de redes fijas. La arquitectura IMS está compuesta por múltiples bloques que cumplen con diferentes funciones bien definidas.

Para los operadores de servicios fijos y móviles, la introducción de la arquitectura IMS representa un beneficio. Se considera a largo plazo la migración de todas las redes hacia IMS, incluyendo las del tipo HFC hacia la arquitectura All-IP, con el objetivo de incorporar constantemente nuevos servicios demandados por los usuarios.

PacketCable es una iniciativa de *CableLabs* para ofrecer distintos tipos de servicios en una red bidireccional de cable. En el proyecto participan *CableLabs* junto con distintos operadores de redes de cable y proveedores de equipo, quienes han desarrollado conjuntamente especificaciones de interfaz y reportes técnicos. *PacketCable* es una solución implementada sobre Especificaciones de Interfaz de Servicio de Datos por Cable, DOCSIS 1.1 que utiliza el protocolo IP para ofrecer una arquitectura eficiente orientada a servicios multimedia.

La segunda versión de *PacketCable* adoptó muchas de las funcionalidades definidas para la arquitectura IMS, esto es pensando en un desarrollo conjunto de tecnologías móviles y fijas. En la Figura 2-4 se muestra un esquema que pretende graficar la relación entre DOCSIS e IMS.

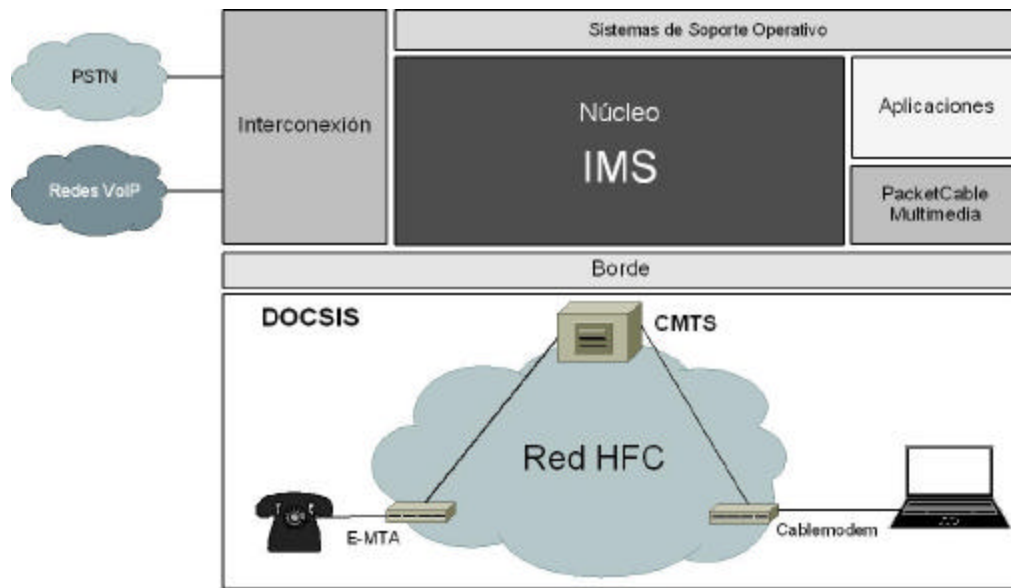


Figura 2-4: Arquitectura IMS simplificada

El principal objetivo de IMS es crear un ambiente en el cual la generación de nuevos servicios y aplicaciones para los usuarios sea más rápida y eficiente. Por lo tanto, resulta de gran importancia el estudio de esta arquitectura, si se pretende entender los servicios soportados por una red HFC.

2.1.4.1 DOCSIS

DOCSIS es un estándar creado por *CableLabs* que permite: “introducir un sistema de datos sobre cable abierto que facilite la rápida definición, diseño, desarrollo e implementación de servicios”. En la actualidad DOCSIS es el estándar más difundido a nivel mundial para redes de HFC.

DOCSIS es un estándar no comercial que define los requisitos de la interfaz de comunicaciones y operaciones para los datos sobre sistemas de cable, lo que permite añadir transferencias de datos a un sistema de televisión por cable existente.

El estándar DOCSIS se encuentra actualmente en la versión 2.0. La versión europea de DOCSIS se denomina EuroDOCSIS. También existen otras variantes de DOCSIS que se emplean en Japón.

En la actualidad existen especificaciones finales del DOCSIS 3.0, cuya principal novedad reside en el soporte para IPv6 y el "*channel bonding*", que permite utilizar varios canales simultáneamente, tanto de subida como de bajada, por lo que la velocidad podrá sobrepasar los 100 Mbps en ambos sentidos.

El ancho de banda de canal de subida de las especificaciones DOCSIS 1.0 y 1.1 es entre 200 KHz y 3,2 MHz. En el caso de DOCSIS 2.0 el canal de subida es de 6,4 MHz. El canal de bajada es de 6 MHz (8 MHz en el caso de EuroDOCSIS).

DOCSIS 1.0 y 1.1 especifican la utilización de una modulación 64-QAM o 256-QAM para el canal de bajada o *Downstream* y QPSK o 16-QAM para el de subida o *Upstream*. DOCSIS 2.0 además permite 64-QAM para el canal de subida.

El estándar DOCSIS emplea métodos de acceso determinísticos, específicamente TDMA y S-CDMA. En contraste con CSMA/CD empleado en *Ethernet*.

El ancho de banda de cada canal depende tanto del ancho del canal como de la modulación utilizada. En canales de 6 MHz y 256-QAM la velocidad llega hasta los 38 Mbps, mientras que con canales de 8 MHz y la misma modulación llega hasta los 51 Mbps. En el caso de la subida, con un canal de 3,2 MHz y 16-QAM habría disponibles 10 Mbps, aunque en el caso de DOCSIS 2.0 al permitir hasta 6,4 MHz y 64-QAM se puede aumentar hasta 30,72 Mbps.

2.1.4.2 *PacketCable*

La integración de *PacketCable* y DOCSIS permite que los operadores de las redes de cable ofrezcan a sus suscriptores servicios de datos, voz y aplicaciones multimedia de manera sencilla y confiable a través de una arquitectura de banda ancha con calidad de servicio de extremo a extremo.¹⁴

Por otro lado, *PacketCable* es el único sistema que define protocolos y compuertas desde el equipo del usuario hasta el punto en que la llamada es terminada en otro extremo. *PacketCable*

es eficiente, seguro y permite la incorporación de servicios multimedia adicionales en tiempo real, como por ejemplo, videoconferencias o juegos *Multi-player* en línea.

PacketCable 1.0

A continuación se muestra la arquitectura de *PacketCable 1.0*:

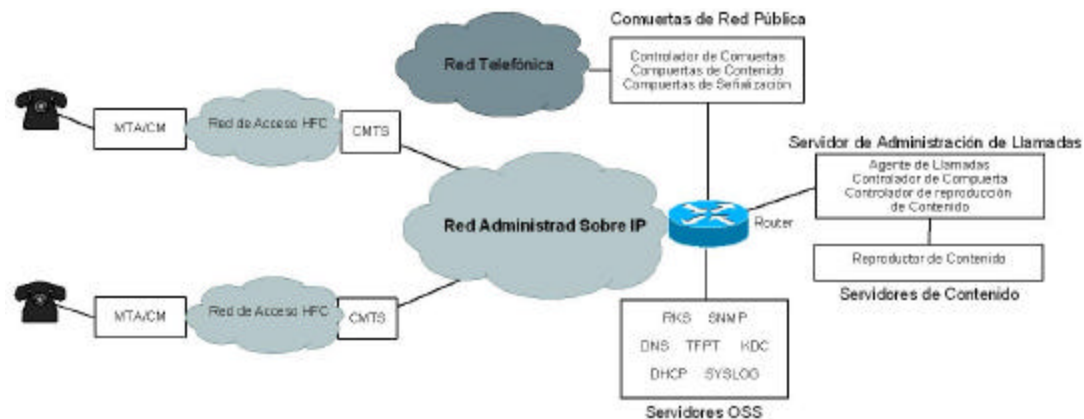


Figura 2-5 : Arquitectura *PacketCable 1.0*

La arquitectura *PacketCable 1.0* incluye los siguientes componentes: Adaptador Terminal Multimedia, MTA que permite la conexión de un teléfono IP a través de un conector RJ-11 y utiliza un protocolo de control de señalización de red; Sistema de Terminación Cable Módem, CMTS necesario para la operación de DOCSIS; Servidor de Administración de Llamadas, CMS encargado de las decisiones de señalamiento y ruteo, iniciadas o terminadas en el MTA; Compuerta de Red Pública; Servidores de Contenido, necesarios en el tono de marcado y otros mensajes de voz; y Servidores OSS, entre los que destaca SNMP para el proceso de provisión del servicio.

Las especificaciones del núcleo de *PacketCable* describen cómo mover las funciones básicas que típicamente se consolidan en uno sólo y costoso *Central Office Switch Class 5*, en lugar de varios servidores de uso general. Esto presenta una solución económica, altamente flexible, escalable y de arquitectura distribuida. La versión más actual de esta arquitectura se define en las especificaciones de *PacketCable 1.5*.

PacketCable Multimedia

A continuación se muestra la arquitectura de *PacketCable Multimedia*:

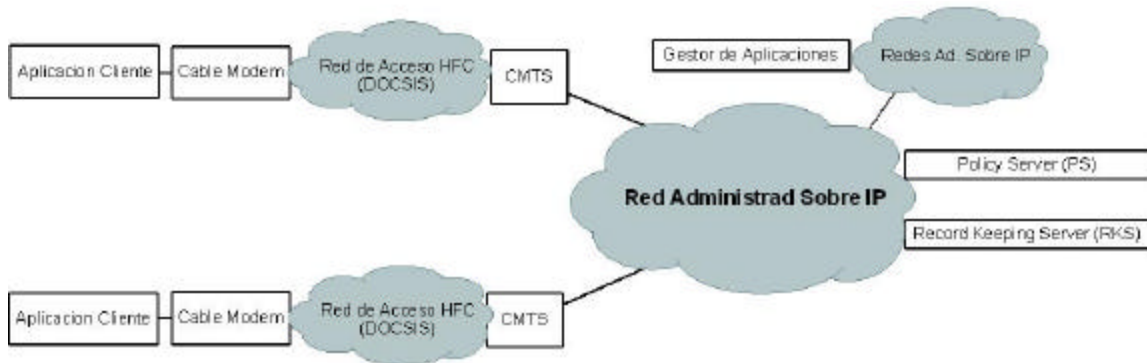


Figura 2-6: Arquitectura *PacketCable multimedia*

La especificación *PacketCable Multimedia* define una arquitectura genérica donde las aplicaciones de control requieren Calidad de Servicio, QoS a nombre de un cliente y donde los Servidores de Políticas, PS autorizan y confían estas peticiones de QoS.

PacketCable 2.0

Esta es una nueva especificación *PacketCable* desarrollada en la actualidad, que amplía la arquitectura de redes de cable sobre Protocolo Internet, IP con la meta de acelerar la convergencia de voz, datos, vídeo y los servicios móviles. *PacketCable 2.0* definirá una arquitectura modular, especificando las interfaces de comunicación que permiten interoperabilidad de servicios.

La estandarización de las especificaciones de *PacketCable*

La industria del cable está persiguiendo la estandarización global de las especificaciones de *PacketCable* para lograr la interoperabilidad mundial de servicios y equipos, independiente del vendedor, de la facilidad de la interconexión con otros operadores y del costo reducido a través de economías de escala. Las especificaciones de *PacketCable* se conocen como IPCablecom internacionalmente dentro de los cuerpos de estándares. Los documentos de *PacketCable/IPCablecom* han sido aprobados por la Sociedad de Ingenieros de las Telecomunicaciones de Cable, SCTE que es reconocido por el *American National Standards Institute*, ANSI y por la Unión de Telecomunicaciones Internacional, ITU para la adopción como estándares mundiales.

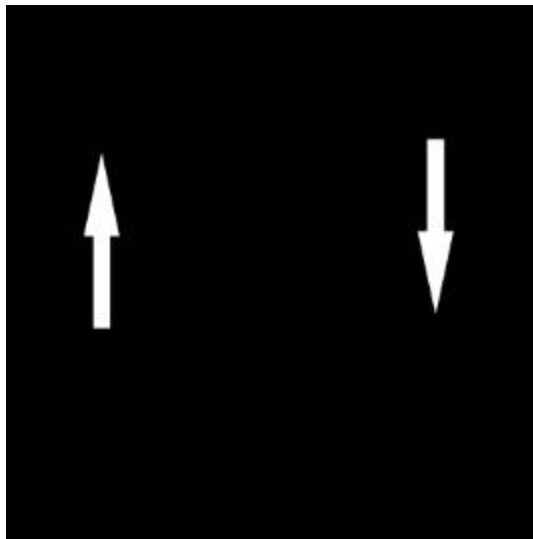


Figura 2-7: Arquitectura Abierta

2.1.5 Servicio soportados por la red HFC

En esta sección se analizan los recientes servicios soportados por las redes HFC, que pretenden generar valor agregado ofreciendo innovación. Estos servicios pretenden generar

nuevas oportunidades de negocios a los Operadores Multi-Servicio, utilizando las redes ya instaladas.

2.1.5.1 Pay-Per-View

El servicio *Pay-Per-View*, PPV permite escoger programas de una lista que se desee ver y sólo estos serán decodificados, previo pago de una cuota y solamente en un horario preanunciado. La diferencia fundamental con VoD es que los programas son transmitidos de manera simultánea para todos los espectadores.

La mayoría de los operadores de TV cable ofrecen dos o más canales de PPV a sus clientes. La señal en cada canal de PPV es encriptada hasta que el suscriptor del cable elija ver la programación en uno de los canales. Para pedir la programación de PPV el suscriptor entra en contacto con la Cabecera del sistema de cable por medio del teléfono o por medio del STB. Después de la orden inicial, una computadora en la Cabecera activa un dispositivo cercano al televisor del usuario llamado Convertidor Direccional, el cual se encarga de descryptar la señal el tiempo que dure la transmisión. Todas las órdenes realizadas por los usuarios son sumadas por la computadora y agregados a la cuenta mensual.

Impulse Pay-Per-View

El servicio *Impulse Pay-Per-View*, IPPV es bastante similar a PPV con la diferencia que se paga la programación en el momento en que está siendo transmitida.

La técnica de IPPV fue creada para un sistema de TV Cable que contaba con dispositivos Convertidores Direccionales Unidireccionales. Cada una de las oficinas centrales, en una zona metropolitana, proporciona la información ANI que representa el número de teléfono del suscriptor y un código que representa el evento que se verá o que será cancelado. Los datos se envían asincrónicamente a la respectiva Unidad de la Comunicación Telefónica, TCU situada en la oficina central. La TCU elimina los datos innecesarios y envía los datos a un Controlador de

Comunicación Telefónica, TCC situado en la Cabecera y que se encarga de reconocer los datos. Los equipos TCC en la Cabecera se juntan a través de un multiplexor a un regulador de sistema. El multiplexor proporciona: el *Buffering*, el control de flujo y el arbitraje entre los TCC. El regulador de sistema recibe datos de cada suscriptor, localiza la dirección correspondiente, examina la contraseña y ubica la identificación de programa que es incorporada por el suscriptor en el código de autorización. Posteriormente, el regulador de sistema autoriza las unidades terminales ubicadas en el hogar del usuario de acuerdo con las peticiones de IPPV y genera la transacción comercial y transfiere la transacción a un sistema de facturación.

Pay-Per-Channel

Pay-Per-Channel es un tipo de PPV en el cual mediante un pago extra, se permite al usuario ver un canal específico no incluido en su programa de TV cable. Este puede ser, por ejemplo, un canal dedicado a deportes, películas, programación para adultos, etc.

Pay-Per-Rent

Pay-Per-Rent es una modalidad de PPV en la cual el pago para ver determinada programación permite al usuario ver la cantidad de veces que sea transmitida durante un determinado tiempo y no sólo por una vez.

El paso siguiente en la evolución de PPV es un salto tecnológico llamado *Video-on-Demand*, VOD

2.1.5.2 Video-on-Demand

El servicio de *Video-on-Demand*, VoD es un servicio de televisión que permite al usuario el acceso a contenidos de imágenes de forma personalizada. El usuario puede elegir en cualquier

momento el programa que desea ver, sin depender de un horario fijo de programación. VoD requiere sistemas en Cabecera complejos y de gran capacidad¹⁵.

