ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA IPoMPLS COMO TECNOLOGÍA DE *BACKBONE* PARA EL DESPLIEGUE DE IPTV

HANS CRISTHIAN HERNANDEZ CRUZ

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

TUNJA

2012

ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA IP/MPLS COMO ARQUITECTURA DE *BACKBONE* PARA EL DESPLIEGUE DE IPTV.

HANS CRISTHIAN HERNANDEZ CRUZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TUNJA

2012

ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA IP/MPLS COMO ARQUITECTURA DE *BACKBONE* PARA EL DESPLIEGUE DE IPTV.

HANS CRISTHIAN HERNANDEZ CRUZ

DIRECTOR:

MSc (c) WILLIAM FABIÁN CHAPARRO BECERRA

TRABAJO REALIZADO PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TUNJA

2012

DEDICATORIA

A mi pequeño hijito Felipe, quien con su autenticidad, creatividad, e inteligencia nutrió de esencia este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

La facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás de Tunja no se hace responsable por comentarios, afirmaciones y consecuencias consumados por los autores del siguiente trabajo de grado.

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS

Página

LISTA DE TABLAS

Página

GLOSARIO

El presente apartado contiene la lista de definiciones de términos, abreviaturas y contracciones empleadas en el presente documento. Considérese una lectura previa acuciosa puesto que en el contexto del planteamiento tienen un significado explicito so pena de encontrar ambivalencia con otras expresiones de Ingeniería.

ADSL: *Asymetrhic Digital Suscriber Line.*

ATM: *Asinchronous TransferMode.*

Backbone: sin. *core.* Enlace principal o red principal que refiere a las redes de transporte de tráfico de datos.

BGP: *Border Gateway Protocol.* Es un protocolo mediante el cual se intercambian prefijos (los LSP registrados en Internet). Actualmente la totalidad de los LSP intercambian sus tablas de rutas a través del protocolo BGP, este protocolo requiere un *router* que tenga configurado cada uno de los vecinos que intercambiaran información de las rutas individualmente sostenga.

Carrier: Operador de Telecomunicaciones que se dedica al transporte de trafico ya sea nacional o internacional.

CBR: *Constant Bit Rate.*

Conmutación De Paquetes: Método de Comunicación de datos en el que los mensajes se fraccionan en unidades llamadas paquetes que se encaminan por la red en forma individual.

CoS: *Class of Service*, Puede ser clase de servicio de abonado, clase de servicio de línea interurbana o clase de servicio de facilidad privada y referirse a los accesos de origen o de terminación.

CR-LDP: *Constraint Routing-* LDP

Dirección IP: sin. Prefijo de Red.

Dominio MPLS: Es el conjunto de *routers* adyacentes capaces de trabajar para enrutar y/o conmutar y que se encuentran dentro de un mismo ámbito administrativo.

EGP: *External Gateway Protocol,* Es un protocolo que emplea vecinos exteriores para difundir la información de accesibilidad a otros sistemas autónomos.

Enrutamiento: sin: *routing*, encaminamiento. Mecanismo por el cual los paquetes de información son transportados desde su origen hasta su destino, siguiendo un camino o ruta a través de la red.

FEC: *ForwardingEquivalenceClass.*

FrameRelay: Técnica de Comulación de Paquetes que aprovecha los avances de X.25 pero que da un mejor aprovechamiento al recurso transmitido al soportar transmisión de Paquetes de longitud variable sobre medios digitales sumamente confiables como la fibra óptica.

IETF: *Internet Engineering Task Force.*

IGMP*Internet GroupMembershipProtocol* Protocolo de Administración de Grupos de Internet)

IGP: Interior Gateway Protocol. Es un protocolo que genera tablas de enrutamiento dentro de un sistema autónomo.

IOS: *Internetwork Operating System.*

IP: *Internet Protocol*

IPTV: *Internet Protocol Television*

ISP: *Internet Service Provider.*

Label: Información o cabecera que se añade a un paquete cuando ingresa a una red MPLS, es decir es la información que añade o elimina el LER y la cual es interpretada por el LSR y gracias a la cual se entiende que diferentes tráficos forman parte de un mismo FEC.

LDP: *LabelDistributionProtocol.* Es uno de los protocolos de enrutamiento implícito que se utiliza con frecuencia en ambientes MPLS. LDP define el conjunto de procedimientos y mensajes a través de los cuales los LSRs establecen LSPs en una red MPLS.

LER: *Label Edge Router.* Es el dispositivo que se encuentra en el borde de la red MPLS y es el encargado de añadir cabeceras MPLS entre las cabeceras de red y de enlace del paquete entrante, además también es el encargado de retirar esta información cuando un paquete sale de la red MPLS.

LSP: *LabelSwitchedPath.* Es el camino que describen el conjunto de routers y conmutadores que atraviesan los paquetes de un FEC concreto en un único nivel

jerárquico en cuanto a la red MPLS. Todos los paquetes del mismo FEC siguen el mismo LSP de principio a fin (en el dominio MPLS).

LSR: *LabelSwitch Router.* Es el conmutador interior de la red MPLS que interpreta el valor de la cabecera MPLS y la modifica si es necesario, pero no añade ni elimina etiquetas MPLS.

MPLS: *MultiprotocolLabelSwitching.* Tecnología que permite conectividad de todos los emplazamientos de una red basada en conmutación de etiquetas con funcionalidades superiores de calidad de servicio e Ingeniería de Tráfico.