El principio de VoD es muy simple. La información de video es convertida a un formato digital y almacenada en discos magnéticos, posteriormente es recuperada por un servidor de video y entregada al usuario, en donde se reconstruye usando un PC o un STB. Con estos equipos es posible acceder a la base de datos del operador para seleccionar únicamente lo que se desea ver. En algunos casos, el usuario tiene otras funciones como detener, retroceder y adelantar lo que está viendo. Los sistemas actuales de VoD pueden ser clasificados en dos categorías True-VoD o TVoD y Near-VoD o NVoD.

Los sistemas de TVoD asignan un canal dedicado para cada usuario permitiéndole a éste retroceder, detener y adelantar a voluntad, por otro lado, eliminan significativamente el tiempo de espera desde que el usuario decide ver un video hasta que éste comienza.¹⁶

Desafortunadamente un canal único y dedicado de televisión para cada cliente no es eficiente desde el punto de vista del ancho de banda y utilización de recursos de la red. Aunque si se utilizan métodos de compresión de imágenes en movimiento como MPEG-2, los requerimientos de uso del servidor lo hacen insostenible para un número grande de usuarios. Un acercamiento a la distribución de video es utilizar un número de canales para difundir el mismo video tal como una película, pero con horas de salida escalonada. Esto es conocido como *Near Video-on-Demand*, NVoD y permite que el espectador elija en el momento que desea, dentro de los límites especificados. Los sistemas de NVoD transmiten los vídeos en varias ocasiones utilizando difusión múltiple o *Multicast*.

El sistema de VoD moderno se basa en IP, lo que significa que en vez de difundir una señal a cada uno, cada consumidor ahora tiene un canal asignado.

Uno de los desafíos más grandes a VoD es el ancho de banda requerido, por lo que el índice de penetración de servicio de VoD es crítico al diseñar la red. La mezcla del servicio es típicamente el 90% de Multicast TV y el 10% de VoD.

La tasa de Consumo es la razón de bits por segundo, en la cual un STB procesa los datos. En el caso de MPEG-2 esta tasa puede ser 4 Mbps o más.

Protocolos de Broadcasting para NVoD

A continuación se muestran algunos de los tipos de protocolos más utilizados en sistemas NVoD^{17 18}:

Staggered

Los protocolos del Tipo *Staggered* utilizan n canales para transmitir programas de largo D . Cada canal inicia la transmisión en tiempo diferido con intervalos de D/n . Es decir, el espectador debe esperar hasta que se inicie una nueva secuencia de transmisión para poder ver el programa completo y desde el inicio.

Estos protocolos no utilizan el ancho de banda destinado para VOD de manera muy eficiente, sin embargo los requerimientos del STB deben ser bastante menos sofisticados que en otros tipos de protocolos, al no requerir *Buffers* de almacenamiento.

Funciones como el adelantar, retroceder y detener la imagen pueden ser implementados con estos protocolos, pero de manera discontinua.

Pyramid

Este protocolo divide el video que se desea transmitir mediante VOD en n segmentos de distinto tamaño, la duración d de cada uno de los segmentos está dada por la Ecuación (2.1):

$$d_i = a^{i-1} \cdot d_1 \quad (2.1)$$

El protocolo requiere de n canales, cada canal transmite únicamente un segmento, es decir C_i transmite el segmento S_i todo el tiempo. El STB a la vez que transmite el canal C_i carga en su sistema de almacenamiento el canal C_{i+1} , iniciando siempre en el canal 1. Un típico valor de a es 2,5

Esta forma de *broadcasting* reduce considerablemente el tiempo de espera de los usuarios. Por ejemplo, para 10 canales y un programa con una duración de 2 horas en el caso de *Staggered*, el tiempo de espera de los usuarios es de 12 minutos, en el caso de *Pyramid* es de sólo 2 minutos.

Este sistema exige mayores requerimientos de almacenamiento para el STB. En efecto el *Buffer* debe ser al menos del tamaño de los dos últimos segmentos, los cuales están entre el 75% o 80% del largo total del video.

Skycraper

Los protocolos del tipo *Skycraper* utilizan series geométricas para determinar la cantidad de datos en cada canal. Estos protocolos dividen los programas que se desean transmitir en n segmentos de igual largo.¹⁹

El canal C_1 transmite el segmento S_1 , el Canal C_2 transmite alternadamente en segmento S_2 y S_3 , el Canal C_3 transmite el segmento S_4 y S_5 alternadamente, etc.

Estos protocolos fueron desarrollados para disminuir el tamaño de los últimos segmentos, sin embargo el STB debe recibir simultáneamente la información de dos canales, lo que complica los dispositivos encargados del procesamiento de la información, pero conserva el tiempo de espera del usuario.

Pagoda

El Protocolo Pagoda divide los videos que se desean transmitir en n segmentos de igual tamaño, utilizando series para determinar los segmentos que irán en cada canal. Este protocolo no requiere que los segmentos sean consecutivos en cada canal, en efecto, luego del primer canal, el cual contiene el primer segmento repetido cíclicamente, los siguientes canales poseen grupos discontinuos de segmentos. Por ejemplo, el canal C_2 contiene los segmentos S_2 y S_4 , pero no el segmento S_3 el cual se encuentra en el canal C_3 .

Los usuarios de Pagoda deben esperar que se inicie en el canal C_1 el segmento S_1 . En ese instante, recibe y transmite junto con recibir y almacenar el canal 2. En el caso que no se encuentre disponible en el canal 2, el siguiente segmento se debe recibir y transmitir junto con recibir y almacenar el segmento del canal 3 y así sucesivamente.

Para entender mejor cómo se ubican los segmentos del protocolo de *broadcasting* Pagoda en los distintos canales se presenta la Tabla 2-2:

Canal 1	S_1	S_1	S_1	S_1	S_1	S_1	S_1	S_1	...
Canal 2	S_2	S_4	S_2	S_5	S_2	S_4	S_2	S_5	...
Canal 3	S_3	S_6	S_7	S_3	S_8	S_8	S_3	S_6	...
...									

Tabla 2-2: Protocolo Pagoda

Harmonic

Los protocolos del tipo *Harmonic* dividen los videos que se desean transmitir en n segmentos de igual tamaño. Cada segmento S_i es difundido en varias ocasiones en su propio canal utilizando un ancho de banda de b/i , donde b es la Tasa de Consumo de video. El cliente debe recibir todos los canales simultáneamente. Esto significa que el servidor y el STB deben soportar un ancho de banda determinado por la ecuación (2.2):

$$B(n) = \sum_{i=1}^n \frac{b}{i} = b \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} = b \cdot H(n) \quad (2.2)$$

para cada video se tiene que $H(n)$ es la armónica número n . A continuación se muestra el mapa de los segmentos de los distintos videos en los canales:

Canal 1	S_1^1	S_1^2	S_1^3	S_1^4	S_1^1	S_1^2	S_1^3	S_1^4	...
Canal 2	S_2^1		S_2^2		S_2^3		S_2^4		...
Canal 3	S_3^1			S_3^2			S_3^4		...
...									

Tabla 2-3: Protocolo *Harmonic*

En la Tabla 2-3, el superíndice representa un video diferente que se desea transmitir y el subíndice el número del segmento correspondiente a este video.

El usuario debe esperar hasta que se inicie en el canal 1 el segmento del video que desea ver. Aquí empieza recibiendo y transmitiendo este segmento al mismo tiempo que recibe y almacena los datos de los otros canales. La ventaja de este método es que las series armónicas crecen más lento que las otras. Pese a que el tiempo de espera aumenta con el número de videos que se desean transmitir, el método *Harmonic* puede tener cientos de segmentos sin requerir anchos de bandas no muy extensos. Por ejemplo para $n \geq 20$ el método *Harmonic* requiere de dispositivos de almacenamiento del 37% del largo del video

La principal ventaja de este tipo de protocolo armónico es su bajo requerimiento de ancho de banda. Sin embargo, el protocolo *Harmonic* presenta algunos problemas asociados a la sincronización de todos los segmentos para que sean almacenados completos y se puedan exhibir correctamente. Esto se soluciona agregando algo de tiempo extra a la espera del usuario.

Video-on-Demand Interactivo

Ninguno de los protocolos existentes de la difusión soporta verdadero VoD, con tiempo de espera del cliente igual a cero. Una solución posible que se propone, requiere la descarga previa de los primeros segmentos de videos utilizando el STB. Este esquema no funciona siempre, debido a que el cliente puede no querer mirar videos que se encuentran previamente descargados. Una solución que se propone es enviar el primer segmento a pedido. Debido a que el primer segmento es pequeño en comparación a los siguientes, no se requerirá el uso de un gran ancho de banda para el servidor.²⁰

Ninguno de los protocolos de difusión mencionados anteriormente soporta funciones de VoD interactivas. Mientras que la pausa y el rebobinado pueden ser soportados introduciendo más espacio en el dispositivo de almacenamiento de datos del STB, el adelantado rápido es la función más difícil para el instrumento que utiliza esos protocolos de la difusión. Existen soluciones posibles para soportar VoD interactivo, como por ejemplo, transmitir la porción del segmento que se desee y que no se encuentre almacenada a pedido. El cliente debe recibir cada

segmento normalmente de la difusión, mientras el servidor envía por un canal asignado los datos que faltan.

HyperVoD

HyperVoD o VoD de Hiper tiempo real es un método de transferir por completo el vídeo de una fuente de almacenaje hasta los usuarios finales ubicados en cualquier parte de la misma red. Por la simplicidad que presenta, Internet puede servir como el medio de entrega. El sistema utiliza el protocolo TCP/IP para entregar el vídeo al destinatario correcto. Las velocidades de transferencia dependen de: el dispositivo de interfaz de red, la velocidad de conexión y congestión de la red.²¹

En los sistemas de TVoD se maximiza la calidad de servicio desde el punto de vista del usuario, mientras que los sistemas de NVoD se reduce al mínimo el costo del sistema.

UVoD

Existe una arquitectura llamada VoD Unificado, UVoD que posee una configuración que permite alcanzar la compensación de costo-funcionamiento entre lo dos extremos TVoD y NVoD. La arquitectura de UVoD puede alcanzar aumentos significativos de rendimiento bajo condiciones típicas de TVoD.

La Figura 2-8 representa el funcionamiento de UVoD. De un total de N canales disponibles, U canales son asignados para *Unicast* y M canales para *Multicast*. Para los canales de *Multicast*, las películas se transmiten repetidamente como en un sistema de NVoD.²²

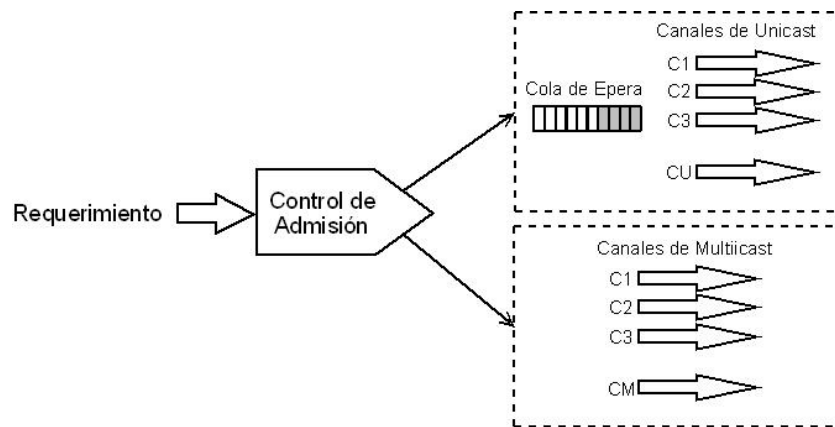


Figura 2-8: Esquema de Funcionamiento UVoD

Los M canales del *Multicast* se dividen igualmente entre las películas que se desean transmitir utilizando *Multicast*.

Cuando aparece la petición de un usuario por una nueva sesión de video, el sistema primero comprueba los canales de *Multicast* para saber si se exhibirá próximamente el vídeo pedido. En caso que el tiempo de espera sea menor a un umbral predeterminado, el usuario verá el video pedido utilizando los canales de *Multicast*. En caso contrario, se asigna uno de los canales de *Unicast* a dicho usuario. Los canales de *Unicast* deben tener una cola de espera, en el caso que haya más usuarios que utilicen los canales de *Unicast*, que el número de canales.²³

Inserción de publicidad

Las nuevas tecnologías en televisión, como el *Video-on-Demand*, Grabadoras de Vídeo Digital, DVR y Televisión sobre el Protocolo Internet, IPTV modifican la forma en que los espectadores ven televisión, es decir la publicidad tradicional pierde efectividad con la aparición de estas nuevas tecnologías, sin embargo existen nuevas oportunidades de ingresos económicos producto de la publicidad.

Los operadores de TV Cable han ampliado su despliegue de servicios con la tecnología de Inserción Digital de Programas, DIP. Este nuevo enfoque integrado para publicidad dinámica brinda a los proveedores de programas, numerosas ventajas desde los puntos de vista operativos y de ahorro en costos operacionales.

2.1.5.3 Gaming-on-Demand

Este servicio es conocido como GoD y permite al usuario el acceso a videojuegos, los que puede elegir de una lista de juegos disponibles en cualquier momento y de manera temporal o permanente.

Cuando la compra es permanente, el usuario debe pagar el precio completo, pero se arriesga a que el producto no se descargue correctamente. En el caso de arrendar temporalmente el juego, el usuario puede pagar sólo una parte de éste o probar con una versión incompleta del juego. Sin embargo, este método tiene la desventaja que el juego se puede usar el tiempo que dure la suscripción y la experiencia del usuario dependerá fuertemente de la calidad y ancho de banda de la conexión.

Las primeras versiones de GoD fallaron debido a problemas con la piratería o reproducción, distribución y/o venta ilegal de los Videojuegos. Para evitar esto, se desarrollaron complicadas claves para encriptar los juegos, así la duplicación del archivo no tiene sentido mientras la llave sea inaccesible.

Videojuegos Multijugadores

Los Videojuegos que permiten multijugadores son un segmento relativamente pequeño en el negocio de las telecomunicaciones, pero cada vez adquieren mayor importancia en las redes como las HFC.²⁴

En la actualidad, si se examinan los *Softwares* y las arquitecturas de red de Videojuegos que soportan multijugadores, se identifican algunos problemas asociados a ellos. Es de especial interés, dado los tipos de Videojuegos que se comercializan en la actualidad, tales como: los Videojuegos de gráficos 3D, de alta interacción, en tiempo real y los que soportan más de un usuario. Estos juegos se caracterizan por requerir altas tasas de transferencia de datos, así como sofisticados y caros equipos de almacenamiento y procesamiento de información. Estas características resultan ser desventajas desde el punto de vista de la masificación de los Videojuegos, sin embargo existen otras dificultades asociadas a la red por la cual los usuarios

comparten la información y son: el retraso de paquetes, que puede ser importante a la hora de la percepción en tiempo real; y la escalabilidad al aumentar el número de usuarios, la cual aumenta en forma cuadrática con el número de usuarios que utilizan la misma sesión.

Multiplayer Games-on-Demand

Existe la propuesta de un modelo nuevo llamado *Multiplayer Games-on-Demand* que mejora las capacidades de redes emergentes, disminuyendo las desventajas mencionadas anteriormente. En especial se enfoca en el problema del alto almacenamiento de datos y la complejidad de los equipos que debe poseer el usuario. Esto se logra utilizando equipos de relativo bajo costo, como STB o Consolas de Videojuegos, en lugar de complejos computadores.²⁵

En *Multiplayer Games-on-Demand* los datos de los juegos son almacenados en algún lugar de la red y son enviados a los usuarios cuando éstos los requieren.

En la Figura 2-9 se muestra un esquema del sistema *Multiplayer Games-on-Demand*. En el Servidor CPU se encuentran los procesadores encargados de recibir, procesar y enviar *updates* de cada uno de los juegos disponibles en el Servidor de Juegos. El servidor *Front-End* se encuentra más cercano a los usuarios físicamente, posee un *Buffer* que le permite almacenar datos que no requieran procesamiento o que se mantienen constantes durante una sesión. Este servidor puede encontrarse en el interior del hogar del usuario o puede servir a más de uno, como se muestra en la Figura 2-9.

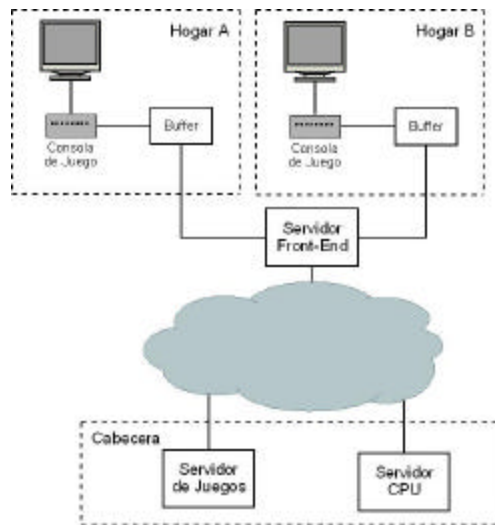


Figura 2-9: Esquema *Multiplayer Games-on-Demand*

2.1.5.4 IPTV

La Televisión sobre el Protocolo Internet, IPTV es un sistema de distribución por suscripción de señales de televisión que utiliza conexiones de banda ancha sobre el protocolo IP. A menudo se suministra junto con servicio de conexión a Internet utilizando las redes existentes, pero con un ancho de banda reservado.²⁶

Una diferencia con los principales servicios de televisión existentes, es que no se difunden los contenidos a los suscriptores todo el tiempo, sino que los suscriptores realizan pedidos específicos de lo que desean ver.

Esta tecnología requiere de anchos de banda mayores que los existentes para poder garantizar Calidad de Servicio, QoS igual o superior a la de otros servicios existentes. Se requiere que el usuario, además cuente con un dispositivo que le permita almacenar y transformar la información que será vista como imágenes en su reproductor. Por otro lado, este dispositivo debe permitir el acceso a los contenidos disponibles para realizar pedidos.

El Protocolo Internet, IP es un pariente recién llegado al mundo del TV Cable, el cual tradicionalmente ha enviado la información directamente desde las Cabeceras a los suscriptores. En los últimos cinco años, los operadores de cable han encontrado que las redes IP les permiten

alcanzar una serie de beneficios como: el ahorro en mantenimiento y operación, cubrir mayores distancias, utilizar las redes existentes y adaptarse a las condiciones de la red. Todo esto sin contar que nuevos modelos de negocios se desprenden de IPTV en el rubro de la publicidad y las compras *On Line*.

El protocolo más utilizado, hoy en día, para la distribución de vídeo sobre una red de cable es el *User Datagram Protocol*, UDP. En el protocolo UDP no existen números de secuencia ni retransmisiones de información por pérdida de paquetes. Si un paquete UDP se pierde, pueden aparecer problemas en la imagen mostrada en el dispositivo de visualización del usuario final.

La mayoría de las redes de cable limitan el tamaño de paquetes a 1500 bytes, los paquetes MPEG tienen 188 bytes, lo que significa que siete paquetes MPEG se puede transmitir en un sólo paquete IP. Por esto, se requiere de bajos índices de pérdidas de paquetes para no degradar la imagen.

El enrutamiento en la red IP de vídeo generalmente utiliza el protocolo *Open Shortest Path First*, OSPF y el protocolo *Border Gateway Protocol 4*, BGP-4. Cada Enrutador en una red OSPF mantiene una tabla con el estado de los caminos que le permiten a los paquetes llegar a otros Enrutadores de la red. Si algún camino falla, el Enrutador puede volver a calcular y determinar qué camino secundario puede ser utilizado como una ruta alternativa a cualquier destino alcanzado anteriormente. Los Enrutadores envían periódicamente el estado de los vínculos a otros Enrutadores para informarles cuáles son accesibles a través de ellos.

IP Multicast

La Televisión sobre el protocolo IP puede ser *Unicast* o *Multicast*, según si la información se envía a un único usuario o a múltiples usuarios. Para lograr esto último existe un rango de direcciones IP que está reservado para su uso como direcciones IP *Multicast* y para aplicaciones como Conmutación de Vídeo Digital, SDV.

Como se ha señalado anteriormente, el Protocolo de Internet maneja de manera eficiente tanto *Unicast* como *Multicast*. Ésta es una característica especialmente importante, ya que los

servicios de vídeo utilizan una combinación de *Unicast* y *Multicast*. IP *Multicast* es mucho más eficiente para servicios que sean utilizados por varios usuarios a la vez, ya que una sola copia de cada paquete puede ser replicado por Enrutadores a través de la red, con el consiguiente ahorro de ancho de banda.

La idea principal de IP *Multicast* es crear un término medio entre *Unicast* y *Broadcast*. Donde los usuarios que manifiesten su interés por recibir determinados paquetes, formen parte de un grupo que recibirá esos paquetes. De esta manera, los Enrutadores puedan garantizar la entrega del tráfico a cada estación receptora.

IP *Multicast* utiliza dos protocolos diferentes para distribuir el tráfico *Multicast*: el Protocolo *Multicast* Independiente - Modo Denso, PIM-DM y el Protocolo *Multicast* Independiente – Modo Esparcido, PIM-SM. El Modo Denso es mejor para redes de área local, donde los receptores se concentran en un área, mientras que el Modo Esparcido es mejor para la distribución de tráfico *Multicast* a través de una gran red con un número relativamente pequeño de dispositivos. Las redes de cable utilizan Modo Esparcido para la distribución *Multicast*.

MythTV

El concepto *MythTV* apunta hacia la modificación de un computador personal, con el fin de ampliar las opciones prestadas por la red HFC, convirtiéndolo en un procesador y reproductor de imágenes a disposición del administrador del equipo. Esto mediante un *Software*, que al utilizar determinados *Hardware's*, le permiten al computador adquirir la información desde la red HFC y procesarlas de modo digital y así convertirlas en archivos, almacenándolos en el computador acondicionado.

2.1.5.5 Subtítulos

Una de las ventajas principales que ofrece la televisión digital es la capacidad de entregar servicios adicionales. El más simple de estos servicios es conocido como el subtítular o teletexto.

La función de subtítular se diseña para llevar el texto y los gráficos simples requeridos cuando el idioma del audio no es el idioma local, en lugar del doblaje para el contenido del idioma extranjero.

Los datos de subtítulos y de teletexto son llevados en el interior de paquetes PES. Los subtítulos se entregan como datos confidenciales. El texto es enviado junto con una especificación del momento en el cual debe ser exhibido y la duración que el texto permanecerá en la pantalla. Esto permite que la exhibición del subtítulo sea sincronizada con otros elementos del programa exhibido como el vídeo y el audio.

2.1.5.6 Videoconferencias

Una Videoconferencia, o también denominada Video-llamada se definen como una llamada que incluye el transporte de imágenes en movimiento, esta llamada puede incluir audio y/o texto en conjunto con el transporte de imágenes. Las Videoconferencias se pueden realizar utilizando equipos especializados en esta labor o entre computadores con los equipos necesarios para lograr este tipo de comunicación multimedia. Las videoconferencias se pueden dividir en 3 tipos: personales; de negocios; y conferencias Web.²⁷

Las Video-llamadas del tipo personal son aquellas que se realizan entre 2 usuarios, utilizando computadores con los equipos multimedia requeridos o un video teléfono o ambas. Algunas herramientas de mensajería instantánea como *MSN Messenger*, *Skype*, *iChat AV*, *Yahoo Messenger* y *AOL Instant Messenger* incluyen la posibilidad de transmitir imágenes en movimiento utilizando un computador con equipos multimedia y conexión a Internet.

Las Video-llamadas del tipo de negocios incluye aparte del transporte de imágenes entre dos usuarios, la posibilidad de incluir a más de un usuario, transferencias de archivos, requerimientos mayores de anchos de bandas dedicados y costo adicional. Este tipo de Videoconferencia fue desarrollada apuntando a las empresas que requieren comunicación con el transporte de imágenes en movimiento de sus empleados y están dispuestas a pagar el costo que involucra un alto ancho de banda dedicado.²⁸

Las Videoconferencias *Web* son diseñadas específicamente para páginas *Web*, habitualmente son usadas en *Webminars* o seminarios *Web*, en donde es posible ver y oír al presentador utilizando el navegador de Internet. Sin embargo, en este caso el tráfico es unidireccional. Existen *Softwares* que entregan soluciones al servicio de conferencia vía *Web* como *WebEx* y *Microsoft Live Communications*.

La recomendación en el caso que se desee tener una Videoconferencia, es utilizar una red de Cable, debido al ancho de banda que posee el canal ascendente y la robustez de la red. Por otro lado, el protocolo IP permite videoconferencias a muy bajo costo utilizando *Softwares*. Sin embargo, la penetración de las video-llamadas no han impulsado a los Operadores Multi-Servicio a incluir la videoconferencia como un sistema aparte del servicio Internet, como video-telefonía utilizando interfaces más agradables a los usuarios.

2.1.5.7 EPG

La Guía Electrónica de Programas, EPG es uno de los múltiples servicios que son soportados por las redes HFC. En la guía se encuentran organizados todos los canales que son ofrecidos por el distribuidor de servicios de televisión y los programas que estos ofrecen.

Las Guías Electrónicas de Programas han sido desarrolladas para ayudar a un espectador a descubrir su programación preferida más fácilmente.²⁹

EPG ha avanzado y se ha vuelto de uso más fácil, mostrando en pantallas divididas simultáneamente información útil, a esto se le conoce como *Mosaic EPG*³⁰. Los operadores de TV cable hacen esfuerzos para proporcionar a los suscriptores servicios de uso fácil. El *Mosaic EPG* es el EPG de uso más fácil debido a su interfaz visual amable, en la cual se muestran los programas recomendados. Esos programas se agrupan según su género tales como: noticias, deportes, películas, etc. Para lograr esta clase de servicio, los operadores de TV Cable deben contar con equipos específicos para lograr esta función en su Cabecera.

2.1.5.8 Televisión Mejorada, eTV

En la actualidad existe un gran interés por parte de los MSO por entregar servicios interactivos que utilicen el televisor como interfaz. Esto genera nuevas oportunidades de negocio en el ámbito comercial y publicitario. La Televisión Mejorada, eTV es un ejemplo de desarrollo en este sentido³¹.

La utilización de nuevas tecnologías hace que la industria deba ser capaz de lograr la interoperabilidad de sistemas que permitan entregar un mayor número de servicios personalizados a los espectadores.

El desarrollo de la bidireccionalidad de las redes de TV Cable marca la aparición de una nueva era en la industria de la televisión. La bidireccionalidad de datos permite entre otras cosas, entregar servicios de televisión más personalizados y servicios interactivos. Hoy en día, los operadores de cable están adoptando la interactividad como un mecanismo clave para la construcción de la fidelidad de los clientes.

Simples aplicaciones de eTV permiten incorporar información sobre la imagen y obtener retroalimentación de los programas transmitidos mediante cuestionarios interactivos en pantalla.

Las aplicaciones eTV pueden estar asociadas con la programación específica, éstas se conocen como Obligadas y están condicionadas a funcionar cuando el programa o aviso se esté transmitiendo para poder funcionar. Las aplicaciones eTV no se limitan sólo al control remoto, sino que la interacción se extiende a mensajes de texto, SMS o por medio del teléfono. Desde el punto de vista del cliente, la experiencia de las aplicaciones eTV se mejora con la incorporación de mayor tecnología al *Set-Top* y contar con Grabadoras de Video Personal, PVR y *Video-on-Demand*, VoD. eTV fue creado para permitir a los operadores desplegar aplicaciones interactivas a través de los STB. Las aplicaciones eTV también se ejecutan en dispositivos *tru2way*.

Si bien, el desarrollo y la puesta en marcha de la plataforma no se ha terminado, eTV está mucho más allá de las pruebas de laboratorio y ha entrado en ensayos de campo, que son importantes para validar las tecnologías en uso.

2.2 Metodología Docente

En esta subsección se describe la metodología docente que fue utilizada para la construcción del curso. Esta metodología ya ha sido implementada en otras memorias que desarrollaron cursos sobre otros temas diferentes al de esta memoria, por esta razón la metodología docente es expuesta como un antecedente de la memoria.^{32 33 34}

El Proceso de planificación tiene por objetivo definir el programa del curso, compuesto por un conjunto de unidades programáticas, sus respectivos objetivos y las estrategias para cumplir dichos objetivos

2.2.1 Planificación Curricular

La planificación curricular tiene como objetivo principal generar un Programa de Estudios. Éste está compuesto por: los objetivos generales y específicos; el contenido, la estructura, las unidades programáticas y los módulos de instrucción; y los recursos, en que se describen las estrategias y los medios disponibles.

A continuación se plantean los Procesos Fundamentales en la planificación de la teoría del curso de servicios sobre redes HFC:

2.2.1.1 Formulación de Objetivos del Curso

En este proceso se establecen los objetivos que deberán ser cumplidos por el estudiante a lo largo del curso, con respecto a lo que debe hacer, saber y valorar el alumno. Para esto, se establecen subobjetivos que definen las condiciones con las cuales el alumno debe cumplir con el objetivo central.

Existen algunos criterios para la formación de los objetivos, estos son: estar relacionados con la misión y los requerimientos de la Universidad; tener una formación que sea funcional y operacional; y finalmente, expresar la conducta final en términos que se puedan evaluar.

2.2.1.2 Búsqueda de información

A partir de los objetivos se recopila información sobre el tema que se va tratar, con el objeto de: ubicar el curso en la malla docente; identificar a quienes va dirigido y cuáles son los prerrequisitos que se deben cumplir; determinar el tiempo que se dispone para realizar el curso; saber el número de alumnos adecuados por grupo de estudio; y finalmente, conocer los medios que se disponen para realizar el curso.

2.2.1.3 Diseño del Programa de Estudios

En el programa de estudios se expone la relación que debe tener el objetivo central y los subobjetivos, que comprende los contenidos, las estrategias y los medios que se utilizan para lograrlo. Se estructuran en unidades programáticas que tienen estrecha relación con los subobjetivos y éstos, a su vez, con el objetivo central.

2.2.1.4 Diseño del Programa de Módulos de Estudio

En este proceso, el programa de estudios se subdivide en módulos, que deben contener la totalidad de las partes del programa y contar con los medios disponibles.

El programa de módulos de estudio tiene un modelo que se basa en: introducción, donde se destacan los conceptos fundamentales, vinculándolos a los aprendizajes del módulo anterior; objetivo general; objetivo específico; actividades; síntesis, donde se enfatizan los logros de las actividades; y finalmente, Bibliografía.

2.2.1.5 Diseño del Programa de Evaluación

Este proceso corresponde al diseño del control de cumplimiento de los objetivos antes planteados. Este proceso de control debe entregar datos medibles de la efectividad del aprendizaje y estar enfocado hacia el objetivo central, pero sólo controlar algunos de los subobjetivos por vez.

2.2.1.6 Implementación del Diagnóstico

Esta etapa permite determinar con exactitud los prerequisites de cada módulo, para obtener retroalimentación, modificando de esta manera los contenidos específicos de cada módulo. En este proceso se solucionan aspectos como: los prerequisites que debe tener el alumno para entender los contenidos del curso; y finalmente, si es necesario, modificar los contenidos o agregar otros contenidos de apoyo.

2.2.1.7 Clase Directa y Evaluación Formativa

Una vez que se realizan las modificaciones del proceso anterior, se diseña la clase con el objetivo de orientar al alumno de acuerdo a la planificación y los objetivos del curso, haciendo uso de los medios disponibles y planificación curricular desarrollada.

2.2.1.8 Evaluación acumulativa

Este proceso evalúa el cumplimiento de los objetivos antes planteados, una vez que se terminó el proceso de estudio y aprendizaje. Aquí se evalúa la efectividad del sistema en función de realizar mejoras en caso de detectar falencias.

2.2.2 Planificación de módulos y experiencias

Aquí se muestran los métodos que se utilizaron para la planificación y estructuración de los módulos de instrucción.

La primera etapa del proceso de construcción de los módulos es la planificación. En un proceso de planificación curricular se agrupan materias en grupos temáticos. Es importante destacar que el temario tentativo del curso fue desarrollado antes de la búsqueda de información y sobre éste se realiza la agrupación de materias que conforman las principales unidades docentes del programa de estudios.

Capítulo 3

Resultados

Aquí se encuentran los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto, el cual se inició con la búsqueda y recaudación de información sobre las redes HFC y metodologías docentes.

En este capítulo se encuentran los resultados al aplicar las metodologías docentes elegidas para elaborar un curso, con el objetivo de definir la planificación curricular, el programa de estudios, los módulos que componen el curso, actividades y recursos.

3.1 Descripción del Curso

En esta sección se entrega una descripción del curso desarrollado, en donde se detallan las características de los potenciales profesores, alumnos y sus prerrequisitos.

3.1.1 *Potenciales Alumnos*

El curso está enfocado a: alumnos de pregrado del Departamento de Ingeniería Eléctrica, con interés en tecnologías de información; y profesionales del área de ingeniería de telecomunicaciones, con interés en adquirir conocimientos específicos sobre servicios soportados por las redes HFC.

3.1.2 *Prerrequisitos del Curso*

Los prerrequisitos que debe tener el alumno que desea tomar el curso que se desarrolló en este proyecto deben ser:

- Conceptos Básicos de Telecomunicaciones
 - Arquitectura de redes
 - Teoría de capas
 - Teoría de tráfico
- Conceptos Básicos de Procesamiento de Señales
- Conocimientos en tecnologías de la Información

3.1.3 *Potenciales Profesores*

Los Profesores deben ser Ingenieros Eléctricos con conocimientos en telecomunicaciones y tecnologías de la información. Se debe privilegiar a aquellos que tengan conocimientos

específicos en redes HFC. Se espera que el profesor trabaje o haya trabajado en compañías Operadoras Multi-Servicios, para que entreguen una visión desde el punto de vista de la industria.

3.2 Contenidos y Estrategias

La estrategia del curso, desde el punto de vista de la teoría que debe ser cubierta, es dividirla en 3 partes. La primera parte es una introducción a las redes HFC y su funcionamiento. En la Tabla 3-1 se muestran las unidades programáticas y los módulos, así como los contenidos, la estrategia y los recursos que serán utilizados.

Unidad Programática	Módulo	Contenidos	Estrategia	Recurso
Introducción a las redes HFC	Introducción y Conceptos básicos	Motivación	Clase Expositiva	Presentación 1
		Historia		
		Evolución de las redes HFC		
	Topologías y Elementos de las Redes	Elementos de Red	Clase Expositiva	Presentación 2
		Cabecera		
		Interconexiones de Fibra		
		Nodos de Fibra		
		Red de distribución Coaxial		
		Equipos Terminales		
		Componentes de Planta Interna		
Componentes de Planta Externa				
La Red HFC	Parámetros de calidad	Parámetros de Calidad en el Punto de Terminación de Red (PTR)	Clase Expositiva	Presentación 3
		Diseño de la Red Óptica (Red Troncal)		
		Relación Portadora/Ruido		
		Distorsiones de Segundo y Tercer Orden		
		Diseño de la Red Coaxial (Red de Distribución)		
	Nivel de Señal	Zumbido	Actividad Práctica	Guía 1
		Tasa de Error de Modulación, MER		
		Análisis de los Diagramas de Constelación		
		Mantenimiento y Troubleshooting		
		Tasa de Error de Bit, BER		
		Índice de Calidad Digital, DQI		
		Arquitectura de Disponibilidad de Referencia		
	La vía de Retorno	Capa física	Clase Expositiva	Presentación 4
Calidad de Servicio				
Evaluación de desempeño				
Nuevos desafíos de la Vía de Retorno				
Introducción a las Nuevas Vías de Retorno	Debilidades del canal de Subida DOCSIS	Actividad Práctica	Guía 2	
	Buenas Prácticas			

Tabla 3-1: Primera parte del Curso

En la Tabla 3-2 se muestran las unidades programáticas, los módulos, los contenidos, la estrategia y los recursos de la segunda parte del curso.

Unidad Programática	Módulo	Contenidos	Estrategia	Recurso
Señales sobre las Redes HFC	Televisión Analógica	Introducción a la Televisión Analógica	Clase Expositiva	Presentación 5
		Modulación		
		Televisión Analógica Moderna		
	Televisión Digital	Introducción a la Televisión Digital	Clase Expositiva	Presentación 6
		Señales digitales		
		Televisión de Alta Definición		
		Compresión digital		
		Modulación		
	Transporte de Datos	Corrección de error	Clase Expositiva	Presentación 7
		Calidad de la señal y calidad de la imagen		
		Introducción al Transporte de Datos		
	Telefonía	Modulación	Clase Expositiva	Presentación 8
		Formas de compartir el Espectro		
		Protocolos y teoría de capas		
		Control de Acceso al Medio		
Introducción a la telefonía				
Arquitectura del sistema de telefonía				
Telefonía en Redes HFC				
Jerarquía de red de telefonía digital				
Elementos de la Red				
Calidad de Servicio				
Telefonía IP				

Tabla 3-2: Segunda parte del Curso

En la Tabla 3-3 se muestran las unidades programáticas, los módulos, los contenidos, la estrategia y los recursos de la tercera parte del curso.

Unidad Programática	Módulo	Contenidos	Estrategia	Recurso
Convergencia hacia IMS y Arquitecturas de Nueva Generación	Introducción a PacketCable	Introducción a IMS	Clase Expositiva	Presentación 9
		DOCSIS		
		PacketCable		
		PacketCable 1.0		
	El Futuro de PacketCable	PacketCable Multimedia	Clase Expositiva	
	PacketCable 2.0			
	Elementos de QoS			
	La estandarización de las especificaciones de PacketCable			
	TISPAN			
Servicios Soportados por la Red HFC	Servicios Asociados a Televisión	Subtítulos	Clase Expositiva	Presentación 10
		Inserción de Publicidad		
		EPG		
		IPTV		
		Pay-Per-View		
		Impulse Pay-Per-View		
		Pay Per Channel		
		Pay-per-rent		
	Video On Demand	Introducción a Video on Demand	Clase Expositiva	Presentación 11
		Protocolos de Broadcasting para NVoD		
Video on Demand Interactivo				
HyperVoD				
	UVoD			
Otros Servicios	Gaming On Demand	Clase Expositiva	Presentación 11	
	Introducción			
	Videojuegos Multijugadores			
	Multiplayer Games on Demand			
	Videoconferencias			

Tabla 3-3: Tercera parte del Curso

3.3 Diseño del Curso

3.3.1 *Periodo estimado*

El periodo estimado para el desarrollo del curso es de 15 semanas, por lo que se requiere un semestre académico para realizar el curso.

3.3.2 *Contenidos Teóricos*

A continuación se muestran los contenidos del curso, los cuales fueron divididos en unidades programáticas y subdivididas en los módulos que las componen.

3.3.2.1 Introducción a las redes HFC

Introducción y Conceptos básicos

Este módulo introduce a los alumnos al curso, entregando la motivación para realizar estudios sobre redes HFC. Se pretende mostrar la historia de las redes HFC desde sus inicios y la evolución de éstas a lo largo de los años que llevan siendo utilizadas. También se entrega un acercamiento a la estructura de estas redes.

Topologías y Elementos de las Redes HFC

En este módulo se pretende mostrar los elementos básicos que conforman una red, ubicándolos en cada una de las partes de la misma, haciendo la diferencia si pertenecen a la Cabecera, interconexiones de Fibra, ramos de Fibra, red de distribución Coaxial o equipos Terminales.

3.3.2.2 La Red HFC

Parámetros de calidad

Para mostrar los parámetros de calidad de una red HFC, se introducen en este módulo los Parámetros de Calidad en el Punto de Terminación de Red, PTR. Se establecen algunos parámetros importantes para el diseño de la red óptica o red troncal y para el diseño de la red coaxial o red de distribución.

La vía de Retorno

El módulo de la vía de retorno trata de explicar la importancia de éstas en las redes HFC. La vía de retorno es requerida para lograr bidireccionalidad en la red. Requiere de un trato especial, ya que el ruido eléctrico en la dirección de subida puede representar un gran problema para los usuarios finales y para el Operador Multi-Servicios. Por este motivo es de especial importancia incluir un módulo dedicado a la vía de retorno.

3.3.2.3 Señales sobre las Redes HFC

Televisión Analógica

Se estudia la Televisión Analógica desde sus inicios y las razones por las cuales ésta sigue existiendo, pese a que existen otras tecnologías más eficientes desde el punto de vista espectral y de costo. También se verá la Televisión Analógica Moderna, los protocolos, los estándares y los métodos de modulación que posee.

Televisión Digital

Aquí se estudia la televisión digital, en especial la compresión digital, la modulación, algunos métodos de corrección de error, calidad de la señal y calidad de la imagen en el caso de televisión digital. En este módulo también se incluirán aspectos como Televisión de Alta Definición y *Cablelabs*.

Transporte de Datos

Se da una introducción al Transporte de Datos, específicamente se verán métodos de modulación, formas de compartir el espectro, protocolos y teoría de capas en especial la sub-capa de Control de Acceso al Medio, muy importante para las redes HFC.

Telefonía

Se entrega una introducción a la telefonía, en especial la arquitectura del sistema telefónico, junto con una visión de su funcionamiento en las redes HFC. Para esto se estudian los elementos que conforman la Red, la jerarquía de red de telefonía digital y la calidad de servicio que presenta ésta. Finalmente, pero no por eso menos importante, se presenta la Telefonía IP.

3.3.2.4 Convergencia hacia IMS y Arquitecturas de Nueva Generación

Introducción a *PacketCable*

La iniciativa *PacketCable* de *CableLabs* permite a una red bidireccional de cable ofrecer distintos tipos de servicios. *PacketCable* es una solución implementada sobre DOCSIS. En este

capítulo se muestra una introducción a estas especificaciones, en especial a las primeras versiones de ellas.

El Futuro de *PacketCable*

La especificación *PacketCable* Multimedia define una arquitectura genérica orientada a servicios multimedia. Por otro lado, en la actualidad, una nueva especificación *PacketCable* que está siendo desarrollada, amplía la arquitectura de redes de cable sobre IP y permitirá acelerar la convergencia de la voz, datos, vídeo y servicios de movilidad. *PacketCable* Multimedia y *PacketCable* 2.0 serán revisados en este módulo junto con la estandarización de las especificaciones de *PacketCable*.

3.3.2.5 Servicios Soportados por la Red HFC

Servicios Asociados a Televisión

En este módulo se describen los servicios de valor agregado, asociados a la televisión, como son: los subtítulos, La Guía Electrónica Programable, EPG e IPTV. Por otro lado, se entrega una visión a los primeros servicios de *Pay TV* como *Pay-Per-View* y sus variaciones: *Impulse Pay-Per-View*; *Pay-Per-Channel*; y *Pay-Per-Rent*.

Video-on-Demand

Se pretende entregar una introducción a *Video-on-Demand* y los protocolos de *Broadcasting* para *Near VoD*, así como *Video-on-Demand* Interactivo y el Futuro de *Video-on-Demand* (*HyperVoD* y *UVoD*).

Otros Servicios

Se refiere a nuevos servicios soportados por las redes HFC relacionadas con el creciente campo del entretenimiento como *Gaming-On-Demand*, Videojuegos para Multijugadores y *Multiplayer Games-on-Demand*. Por otro lado, se presenta el desarrollo y avance de Videoconferencias, como un posible mercado futuro para ser implementado.

3.3.3 Contenidos Prácticos

En este proyecto se desarrollaron 2 experiencias prácticas para complementar los contenidos expuestos de manera teórica. Estas experiencias fueron desarrolladas como propuestas, pues no existe la posibilidad de contar con los equipos apropiados para realizar estas mediciones que permitan evaluar el servicio, ni se tubo acceso a la Cabecera de una red HFC, para evaluar el desempeño del canal de subida. Sin embargo, la propuesta de experiencias prácticas contempla la utilización del laboratorio que fue desarrollado como propuesta adjunta en esta memoria.

3.3.3.1 Evaluación de Servicio

En esta experiencia práctica se tratan temas que permiten evaluar el Nivel de Señal, como son el Zumbido, la Tasa de Error de Modulación, MER, la Tasa de Error de Bit, BER el Índice de Calidad Digital, DQI y el análisis de los Diagramas de Constelación. Por otro lado, se cubren algunos aspectos como Mantenimiento y *Troubleshooting* junto con mostrar algunas Arquitecturas de Disponibilidad de Referencia.

3.3.3.2 La Vía de Retorno

Esta experiencia práctica complementa la información mostrada sobre la vía de retorno cubierta de manera teórica, mostrando las principales debilidades del canal de Subida DOCSIS. Esta explicación se realiza mediante ejemplos de mediciones realizadas por expertos en Cabeceras de redes HFC.

Finalmente se muestran algunas recomendaciones y buenas prácticas, tanto para monitorear el canal de retorno, como la medición del rango dinámico del BER.

3.4 Propuesta de Laboratorios Docentes

3.4.1 Introducción

Como Parte de este trabajo de título, se presenta una propuesta de laboratorios docentes para el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Chile. Estos laboratorios docentes están enfocados en crear experiencias prácticas para los alumnos, complementando otros laboratorios docentes existentes en la actualidad.

El curso de servicios que fue diseñado sobre Redes HFC de nueva generación, contiene propuestas de experiencias prácticas, que pueden ser desarrolladas en el laboratorio que aquí se presenta. El laboratorio representa a escala reducida una Red HFC, ya que las redes implementadas por MSO cubren grandes áreas y poseen un gran número de equipos. En este laboratorio se propone la utilización de cables enrollados que representan distancias típicas en una red tipo. En esta propuesta se contempla nombrar específicamente: los equipos; el largo de los cables coaxiales y fibras ópticas; y los niveles que se deben presentar en cada equipo para un correcto funcionamiento.

El laboratorio docente que se presenta, contiene los equipos básicos para construir una red HFC a escala. La propuesta consta de dos partes: una con los equipos mínimos para construir la red y que ésta quede operacional; la otra propuesta que se entrega, contiene los equipos mínimos y otros equipos que permiten realizar mediciones y simulaciones de ruido para medir el comportamiento de la red frente a éstos.

Esta propuesta de laboratorio complementa los conocimientos entregados en el curso de servicios sobre redes HFC de nueva generación, que es parte de este mismo trabajo de título.

3.4.2 Implementación del Laboratorio

En esta sección, se presentan las dos distintas propuestas de laboratorio docente. En cada una de las secciones se muestra la configuración de los equipos que se deben utilizar. En los anexos, se presenta el esquema general con las conexiones apropiadas.

3.4.2.1 Propuesta básica de laboratorio

La construcción de esta red a escala contempla el análisis de pérdidas debido a los equipos utilizados y las interconexiones de cables o fibras. La técnica que se utilizó para determinar las especificaciones de los equipos, fue la construcción de la red desde el usuario hacia la Cabecera. Para esto se comenzó por el MTA y luego el *Tap*. Las características de los *Taps* utilizados dependen de los largos de las conexiones que los unen y de los requerimientos de los MTA. Entre los extensores de líneas y los *Taps* se encuentra un *Splitter*.

Los extensores de líneas y las conexiones entre ellos se agregan al esquema de la red para brindar más realismo al laboratorio. Lo anterior corresponde a la red de distribución coaxial que se une a la red mediante el nodo óptico y se contempla la utilización un *Power Inserter* y una fuente de poder de señal cuadrada que lo abastece.

El nodo óptico conecta la fibra óptica con la red de distribución coaxial. La fibra óptica se conecta con el transmisor y receptor del CHP. El CHP se conecta finalmente con el CMTS, el cual contiene tarjetas C4 y C3. Si se desean realizar mediciones de los niveles de ruido, éstas deben hacerse utilizando analizadores de espectro. Para el caso de *Downstream* un resultado importante es la medición en el último MTA. Para el caso de *Upstream* una medición importante es entre el CHP y el CMTS en el canal de datos ascendente.

En la Figura 3-1 se muestra el diagrama de bloques de la propuesta básica del laboratorio docente:

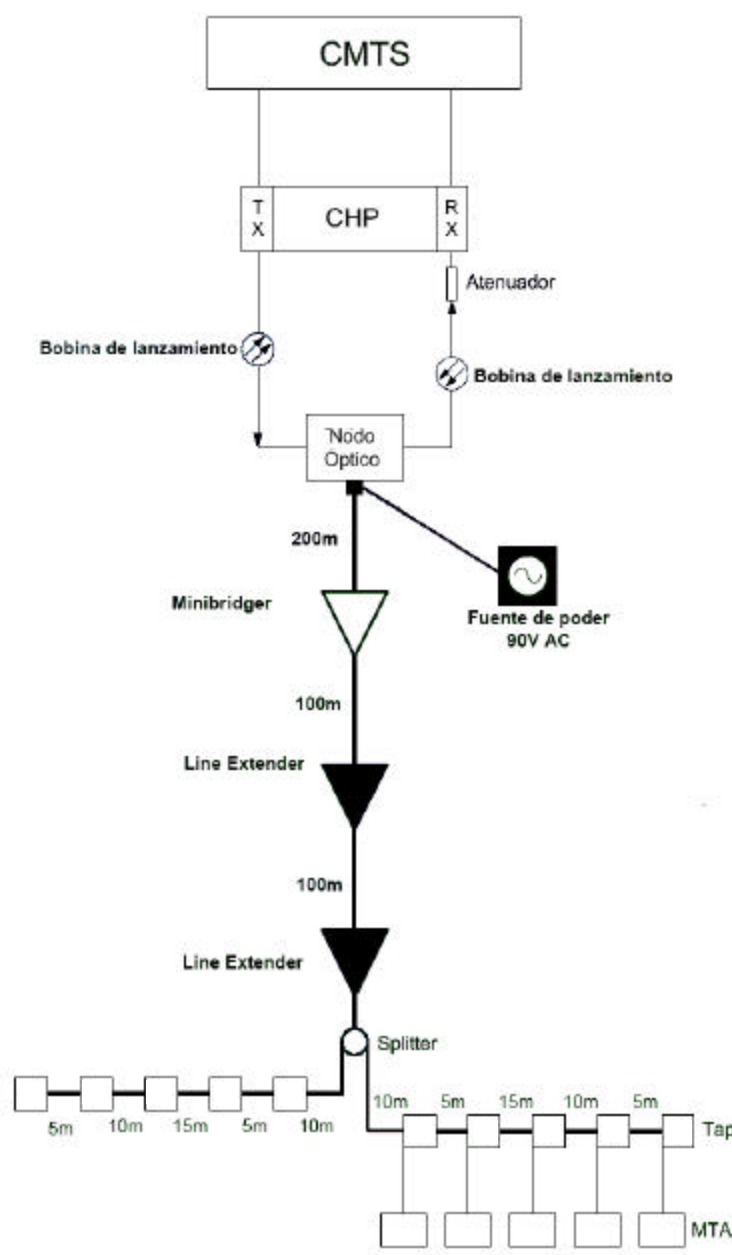


Figura 3-1: Laboratorio Docente Básico

3.4.2.2 Propuesta de laboratorio con simulación de ruido

En la Figura 3-2 se muestra el diagrama de bloques de la propuesta básica del laboratorio docente con simulación de ruido:

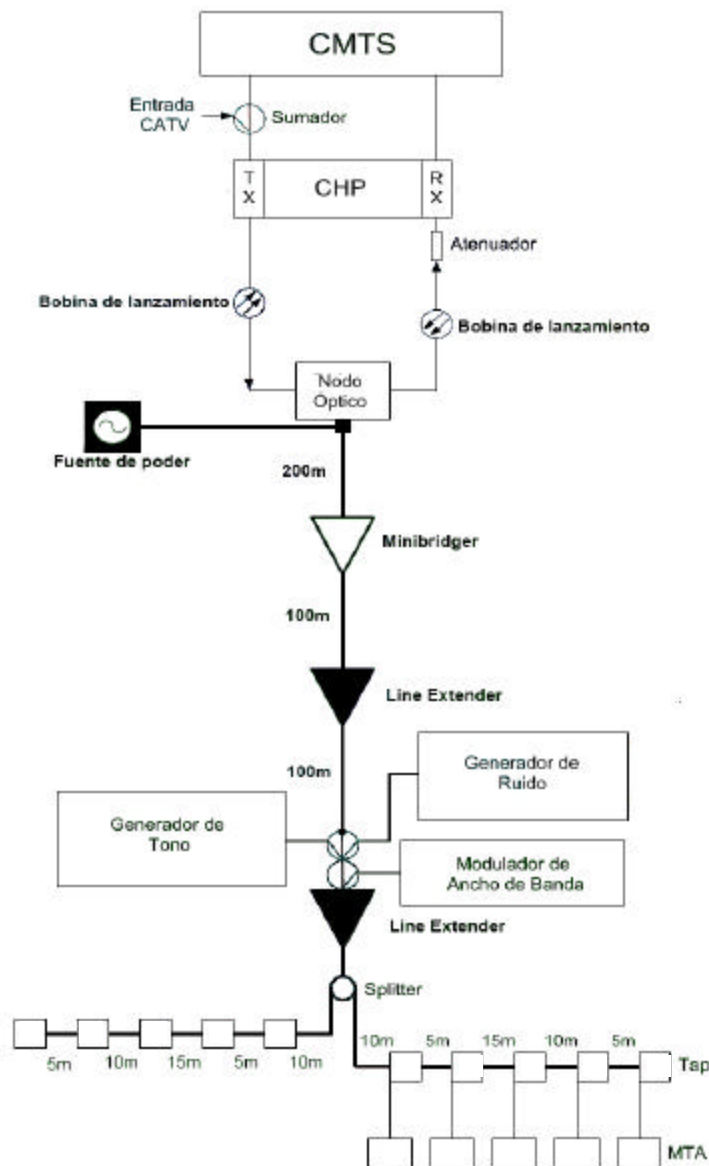


Figura 3-2: Laboratorio Docente con Simulación de Ruido

En la entrada CATV se pueden agregar canales de televisión o un equipo reproductor de video para enviar estas señales al MTA. Si se desea incluir servicios de Internet y telefonía, estos se deben conectar al CMTS. Existe también la posibilidad de recibir canales de un satélite, pero sin duda esto aumenta los costos de implementación del laboratorio y se sale de los alcances de un laboratorio docente.

Los equipos que se plantean en esta configuración son agregados para generar ruido y espurios en la red. Estos equipos no tienen que ver con el funcionamiento tradicional de una red HFC. Sin embargo, presentan grandes ventajas desde el punto de vista docente, ya que ayudan a comprender cómo se comporta ésta frente al ruido.

En la sección 7.4 de los Anexos se muestra el cálculo de potencias que permite determinar las características de los equipos y las potencias en el canal de *Upstream* y *Downstream*.

3.5 Recursos Desarrollados

En esta sección se detallan los recursos que fueron desarrollados, entre los que se encuentran el material docente, las presentaciones, las guías prácticas, el material audiovisual y la propuesta de laboratorio docente.

3.5.1.1 Material Docente

La primera parte del proyecto consistió en una revisión bibliográfica bastante profunda y en paralelo con esta revisión, se elaboró un material docente de apoyo, que cubre las materias vistas en el curso. Este documento tiene cerca de 150 páginas, con ilustraciones, esquemas y tablas.

3.5.1.2 Evaluaciones

Se elaboró un documento que contiene preguntas cuyas respuestas son cubiertas en el curso. Estas preguntas fueron ordenadas en grupos que permiten definir 3 Controles Parciales a lo largo del curso (C1, C2 y C3), la Nota de Control NC, se calcula como el promedio aritmético de las notas obtenidas en los tres Controles Parciales y el Examen (E). Es decir:

$$NC = (C1 + C2 + C3 + E) / 4. \quad (3.1)$$

Todas las actividades complementarias serán evaluadas: Tareas (NT) y Laboratorios Prácticos (NL).

La aprobación del curso requiere que NC sea igual o superior a 4.0 y que el promedio de cada actividad complementaria sea también superior a 4.0. La Nota Final se calcula como:

$$\text{Nota Final: } 0,55 \cdot \text{NC} + 0,30 \cdot \text{NL} + 0,15 \cdot \text{NT} \quad (3.2)$$

3.5.1.3 Presentaciones

Las presentaciones elaboradas representan un aporte importante al desarrollo del curso, permitiéndole al profesor mostrar gráficamente los tópicos, lo que sería imposible de otra forma. Las presentaciones contienen la materia que se cubre en las clases de manera estructurada y gráfica. Para las presentaciones se utilizó un patrón de fondos común que resulta bastante agradable y simple para no distraer al estudiante.

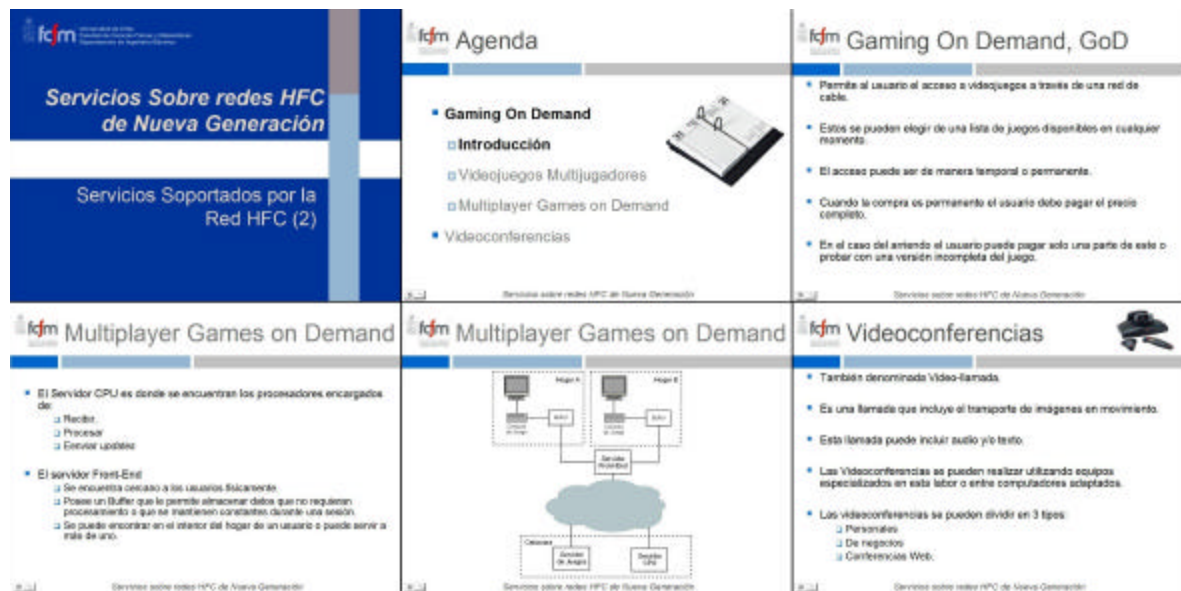


Figura 3-3: Ejemplos de Presentaciones

3.5.1.4 Páginas Wiki

Una página Wiki, es un sitio *Web* que puede ser editado por múltiples voluntarios a través del navegador *Web*. Los usuarios pueden modificar el texto que comparten gratuitamente en Internet. Se subió material de apoyo a la Wiki con el objetivo de apoyar el aprendizaje de los alumnos.

3.5.1.5 Guías Prácticas

Las experiencias prácticas desarrolladas son 2, una refiere a la vía de retorno de las redes HFC y la otra refiere a la evaluación de servicio entregado por la red. Estas experiencias incluyen guías con las materias que se tratan y algunos resultados experimentales típicos, que son presentados a modo de ejemplo.

La guía práctica de la vía de retorno contiene algunos resultados de mediciones que se realizan para determinar problemas que se presenten en la vía de retorno. En esta guía se muestran y catalogan algunas mediciones reales, se presentan las causas y posibles soluciones para los distintos tipos de problemas que se puedan presentar.

En la guía práctica de la evaluación de servicio se presentan algunos niveles de señal considerados importantes por los expertos en la solución de problemas y mantenimiento preventivo de una red HFC. Entender cómo se obtienen estos datos, cuáles sirven y para qué sirven, es fundamental para la comprensión de la red en su totalidad.

3.5.1.6 Propuesta de Laboratorio Docente

Se elaboró una propuesta técnica de laboratorio docente, en conjunto con un experto en la materia. Esa propuesta pretende que en trabajos futuros se desarrolle este laboratorio, junto con guías prácticas más detalladas de las experiencias que sobre él se pueden realizar. En este documento se entrega una lista de equipos mínimos que se requiere para implementar una red HFC básica y una propuesta de equipos que permitirían ampliar las experiencias de medición al incluir generadores de ruidos y equipos de medición.

3.5.1.7 Material Audiovisual

Este material docente utiliza las presentaciones en conjunto y de manera sincronizada con la voz de un locutor que explica las materias vistas en el curso. El curso fue dividido en 11 videos que coinciden con la estructura y contenidos de las materias cubiertas en las clases teóricas. Al igual que las presentaciones, el material audiovisual desarrollado muestra de manera estructurada y gráfica las materias del curso. El fondo resulta ser igual al utilizado en las presentaciones y que es agradable y simple para no distraer al estudiante. Este material audiovisual representa un aporte importante al estudiante, ya que facilita el aprendizaje de manera complementaria a los recursos docentes tradicionales.

Capítulo 4

Discusión de Resultados

En este capítulo se analiza y discuten los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto de memoria. Junto con analizar la aplicabilidad del método docente empleado para la planificación estratégica de los módulos y los contenidos de estos.

En este capítulo se discute sobre la confección de las presentaciones, guías prácticas y material docente que fue desarrollado como apoyo al curso y que representa un aporte al Departamento.

4.1 Estrategia Utilizada

Para cumplir con los objetivos planteados por este trabajo de título no se requiere de la implementación del diagnóstico, el desarrollo de las clases directas y tampoco la aplicación de evaluaciones acumulativas, por lo que sólo se centra esta discusión en las etapas iniciales de la metodología docente propuesta, las que corresponden a la planificación y estructura del curso desarrollado.

4.1.1 Formulación de Objetivos del Curso

La formulación de los objetivos del curso se realizó en una etapa temprana e incluyó el desarrollo de una estructura que cumpliera con ciertos requisitos de secuencia y orden lógico, que permitiera a los alumnos entrar desde lo más general para terminar en los servicios soportados por redes HFC, que es específicamente a lo que apunta el curso. Además, se elaboró en conjunto con el profesor guía una lista con tópicos importantes que debían ser cubiertos en el curso. La lista de tópicos y la estructura fueron revisadas por expertos que actualmente desempeñan importantes cargos en empresas del rubro de las telecomunicaciones y que tienen amplios conocimientos en la materia.

4.1.2 Búsqueda de información

Este paso es fundamental en el desarrollo de este trabajo de título. Las materias que se abordan en el curso contemplan información que se puede obtener de libros y otras materias, que por su carácter más actual y de estado del arte, requieren ser extraídas de publicaciones y páginas de Internet actualizadas. El proceso de búsqueda de información utilizó gran parte del tiempo destinado al proyecto, ya que es una pieza fundamental en la construcción del material docente y la planificación estratégica de los módulos.

Si bien, los servicios soportados por redes HFC existen hace varios años, es difícil encontrar información que sea actual y objetiva. Es muy importante destacar que mucho del material encontrado y utilizado para explicar algunos contenidos expuestos en el material docente, se encuentran en el estado del arte en el momento de la realización de este proyecto o fueron parte de seminarios y convenciones sobre temas afines realizadas el mismo año del desarrollo del proyecto.

La búsqueda de información se realizó en forma paralela con la creación del material docente, esto facilitó que la búsqueda se realizara de manera efectiva y se cubrieran las materias planteadas para cumplir con los objetivos del curso.

4.1.3 Diseño del Programa de Estudios

Para diseñar correctamente el programa de estudios es importante determinar qué grado de profundidad tendrán las materias cubiertas. Para esto, el diseño se basó en el material docente desarrollado. Algunas modificaciones fueron realizadas al programa inicial. La principal modificación fue la eliminación de un capítulo, pero no de sus contenidos, es decir, los contenidos de ese capítulo fueron vistos en otros capítulos del material docente. Para no repetir información, se optó por reagrupar los contenidos en otros capítulos, lo mismo ocurrió en los módulos de instrucción.

4.1.4 Diseño del Programa de Módulos de Estudio

Los módulos de estudio poseen una estructura lógica y ordenada, que permite tener un acercamiento a los servicios ofrecidos por las redes HFC de manera ordenada. Muchos de los contenidos que son explicados en los primeros módulos de instrucción son cubiertos sin profundizar, esto es debido a que entre los prerrequisitos de los alumnos, se estipula que deben contar con un conocimiento básico de los temas vistos en estas páginas. Por otro lado, este proyecto no es un curso sobre redes HFC, arquitecturas, estándares, protocolos, técnicas y normas que las componen, sino que sobre los servicios que son soportados por estas redes.

4.1.5 Diseño del Programa de Evaluación

Una vez diseñado el curso y determinado los contenidos específicos que lo componen, se desarrollaron algunas evaluaciones tipo que tienen la intención de cubrir por completo las materias vistas en el curso. Las evaluaciones intentan cuantificar el avance en el proceso de aprendizaje de los alumnos del curso.

4.2 Contenidos del Curso

En esta sección se discuten los contenidos que son cubiertos en el curso que permitirán cumplir con los objetivos que se plantean para él.

4.2.1 Módulos

A continuación se discutirán los tópicos que componen cada uno de los módulos del curso diseñado. Aquí, se justifican los contenidos que fueron mostrados en la sección 3.3 de este documento.

4.2.1.1 Introducción y Conceptos básicos

En este módulo se entrega una introducción a las redes HFC, esto corresponde a un bloque importante para iniciar el curso, ya que presenta la historia y evolución que tuvieron las redes de cable solamente coaxiales y por qué éstas se transformaron en redes híbridas.

Si bien, en este módulo no se habla de las redes HFC actuales y su convergencia hacia IMS y NGN, se menciona el primer paso que estas redes dieron, pasando de una generación unidireccional centrada en *Broadcasting*, para pasar a redes bidireccionales desequilibradas. La evolución de las redes y su relación con IMS se cubre en módulos posteriores, por lo que sólo se menciona someramente en este módulo.

4.2.1.2 Topologías y Elementos de las Redes HFC

El capítulo de topologías y elementos de las redes explica, de manera ordenada, las partes que conforman estas redes. Lo expuesto en este módulo es fundamental para el correcto

entendimiento de las materias posteriores, ya que da una introducción a las partes que conforman la red.

La división de las subsecciones de este módulo coincide con las divisiones que hacen los expertos para explicar los principales bloques y equipos que la conforman. Este orden lógico favorece la comprensión de la red como un conjunto de bloques que poseen distintos equipos, dimensiones, características y funciones, así como el aprovechamiento desde el punto de vista técnico y económico de esta división.

4.2.1.3 Parámetros de calidad

Este capítulo, desde el punto de vista matemático, es el más complejo, debido a la utilización de formulas que permiten determinar algunos de los parámetros de calidad que es importante estimar en una red HFC.

En este capítulo se introducen algunos parámetros de calidad exigidos por las normas chilenas. En capítulos posteriores se concluye que estas normas están en algunos casos por bajo las recomendaciones de DOCSIS, sin embargo se mencionan métodos para calcularlas y cómo influirán en el diseño de la red.

4.2.1.4 La vía de Retorno

La vía de retorno es de gran importancia para los MSO. En este módulo se hace una introducción y se muestran las principales razones de porqué el canal de *Upstream* tiene esta importancia. También se muestran niveles y datos que permiten evaluar el funcionamiento de la red en la transmisión de señales que se dirigen del abonado a la Cabecera. La comprensión de estos niveles es muy importante si se pretende entender el funcionamiento de la red.

4.2.1.5 Televisión Analógica

En este módulo se muestra la televisión analógica desde el punto de vista de NTSC, ya que es una de las tecnologías más exitosas del mundo de las telecomunicaciones, que ha sufrido modificaciones desde sus inicios. Esta tecnología se ha mantenido vigente, dificultando la introducción de nuevas tecnologías eficientes desde el punto de vista de ancho de banda y calidad de imagen.

Distintos tipos de modulación son vistos en esta sección, cubriendo lo que es conocido como la televisión analógica moderna, que actualmente es utilizada por algunos MSO en el mundo, debido a la negativa de los usuarios a desprenderse de su confiable televisor analógico. Desde este punto de vista, es importante contar con esta información para entregar un completo conocimiento de los servicios que son soportados por las redes HFC.

4.2.1.6 Televisión Digital

La televisión digital es un paso muy importante en la evolución de las redes híbridas de fibra óptica y cable coaxial. La compresión y los métodos de corrección de error son cubiertos de manera simple y completa. Este método de televisión brinda eficiencia a la red, aquí se menciona también la importancia que han tenido los métodos de compresión digital y modulación, no sólo para las redes HFC. La televisión de alta definición es tratada en este módulo de manera introductoria.

4.2.1.7 Transporte de Datos

Los servicios de Internet y transporte de datos que son soportados por la red de cable tiene el orden de velocidades de Mbps. Este ancho de banda brinda una gran experiencia de Internet a los usuarios. La confiabilidad de estas redes hace que los usuarios prefieran esta opción de

conexión frente a otras del mercado. Es muy importante dar a conocer las formas de compartir el espectro y los métodos de modulación que son utilizados en el transporte de datos en las redes HFC. El módulo aborda de manera introductoria y clara, sin adentrarse en detalles que distraigan al estudiante de los objetivos del curso.

Aquí se realiza una aproximación a la teoría de capas, la que es cubierta de manera superficial debido principalmente a que, entre los requisitos de los alumnos, se encuentra que tengan conocimientos básicos en telecomunicaciones.

4.2.1.8 Telefonía

El sistema de telefonía es un servicio soportado por las redes HFC desde hace mucho tiempo. En este módulo se cubre de manera simplificada las arquitecturas de las redes de telecomunicaciones y se muestran las variaciones que tienen cuando son implementados servicios telefónicos sobre redes HFC.

En la evolución y convergencia hacia IMS se encuentran a menudo términos como telefonía IP o VoIP, esto es cubierto en este módulo. Sin embargo, se hace referencia a módulos posteriores donde se tratan específicamente las aplicaciones de la telefonía IP.

4.2.1.9 *PacketCable*

Aquí se hace una introducción a IMS y a las primeras versiones de *PacketCable* y DOCSIS. Estos conceptos deben ser entendidos por quienes pretenden conocer las redes HFC y específicamente los servicios que son soportados por éstas.

En esta parte se hace una aproximación a versiones más avanzadas de *PacketCable* y DOCSIS. Aquí resulta fundamental entender cómo la iniciativa *PacketCable* se preocupa de la Calidad de Servicio, QoS.

Iniciativas como DOCSIS, *PacketCable* y TISPAN no son fáciles de entender, existiendo muchas especificaciones para distintos actores del mercado de las telecomunicaciones, por lo que se realizó un acercamiento a éstas, rescatando lo más importante de ellas.

4.2.1.10 Servicios Asociados a Televisión

Fuera de los servicios de televisión tradicional que fueron tratados en módulos anteriores, existen otros más actuales. Estos servicios, en algunos casos, son agregados de forma complementaria a la televisión digital, como es el caso de los Subtítulos y EPG. Otros tipos de televisión son vistos en este módulo como IPTV y eTV, debido a la cantidad de información que está disponible, estos tipos de televisión son cubiertos con mayor nivel de detalle.

Pay-Per-View es un importante servicio ofrecido por los operadores de cable en todo el mundo, este servicio es explicado junto con todas sus variantes. Es importante mencionar que este módulo también entrega la razón de porqué se desarrollaron otros métodos de televisión pagada con acceso a programación y canales exclusivos.

El servicio personalizado de televisión a pedido VoD es muy importante en las redes HFC. Existen algunas variantes que son presentadas de manera amplia en este documento. Es importante destacar que no es fácil encontrar textos objetivos referidos exclusivamente a técnicas de VoD. Se utilizaron algunas publicaciones para obtener información de VoD, por lo que el resultado es confiable y contemporáneo con el periodo en que se desarrolló este trabajo de título.

4.2.1.11 Otros Servicios

En este módulo final se presentan algunos servicios adicionales que no están relacionados con la televisión. Estos servicios, considerados de nueva generación, requieren de anchos de bandas mayores y de bidireccionalidad de la red. Como si fuera poco, se caracterizan por requerir transmisión de datos en tiempo real. La información con la que se contó para el desarrollo de estos módulos finales que corresponden a servicios desarrollados en la actualidad, fue extraída en su mayoría de publicaciones recientes, lo que complicó la construcción de los módulos, pero agregó una cuota de innovación en las materias tratadas, ya que éstas no se encuentran en otros textos.

4.2.2 *Actividades Prácticas*

Las actividades prácticas desarrolladas ocupan material y ejemplos extraídos de otras partes, esto se debe a que no se cuenta con los equipos necesarios para mostrar algunos parámetros que es importantes medir. Por otro lado, no se contó con el acceso a la Cabecera de una red HFC para poder obtener mediciones de ejemplo reales. Sin embargo, el material utilizado es de gran confiabilidad y fue revisado por expertos con años de experiencia.

4.2.2.1 Evaluación de Servicio

La materia cubierta en estas guías prácticas fue vista de manera teórica en las clases expositivas, sin embargo es de gran importancia contar con un acercamiento de manera práctica a temas como el Zumbido, la Tasa de Error de Modulación, MER, la Tasa de Error de Bit, BER, el Índice de Calidad Digital, DQI y el análisis de los Diagramas de Constelación.

4.2.2.2 La Vía de Retorno

Como complemento a la información mostrada sobre la vía de retorno, en las clases expositivas, esta experiencia práctica ayuda a entender de mejor manera los problemas que en esta vía se presentan y algunas aproximaciones a los posibles causantes.

Finalmente, se muestran algunas recomendaciones y buenas prácticas para monitorear el canal de retorno. Esta información fue obtenida de seminarios realizados el mismo año del desarrollo de la memoria y realizada por expertos con años de experiencia en la materia.

Capítulo 5

Conclusiones

En este capítulo se muestran muchos de los objetivos que fueron planteados al inicio y que fueron logrados en el desarrollo del proyecto. Por otro lado, se analiza el alcance de los resultados obtenidos y los logros. Junto con este análisis final se presenta también una propuesta para trabajos futuros.

5.1 Alcance de los Resultados

El alcance de los resultados de este proyecto se extiende más allá del aporte del curso mismo. En esta sección se pretende mostrar los alcances de los resultados obtenidos y los aportes que entrega el proyecto.

Esta memoria de título plantea una propuesta nueva e innovadora para un curso electivo del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Chile, debido a que el curso puede

ser impartido en un semestre académico. Muchas de las materias cubiertas en este curso fueron vistas en otros cursos, e incluso de manera más amplia. Sin embargo, aquí se le da un nuevo enfoque bastante práctico y orientado a la industria. Conceptos tales como antenas, arquitecturas de red, modelo de capas, señales digitales, métodos de modulación y formas de compartir el espectro, fueron tratados en cursos que se encuentran dentro de los requisitos de los alumnos que desean tomar éste.

Por otro lado, el curso desarrollado cuenta con un material docente de apoyo a las clases expositivas y a las experiencias prácticas. Este material cubre materias bastante importantes en el ámbito de las telecomunicaciones. Si bien, las materias cubiertas no son tratadas con gran profundidad, cuentan con el enfoque orientado a las redes HFC. El alcance de este resultado se extiende más allá del Departamento para el cual fue desarrollado, ya que los conocimientos que contiene este material docente son importantes a nivel mundial. El material docente se publicó en Wiki, por lo que queda a disposición de quien desee obtener información sobre redes HFC en todo el mundo.

Las experiencias prácticas son una guía introductoria a quien pretende tener una relación laboral con redes HFC. Desde este punto de vista, resulta ser un aporte importante a los estudiantes y futuros ingenieros eléctricos que deseen conocer más de las redes HFC y servicios soportados por estas redes.

El diseño del laboratorio docente que se plantea, representa un gran aporte al departamento, ya que permite implementar un laboratorio simple de redes HFC. La amplia gama de servicios que estas redes soportan y los atributos que fueron explicados en los antecedentes de esta memoria dan importancia al laboratorio docente que se puede implementar con una propuesta como ésta.

La propuesta desarrollada tiene un número bastante reducido de equipos en comparación a las redes HFC instaladas por los MSO. El número reducido de equipos y conexiones no perjudica el grado de realismo que tiene el laboratorio a escala, sin embargo el costo aproximado de la implementación y puesta en marcha es perfectamente abordable por el DIE. Por otro lado, los equipos utilizados no deben ser necesariamente nuevos, lo que también puede representar un ahorro.

El aporte del laboratorio docente complementa, en gran medida, el resto del trabajo que se desarrolló en este trabajo de título, ya que explica de manera práctica los alcances de las redes HFC. Por otro lado, el laboratorio deja abierta la posibilidad de simular la entrega de servicios de valor agregado como los que fueron estudiados en este trabajo de título. El alcance de este aporte, entonces, se extiende más allá de lo teórico.

5.2 Metas y Logros

El trabajo realizado presentó resultados satisfactorios desde el punto de vista de los resultados propuestos en un principio, así como los que se desarrollaron a medida que este trabajo avanzó.

El material docente desarrollado y las guías prácticas son un reflejo del cumplimiento del objetivo de establecer una base de nociones y conocimientos tecnológicos avanzados sobre redes HFC. El análisis de la arquitectura consideró factores como: la flexibilidad, escalabilidad, seguridad y confiabilidad que presentan las redes HFC. En este sentido se puede decir que se logró el primer objetivo, ya que se seleccionaron los temas más relevantes en el entendimiento de los servicios soportados por las redes HFC.

En cuanto a la metodología docente empleada en este proyecto, se puede concluir que fue utilizada de manera adecuada y con resultados satisfactorios. El programa de estudios construido permite entregar un curso avanzado teórico de redes HFC. En cuanto a la parte práctica, no se generó un programa de estudio completo, pero se entregaron propuestas técnicas documentadas y algunas experiencias que complementan los conocimientos impartidos en la parte teórica. La razón fundamental por la cual las experiencias prácticas no fueron más desarrolladas se debió a que no se contaba con los equipos necesarios para la implementación del laboratorio. Sin embargo, se entregó una propuesta bastante tentativa para la creación de este laboratorio docente en el DIE.

Otra meta que se pretendía cumplir en este proyecto, fue lograr incorporar una batería de mecanismos de comunicación entre profesores, expertos y alumnos. Principalmente, esto se enfocó en la creación de la página Wiki que complementa el desarrollo del curso diseñado en base a clases expositivas y experiencias prácticas.

Un logro importante que se obtuvo en el desarrollo de este trabajo de tesis fue el material audiovisual creado. Los contenidos vistos en este material son explicados con bastante claridad y el apoyo gráfico ayuda a la comprensión de lo que el relator explica. Este material extiende aún más los alcances del curso, ya que está disponible en Internet para quien pretenda conocer más de estos temas.

5.3 Trabajos Futuros

En esta sesión se comentan los trabajos futuros que se deriven del realizado, de manera de dejar propuestas algunas formas de complementar lo desarrollado.

El trabajo realizado fue satisfactorio en función de los objetivos que fueron planteados para el trabajo de título. El trabajo puede ser complementado desde el punto de vista práctico. Las mejoras pueden realizarse en distintos aspectos, uno de ellos es en el laboratorio propuesto. El laboratorio diseñado permite ser construido con un mínimo de equipos, esto permite entregar un prototipo de red que complementa la parte teórica. Algunos de los servicios aquí mencionados son soportados por las redes gracias a importantes inversiones realizadas por los MSO, sin embargo, se pueden entregar servicios con versiones de código abierto o emular la entrega de servicios.

Todo el tiempo se desarrollan servicios nuevos para los usuarios que son soportados por las redes HFC, es decir este curso debe tener un carácter dinámico y los capítulos finales deberían crecer constantemente. Por otro lado, la integración de servicios fijos y móviles que plantea NGN apoya la idea que el curso debe evolucionar progresivamente. Esto es pensando en agregar información y dejar de lado aquella que no sea importante en comparación a la nueva.

En este sentido, la validación de los resultados de este proyecto debe considerarse como un proceso constante, para tener acceso a un curso actualizado y que cumpla con el objetivo de preparar a los alumnos frente a los requerimientos de la industria. Sin embargo, la estructura desarrollada para este curso cumple con lo anterior, ya que fuera de ser flexible, entrega la posibilidad de ingresar nueva información que provenga de recientes servicios soportados por las redes HFC.

Capítulo 6

Referencias bibliográficas

- [1] Daniel Pino Urrutia. 2002. Estudio de la Problemática de la Interactividad de servicios multimediales en redes HFC. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas.
- [2] Visión General de los Sistemas de Cable Híbrido Fibra-Coaxial (HFC)
[En Línea]
< <http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No6/Perez%20Jose/IEEE802141.html> >
[Consulta: 11 de Mayo 2008]
- [3] William Gran. 1994. Cable Televisión (3rd ed). 599p
- [4] Redes híbridas de fibra y cable (HFC)
[En Línea]
< <http://www.it.uniovi.es/docencia/Telecomunicaciones/arss/material/arssTEMA13-REDESCABLE.pdf> >

- [Consulta: Mayo 2008]
- [5] Walter Ciciora, James Farmer y David Large. 2003. *Modern Cable Television Technology*, Second Edition (The Morgan Kaufmann Series in Networking). 813p
- [6] Liang C. Chu. 1999. *A Study on Noisy HFC Network Upstream Channel Failure Prediction and Implementation*. pp.246-249
- [7] NCTA. 1997. *Recommended Practices for Measurements on Cable Television Systems Supplement on Upstream Transport Issues*. 75p
- [8] Belén Carro, et al. 2001. *Nivel de Enlace en Canal de Retorno HFC Bajo Ruido Controlado*. 2p
- [9] Keith Jack. 2001. *Video Demystified: A Handbook for the Digital Engineer* (3rd ed). 782p
- [10] John Arnold, Michael Frater y Mark Pickering. 2007. *Digital Televisión: Technology and Standards*. 644p
- [11] K. F. Ibrahim. 2007. *Newnes Guide to Television and Video Technology*. (2nd ed). 318p
- [12] Hervé Benoit. 2006. *Digital Televisión: Satellite, Cable, Terrestrial, IPTV, Mobile TV in the DVB Framework* (4rd ed). 305p
- [13] Lucent Technologies Inc. 2005. *IP Multimedia Subsystem (IMS) Service Architecture: Supports multiple applications by providing traditional telephony and non-telephony services*
- [14] CableLabs: *Revolutionizing Cable Technology, PacketCable: Specifications*
[En Línea]
< <http://www.packetcable.com/specifications/> >
[Consulta: 5 de Junio 2008]
- [15] Almeroth, K.C. y Ammar, M.H. 1996. *The use of multicast delivery to provide a scalable and interactive Video-on-Demand service*. 23p
- [16] Jack Y. B. Lee. 2002. *On a Unified Architecture for Video-on-Demand Services*. *IEEE Trans. Multimedia*, vol.4, no.1, pp.38–47

- [17] Jerry D. Gibson. 2001. Multimedia Communications Directions and Innovations. 318p
- [18] Steven W. Carter y Darrell D. E Long. 1997. Video-on-Demand Server Efficiency through Stream Tapping, Proceedings of the 6th International Conference on Computer Communications and Networks. 200p
- [19] K.A. Hua, Y. Cai y S. Sheu. 1997. Skyscraper Broadcasting: A New Broadcasting Scheme for Metropolitan Video-on-Demand Systems. Pp.89-100
- [20] Belén Carro, et al. 2001. Nivel de Enlace en Canal de Retorno HFC Bajo Ruido Controlado. 2p
- [21] Dean Zurburg. 1997. Video On Demand - Which Way To Turn?. Conference on Communications, Power and Computing. pp.218-221
- [22] Tim Wauters, et al. 2007. HFC Access Network Design for Switched Broadcast TV Services.
- [23] Jehan-Francois Paris, Steven W. Carter, and Darrell D. E. Long. 1999. Hybrid broadcasting protocol for Video-on-Demand. 10p
- [24] Ricky A. Bangun y H. W. P. Beadle. 1997. A Network Architecture for Multiuser Networked Games on Demand. International Conference on Information, Communications and Signal Processing. 5p
- [25] Grenville Armitage, Mark Claypool y Philip Branco. 2006. Networking and Online Games: Understanding and Engeneering Multiplayer Internet Games. 235p
- [26] Huawei: Multi-Media Innovation Solutions
[En Línea]
<http://www.huawei.com/solutions/core_network/multi_media_innovation_solutions.do>
[Consulta: Julio 2008]
- [27] Michael Gough. 2006. Videoconferencing over IP: Configure, Secure, and Troubleshoot. 338p
- [28] Dhir, Amit. 2004. The Digital Consumer Technology Handbook: A Comprehensive Guide to Devices, Standards, Future Directions, and Programmable Logic Solutions. 673p

- [29] Basic, R. y Mocinic, M. 2002. User's requirements for electronic program guide (EPG) in interactive television (iTV). IEEE Region 8 International Symposium on Video/Image Processing and Multimedia Communications. 6p
- [30] Jinsoo Han; Han, I.; Kwang-Roh Park. 2008. User-Configurable Personalized Mosaic Electronic Program Guide. IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 54. pp.192-196
- [31] Steve Riedl y Doug Jones. 2008. Deploying Enhanced Television with Addressability. 14p
- [32] Mauricio Cerda Espinoza. 2007. Diseño e Implementación de un curso para la gestión /tipificación de proyectos en telecomunicaciones. Santiago de Chile, Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas. 140p
- [33] Nikolai Tchernitchin Lapin. 2007. Diseño e implementación de una IP-Contact Center distribuida económica y con fines docentes. Santiago de Chile, Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas.
- [34] Waldo Masuero Espinosa. 2005. Construcción de una signaling gateway económico con fines docentes. Santiago de Chile, Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas. 131p
- [35] John Crisp. 2001. Introduction to Fiber Optics (2nd Ed). 238p
- [36] Harry G. Perros. 2005. Connection-Oriented Networks: SONET/SDH, ATM, MPLS, and optical networks. 359p
- [37] IEC: Hybrid/Fiber Coax (HFC) and Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) Networks
[En Línea]
< http://www.iec.org/online/tutorials/hfc_dwdm/>
[Consulta: Julio 2008]

Capítulo 7

Anexos

7.1 Fibra Óptica

7.1.1 Introducción

La fibra óptica se ha utilizado en redes de TV cable desde 1991. Inicialmente, se usaron transmisores ópticos de 1310 nm y nodos de fibra para comunicar con redes coaxiales que contaban con cascadas de amplificadores de RF. Las redes HFC típicamente estaban limitadas a transmisiones analógicas de 1550 nm. Por lo general, cada nodo óptico atendía desde 500 a 2000 hogares.³⁵

La transmisión de vídeo analógico disminuye el uso del ancho de banda, por lo que no todo se utiliza para estos fines. La flexibilidad para utilizar el ancho de banda en distintos servicios es una fortaleza de redes HFC.

Uno de los puntos claves es cómo utilizar las últimas millas de manera eficaz, debido a la migración hacia la fibra. Esta migración cada vez es más profunda. Redes de cable coaxial con 1000 veces el ancho de banda del cobre, puede ser utilizada eficazmente para ofrecer una amplia gama de video interactivo, datos, voz y servicios.

Para ampliar la gama de servicios interactivos ofrecidos por las redes HFC, se necesitó hacer algunos cambios a estas redes en la capa de acceso y el transporte. La evolución de las redes plantea dos objetivos principales: utilizar al máximo el ancho de banda disponible y lograr un transporte de información eficiente y confiable para todos los usuarios de la red. Para lograr estos objetivos existen básicamente 4 tecnologías clave a la hora de pensar en un a red óptica:

1. La óptica de 1550 nm de alta potencia puede ser utilizada para llevar tráfico interactivo en múltiples tipos de modulación QAM y para bajar los gastos de instalación de red de fibra óptica
2. Una pieza clave en el desarrollo de troncales de alta velocidad ha sido la utilización del estándar de Redes Ópticas Sincronas, SONET.
3. Multiplexión Densa por División de Longitud de Onda, DWDM se utiliza para aumentar el ancho de banda y para la reducción del costo de acceso. DWDM se puede utilizar dentro de una determinada fibra para aumentar la capacidad.
4. El desarrollo de equipos ópticos pasivos y mejores fibras permiten grandes ahorros y mejoras significativas en el rendimiento.

7.1.2 Optoelectrónica en redes HFC

La última generación de productos optoelectrónicos genera un importante aumento en la capacidad de las redes híbridas de fibra óptica y cable coaxial, permitiendo la entrega de nuevos servicios interactivos de vídeo, datos y voz.

Los MSO se esfuerzan por introducir nuevos servicios y para lograr esto deben encontrar nuevas maneras de aumentar las capacidades de las redes. Una excelente solución para este dilema es la aplicación de la optoelectrónica en los sistemas HFC. Optoelectrónica ha tenido un enorme impacto sobre la evolución de las redes HFC. La introducción de esta tecnología permite a las redes diseñadas originalmente para los servicios de vídeo, proporcionar anchos de banda fiable para tipos de vídeo interactivo, datos, voz y servicios de nueva generación. Esta tecnología vuelve más eficientes las redes haciendo a los MSO más rentables y competitivos.

7.1.3 Redes Ópticas Sincronas, SONET

El estándar de Redes Ópticas Sincronas, SONET fue desarrollado para el transporte de datos en redes de fibra óptica³⁶.

SONET permite la interconexión normada de distintos sistemas de fibra óptica, incluso de distinto fabricante. En las últimas etapas de construcción de SONET se desarrolló una norma que permitiera la interconexión mediante fibra, de las redes telefónicas a nivel mundial. Aquí apareció la denominada Jerarquía Digital Síncrona, SDH.

7.1.4 Multiplexación por división en longitudes de onda densas, DWDM

Multiplexación por división en longitudes de onda densas, DWDM es una técnica de transmisión de señales a través de fibra óptica.³⁷

DWDM es un método de Multiplexión de portadoras ópticas, muy similar a Multiplexión por División de Frecuencias, FDM en medios electromagnéticos. Por una única fibra óptica se transmiten varias portadoras utilizando distintas longitudes de onda para cada láser que representa cada una de ellas. Este método permite aumentar significativamente el ancho de banda de la fibra óptica y permite comunicaciones bidireccionales, estas propiedades la hacen bastante atractiva para empresas de telecomunicaciones en general.

La introducción de nuevos servicios de valor agregado tales como *Video-on-Demand* o aplicaciones multimedia requiere de gran ancho de banda para satisfacer las necesidades de los

usuarios. Para lograr el aumento que se requiere, los MSO pueden aumentar las líneas de fibra óptica o su eficiencia. El aumento de las líneas conlleva, en algunos casos, a costosas inversiones. Por otro lado, la eficiencia de las líneas ya instaladas mejora si se utilizan técnicas de multiplexación por división en el tiempo, TDM, sin embargo estos saltos conllevan inversiones en actualización de los transmisores y receptores que posee el sistema. FDM ha sido utilizada en redes de transporte de datos basados en los estándares SDH/SONET.

La otra alternativa es utilizar DWDM, que permite aumentar la capacidad de transporte de las redes ya instaladas, de manera económica. Las múltiples señales que pueden ser transmitidas por una única fibra pueden transmitir diferentes tipos de datos, velocidades de transmisión e incluso diferentes formatos: SDH/SONET, IP, ATM, entre otros.

7.1.5 Multiprotocol Label Switching, MPLS

Multiprotocol Label Switching, MPLS es un mecanismo de transporte de datos. Fue desarrollado por la IETF y sus detalles se encuentran en la recomendación RFC 3031. En el modelo de 7 capas OSI opera entre la Capa de Enlace y la Capa de Red. MPLS fue diseñado para unificar el transporte de datos entre redes basadas en circuitos y redes basadas en paquetes. La tecnología de conmutación IP/MPLS fue creada para proporcionar circuitos virtuales en las redes IP.

El funcionamiento de MPLS se basa en agregar un encabezado a cada paquete. Dicho encabezado contiene una o más etiquetas, al conjunto de etiquetas se le llama *stack*. Las etiquetas contienen cuatro campos: Valor de la etiqueta de 20 bits; Prioridad de QoS de 3 bits; *Flag* de fondo del *stack* de 1 bit; y Tiempo de Vida, TTL de 8 bits.

La interfaz entre las redes que usan MPLS y otras redes son equipos llamados Ruteadores de Etiqueta en Orilla, LER. Para la distribución de etiquetas a lo largo de la red se utiliza el Protocolo de Distribución de Etiquetas, LDP.

Las redes MPLS se parecen en muchos aspectos a las redes ATM, sin embargo, las redes MPLS se diferencian de éstas, ya que son independientes de la capa 2 del modelo OSI, la capa de transporte.

7.1.6 Interconexiones de Fibra

La fibra óptica se utiliza para transmitir a lo largo de la red señales seleccionadas de todos los tipos y comúnmente en formato digital. En las redes HFC, las interconexiones de fibra proveen la conectividad entre el punto donde se genera el espectro FDM y el punto central de distribución coaxial. También es utilizada para comunicar las Cabeceras y proveedores externos de información, como *Broadcasters* y proveedores de Internet.

En esta sección se verán sólo las conexiones propias de la red HFC. A continuación se muestran algunas arquitecturas básicas:

Estrella

La más simple conexión comúnmente utilizada para transmitir señales analógicas FDM. En la Conexión Estrella se definen diferentes caminos que llegan a un punto común. Esta configuración hace que una falla en una de las fibras afecta sólo a los abonados en ese nodo.

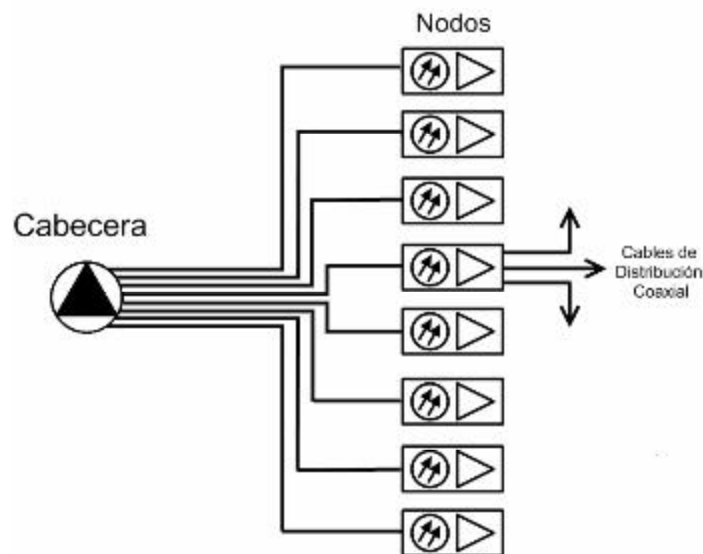


Figura 7-1: Estrella

Anillo Cubierto

La exposición de la red frente a caídas por cortes de fibras puede ser disminuida significativamente con la utilización de anillos que comunican los nodos por distintas vías. Sin embargo, esta configuración no cuenta con la independencia por sectores que posee la configuración estrella. Por otro lado, se logran grandes ahorros en construcción con esta configuración.

Anillo Cubierto Analógico

Cuando un grupo de señales son enviadas a múltiples nodos, desde el punto de vista económico, lo que conviene hacer es compartir el anillo. Esta configuración es altamente utilizada en *Broadcasting*, en especial de señales analógicas.

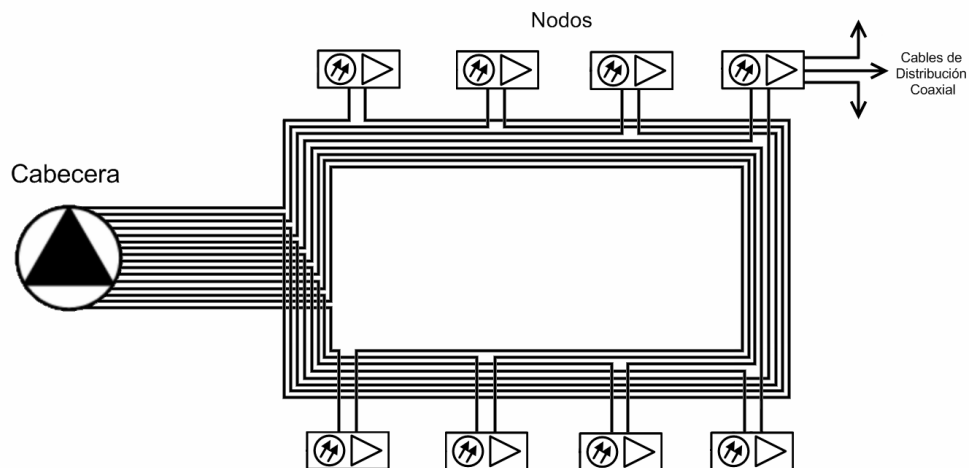


Figura 7-2: Anillo cubierto Analógico

Anillo Digital de Repetición

Un Anillo Digital de Repetición corresponde a una configuración en la cual se repite el anillo de la banda base digital. La información destinada a todos los nodos es multiplexada en tiempo en una sola señal.

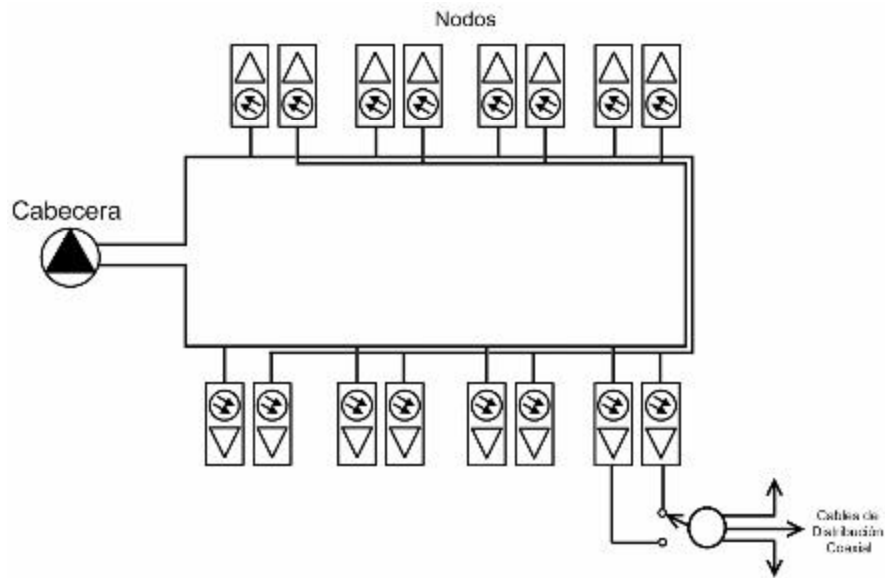


Figura 7-3: Anillo Digital de Repetición

7.2 Componentes de Planta Externa de las redes HFC

7.2.1 Hubs

Un *Hub* o concentrador es un equipo que permite conectar varios equipos entre ellos. Los *Hubs* se utilizan en redes de paquetes y retransmiten la información que reciben a los equipos conectados a estos.

Los *Hubs* llevan acabo la conectividad de una Red de Área Local, LAN para entenderlas es necesario conocer el Protocolo *Ethernet*. *Ethernet* es el protocolo por el cual se comunican

equipos en un entorno local de red. El protocolo *Ethernet* utiliza *Broadcast*, es decir, cuando un equipo envía información a través de un *Hub*, esta información será recibida por todos los equipos conectados a este *Hub*, pero sólo el equipo con la dirección MAC especificada aceptará la información.

El *Hub* básicamente extiende la funcionalidad de la LAN para que el cableado pueda ser extendido a mayor distancia, es por esto que un *Hub* puede ser considerado como un repetidor. El problema es que el *Hub* transmite en algunos casos información que en ocasiones resulta innecesaria y excesiva.

7.2.2 Nodos Ópticos

En los Nodos Ópticos es donde las señales descendentes, es decir, las señales que viajan de la Cabecera a usuario, pasan de un formato óptico a uno eléctrico para continuar su camino hacia el hogar del abonado a través de la red de distribución de cable coaxial. En sistemas bidireccionales, los nodos ópticos también se encargan de recibir las señales del canal de retorno, es decir información que viaja del abonado a la Cabecera, para convertirlas en señales ópticas y transmitir las a la Cabecera.

Una evolución muy importante que tuvieron las redes de CATV, en su paso a ser redes de telecomunicaciones por cable HFC, consistió en sustituir las cadenas de amplificadores y el cable coaxial de la red troncal por enlaces punto a punto de fibra óptica. Esta evolución fue posible gracias a equipos, como los nodos ópticos que adaptaron las redes existentes para incluir nuevas tecnologías.

7.2.3 Taps

El *Tap* es el terminal de la red coaxial de distribución en el lado del usuario. Este equipo se encarga de direccionar la porción de la señal de entrada para cierto número de usuarios, de 1 a 8. Es un equipo bidireccional que opera sobre señales de radiofrecuencia. En la dirección contraria agrupa las señales de los usuarios conectados y los introduce en el canal de *Upstream*

de la red de distribución. Los actuales *Taps* obtienen la potencia eléctrica de las señales de RF y alimentan con potencia eléctrica a los Dispositivos de Interfaz de Red, NID al interior de los hogares.

7.2.4 *Splitters*

Un *Splitter* es un Acoplador distribuidor por fusión, que permite la derivación de la señal óptica por dos o más fibras distintas. Se pueden clasificar en distribuidores en serie y en estrella. Las salidas de los *Splitters* pueden tener un determinado valor de atenuación de luz, este dato es expresado en dB. También se clasifican en: Estándar, SSC; De una ventana, WFC; De dos ventanas, WIC; y Multiplexores de longitud de onda, WDM.

7.2.5 *Amplificadores*

Los Amplificadores son equipos que incrementan una señal que entra a éstos. Esta señal puede ser óptica o eléctrica. Las características de estos amplificadores dependen de su ubicación en la red y del propósito que cumplan.³

La relación entre la entrada y la salida del amplificador puede expresarse en función de la frecuencia de la señal de entrada. La función de transferencia indica la ganancia del amplificador para cada frecuencia. Es habitual mantener a un amplificador trabajando dentro de un determinado rango de frecuencias en el que se comporta de forma lineal, lo cual implica que su ganancia es constante para cualquier amplitud a su entrada.

El fenómeno conocido como saturación hace que operen en zonas no lineales de la función de transferencia, lo que a su vez provoca la aparición de productos de intermodulación de segundo, CSO y tercer orden, CTB. Los amplificadores modernos están diseñados para que se cancelen los CSO con niveles normales de entrada.

7.2.5.1 Amplificador de Fibra Dopada

Son amplificadores que usan fibra dopada y necesitan de un bombeo externo con un láser de onda continua a una frecuencia óptica ligeramente superior a la que amplifican. Un amplificador óptico es capaz de amplificar un conjunto de longitudes de onda utilizando Multiplexión por División de Longitud de Onda, WDM.

El amplificador de fibra dopada más común es el EDFA que se basa en el dopaje con Erblio de una fibra óptica.

7.2.5.2 Amplificador óptico de Semiconductor, SOA

Un amplificador óptico de semiconductor, SOA es un dispositivo optoelectrónico que funcionando bajo determinadas condiciones, amplifica la señal que pasa por él. Una corriente externa que se aplica al SOA permite que éste genere una ganancia en la señal entrante. A la salida del amplificador se produce un ruido asociado al proceso de amplificación, el cual es prácticamente imposible de evitar.

El SOA suele ser de tamaño pequeño y el bombeo se realiza de forma eléctrica. Los SOA son de costo menor que un amplificador EDFA y pueden ser incorporados a otros equipos como láser y moduladores. En la actualidad, las prestaciones de los SOA no son tan buenas como las de los EDFA. Los SOAs presentan un factor de ruido mayor, menos ganancia y se comportan de manera altamente no lineal cuando operan a altas velocidades.

7.2.5.3 Amplificadores de Raman

Estos Amplificadores utilizan el efecto Raman para amplificar la señal óptica. Se basan en un una interacción no lineal entre la señal óptica y la señal de bombeo de alta potencia.

Estos amplificadores utilizan una fibra óptica especialmente diseñada para incrementar la amplificación, en esta fibra se introducen dopantes y se reduce el núcleo de la fibra para aumentar su no linealidad. Los amplificadores de Raman pueden utilizar la fibra anteriormente instalada, pero es mejor utilizar la fibra especializada.

7.3 Evaluación de desempeño del Canal de Retorno HFC

7.3.1 Introducción

El transporte de información por el canal de *Upstream* en televisión por cable no es nuevo. En los años 60 y comienzos de los 70 se empezó a utilizar la banda de 5 MHz a 30 MHz para subida en equipos usados en la industria. Desde esa fecha, muchas aplicaciones han sido desarrolladas y agregadas a las redes de cable. Estas aplicaciones requieren de una mayor bidireccionalidad de la red.

En la actualidad existe un gran interés en la comunicación bidireccional, en especial para las señales de datos digitales de alta velocidad, lo cual coincide con muchas tendencias importantes de la industria. La reciente arquitectura híbrida de cable coaxial y fibra óptica, HFC reduce la vulnerabilidad de los sistemas únicamente coaxiales en temas como el canal de subida.

Es importante tener claras algunas definiciones útiles para entender el comportamiento de la red, específicamente el canal de subida y, de esta forma poder evaluar su desempeño.

7.3.2 Nivel de Señal

El Nivel de Señal se define, numéricamente, como el nivel de energía según lo medido por un equipo que utilice un termoacoplador como transductor. Es decir, la medida será la energía media en la señal, integrada sobre la anchura de banda real ocupada de esa señal. El nivel de señal se debe presentar en dB con respecto a un mV RMS en un sistema de 75 ohms. Así, la

medida entrega el valor del RMS de la sinusoidal que produciría la misma calefacción en una resistencia de 75 ohms.

En el caso del Acceso Múltiple por División de Tiempo, TDMA una señal resulta ser intermitente, en este caso el nivel de la señal medida será el nivel equivalente como si estuviera encendida continuamente.

Será la responsabilidad de los fabricantes de aparatos de medición de señal, publicar un procedimiento válido que permita que el usuario traduzca el nivel mostrado por el dispositivo, al nivel según la definición dicha anteriormente. Este procedimiento debe incluir factores de corrección para permitir que el usuario mida señales en menos anchos de banda que los anchos de banda completos y las corrija para el ancho de banda específicamente ocupado. El fabricante debe proporcionar la información para permitir que un usuario mida el nivel de señal en una secuencia de elementos en una señal TDMA, sin importar la presencia o la ausencia de otras señales, ocupando los otros *Slots* de tiempo. Para ayudar en la medición de niveles de señal de TDMA, el fabricante de un sistema de TDMA debe proporcionar en el receptor TDMA, una señal que se pueda utilizar para sincronizar un instrumento de medida a cualquier elemento de la secuencia de la señal.

Más investigación se requiere para definir las condiciones apropiadas de medida en el caso de métodos más avanzados de modulación, tales como los que implican la extensión del espectro.

Por ejemplo, el cociente *Peak-to-Average* depende fuertemente del número de señales presentes simultáneamente en el ancho de banda ocupado. El fabricante debe definir el cociente *Peak-to-Average* para cualquier número de señales simultáneas.

Además, es necesario definir el *Peak*, para esto generalmente se sugiere considerar cualquier valor máximo de una señal que ocurra un tiempo más largo que el 20% del tiempo de un solo símbolo para cualquier señal digital.

Cada uno de los tipos de modulación puede tener diversas tasas de símbolos para un determinado ancho de banda. Por ejemplo, QAM y QPSK tienen una tasa de símbolos aproximadamente igual al ancho de banda del canal y VSB tiene una tasa de símbolos aproximadamente dos veces el ancho de banda del canal.

7.3.3 Nivel de Ruido

El Nivel de Ruido se define como el nivel de energía de ruido, según lo medido por un equipo que utilice un termoacoplador como transductor. Es decir, será la energía media de ruido, integrada sobre el ancho de banda real ocupado. El nivel de ruido se mide en dB sobre mV RMS en un sistema de 75 ohms.

7.3.4 Cuociente Peak-to-Average

El cuociente *Peak-to-Average* de señales digitales moduladas es importante para transmitir éstas a través de un sistema de distribución. La energía media de la señal debe ser fijada por encima de la señal de ruido para proporcionar claridad en la detección y propagación de la señal por sobre la interferencia producida por el ruido.

Cuando múltiples señales se combinan en un solo sistema el voltaje máximo de la combinación no es simplemente la adición de los *Peaks* de las señales separadas.

La medida de este cuociente requiere el equipo especializado. Por lo tanto, no es un parámetro que necesita ser medido en un sistema que se encuentre funcionando, pero puede ser estimado.

El cuociente *Peak-to-Average* debe ser especificado por el fabricante del modulador digital. Este parámetro es función del método de modulación utilizado y el filtrado aplicado al interior del modulador.

Es suficiente verificar el cuociente *Peak-to-Average* para comprobar simplemente la Tasa de Error por Bit, BER del canal, o utilizar los diagramas de constelación. Estas medidas serán absolutamente sensibles a cualquier distorsión que pueda producir un cuociente *Peak-to-Average* incorrecto.

Una portadora de onda sinusoidal, CW tiene un cuociente *Peak-to-Average* definido y conocido de $20 \cdot \log \sqrt{2}$ o 3dB. Una señal compuesta de N señales de igual valor y puestas

aleatoriamente en fase, tendrán una energía media total igual a $10 \cdot \log \sqrt{N}$ dB mayor que la energía media de una sola portadora. La energía máxima será $10 \cdot \log \sqrt{2N^2}$ dB mayor que la energía media de una sola portadora.

En contraste con las portadoras de onda sinusoidal, las señales de trayectoria de subida típicas, QPSK, QPR, OFDM y QAM, tienen cuocientes *Peak-to-Average* perceptiblemente más altos y la mayoría tienen espectros amplios, llenando la mayor parte del canal asignado. La trayectoria de subida lleva una multiplicidad de señales. La asignación de los niveles individuales de señal proporcionales al ancho del canal da lugar a una señal compuesta con una densidad espectral de energía casi plana y un cuociente *Peak-to-Average* alto similar al del ruido Gaussiano.

Empíricamente se plantea que en el canal de *Upstream* la pérdida de paquetes no debe exceder de alrededor del 1% para servicios de datos convencionales de alta velocidad y entre 0,1% y 0,5% para un servicio de voz fiable.

7.4 Cálculo de Potencias para la Propuesta de Laboratorio

La Tabla 7-1 muestra el cálculo de las potencias entrantes y salientes en los equipos de la red troncal coaxial entre el Nodo Óptico y el *Splitter*.

Equipo	Downstream		Downstream		Upstream		Upstream	
	54MHz		750MHz		42MHz		5MHz	
	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT
<i>Line Extender</i>	31,75	37	28,46	47	20	21,9	20	25,25
<i>Line Extender</i>	31,75	37	28,46	47	20	21,9	20	25,25
<i>Minibridger</i>	28,5	37	14,92	47	20	13,8	20	20,5
Nodo Óptico		39		52	10		10	

Tabla 7-1: Cálculo de Potencias entre el Nodo Óptico y el *Splitter*

En la Tabla 7-2 se muestran las atenuaciones de los cables coaxiales utilizados en la red de distribución coaxial y en la red troncal coaxial.

Modelo	Atenuación [dB]			
	54 MHz	750 MHz	5 MHz	42 MHz
RG6 (5m)	0,2625	0,927	0,095	0,2625
RG6 (10m)	0,525	1,854	0,19	0,525
RG6 (15m)	0,7875	2,781	0,285	0,7875
RG6 (5m)	0,2625	0,927	0,095	0,2625
RG6 (10m)	0,525	1,854	0,19	0,525
RG6 (100m)	5,25	18,54	1,9	5,25
RG6 (100m)	5,25	18,54	1,9	5,25
RG6 (200m)	10,5	37,08	3,8	10,5

Tabla 7-2: Atenuaciones de los cables coaxiales

La Tabla 7-3 muestra las atenuaciones que entregan los *Taps* para el MTA conectado y para el resto de la línea.

Equipo		Atenuación			
		54	750	5	42
		FWD LO	FWD HI	RET LO	RET HI
Tap (8)	Inserción [dB]	3,3*	4,7*	3,5*	3,3*
Tap (8)	Atenuación [dB]	8*	8*	8*	8*
Tap (11)	Inserción [dB]	1,8*	2,6*	2,1*	1,8*
Tap (11)	Atenuación [dB]	11*	11*	11*	11*
Tap (17)	Inserción [dB]	0,7*	1,3*	1*	0,7*
Tap (17)	Atenuación [dB]	17*	17*	17*	17*
Tap (20)	Inserción [dB]	0,7*	1,2*	1,1*	0,7*
Tap (20)	Atenuación [dB]	20*	20*	19*	20*
Tap (20)	Inserción [dB]	0,7*	1,2*	1,1*	0,7*
Tap (20)	Atenuación [dB]	20*	20*	19*	20*
<i>Splitter</i>	Inserción [dB]	4,1**	5,2**	4,1**	4,1**

Tabla 7-3: Atenuaciones de los *Taps* y los cables

* Valor del Datasheet del 9000-L *Power Bypass Tap*.

** Valor del Datasheet del 9TFC.

La Tabla 7-4 muestra el cálculo de las potencias para la red de distribución coaxial luego del *Splitter* y los valores en los MTA.

Equipo	Unidad	54	750	5	42
		FWD LO	FWD HI	RET LO	RET HI
MTA	[dBmV]	19	19	38	38
MTA	[dBmV]	18	20	39	39
MTA	[dBmV]	13	17	44	44
MTA	[dBmV]	11	18	44	46
MTA	[dBmV]	12	20	43	45
<i>Splitter</i>	[dBmV]	37	47	20	20

Tabla 7-4: Valores en los MTA y en el *Splitter*