Multicast: Refiere el envío de Información en una Red a múltiples destinos simultáneamente usando la estrategia más eficiente para el envío de los mensajes sobre cada enlace de la red solo una vez y creando copias cuando los enlaces en los destinos se dividen.

nPVR: *Network Personal Video Recorder.*

OSI: *Open System Interconnection*

OSPF: *Open Short Path First*

PIM: *Protocol Independent Multicast*

PPV: *Pay Per View*

QoS: *Quality of Service*

RFC: *Request for Comments*

RIP. *Routing Information Protocol*

RSVP-TE: *Resource Reservation*

RTP: *Realtime Transfer Protocol*

RTSP: *Real time Streaming Transfer Protocol*

SDH/SONET: *Synchronous Digital Hierarchy / Syncronous Optical NETwork*

SDTV: *Standard Definition Television*

SLA: *Service Level Agreement*

STB: *Set Top Box*

TCP: *Transmission Control Protocol*

TDT: *Televisión Digital Terrestre*

TTL: *Time to Live*

UDP: *User Datagram Protocol*

VLAN. *Virtual Local Area Network*

VoD: *Video on Demand*

VPI/VCI: *Virtual Path Identifier/Virtual Channel Identifier*

VPN: *Virtual Private Network*

WAN: *Wide Area Network*

1. RESUMEN

EL presente trabajo describe cualitativamente el esquema de funcionamiento de servicios de difusión de video digital sobre redes IP (*Internet Protocol)* desde la perspectiva de la tecnología de transporte IP/MPLS (*IP over Multiprotocol Label Switching)*. Se ha revisado la estructura genérica de una red IPTV (*Television over Internet Protocol),* abordando las variables diferenciadoras frente a otros servicios semejantes, así como la penetración en el mercado del entretenimiento digital, referenciando estudios privados de compañías del sector, como Frost&Sullivan, Ericsson Review o Cisco Systems. En términos de las tecnologías de redes de acceso se aborda las estrategias idóneas y más desplegadas como marco referencial del mecanismo de distribución del contenido. Se analiza de manera sintética la operatividad de los componentes del modelo IPTV desde el proveedor de servicio de internet y/o de contenido hasta el abonado (usuario). En el núcleo del aporte se muestra a ATM (*Asynchronous Transfer Mode)* sobre SONET/SHD (*Synchronous Digital Hierarchy / SyncronousOpticalNETwork)* como red de transporte para IPTV con el fin de desembocar en el análisis de IP/MPLS como tecnología de *core* de un proveedor de servicio de IPTV. El concepto de MPLS es desglosado en lo referente a la arquitectura, estructura funcional y aplicaciones para concretar a partir de la correlación de sus características y el potencial de soporte para IPTV, un conjunto de observaciones e indicadores de desempeño enmarcados en la línea de trabajo del segmento de *backbone*de la red del proveedor de servicio. Como valor añadido el documento proporciona un compendio de especificaciones de equipos de red de *core* apropiados para la implementación de IP/MPLS y un listado de la sintaxis de configuración general de los mismos. Al fin, el presente trabajo se ubica dentro de la categoría de consulta y guía de evaluación de un proyecto de establecimiento de IP sobre MPLS como soporte de una red de *backbone*que transporta tráfico de DVB-IPTV® (*Digital Video Broadcasting-IPTV).*

2. INTRODUCCIÓN

La inminente invasión de las redes de transmisión de datos a los procesos y actividades más triviales de la cotidianidad ha desplegado la carrera de fabricantes de hardware, desarrolladores, organismos normalizadores y SPs (Proveedores de servicio), para ubicar sus productos y servicios en el renglón de los nuevos modelos de difusión de contenido multimedia; el matiz de carrera se debea la demanda de los usuarios que jamás se detiene y la industria del entretenimiento audiovisual a nivel global reconoce que debe ofertar condescendientemente con el volumen y actualización para que permanezca vigente en la lista de preferencia de los usuarios y de los clientes, de tal manera que permita integrarse simultáneamente y mantener sus relaciones comerciales con la industria de la publicidad que asocia, en este caso la televisión; estructurada como un canal de transporte de publicidad con el más alto grado de efectividad en su cometido comercial. La televisión digital se sabe, presenta un nuevo modo de consumir contenidos, la robustez que permite la codificación de las señales de alta calidad a ratas de transporte y difusión muy elevadas y la posibilidad de asociación con elementos de valor agregado, por ejemplo la interactividad y la personalización; cada región potencia del planeta ha definido las condiciones técnicas para llevar televisión digital a un hogar digital o cliente, por eso en América ATSC, en Japón ISDB y en Europa DVB se han ocupado de estudiar, diseñar, probar y normalizar todas las condiciones previsibles que se pueden dar en el intervalo comprendido entre la codificación de fuente de la señal de televisión hasta la última conexión antes de ver el contenido; en palabras es simple pero en la práctica al final, la formulación del sistema es tarea de un grupo de expertos de varias disciplinas de las comunicaciones provenientes de grupos de investigación, fabricantes, desarrolladores, Estados y representantes de los usuarios, todo esto con el único propósito de poner en la lista de los países y proveedores de servicio un modelo compacto que permita difundir comercialmente un contenido audiovisual cada vez con mejor desempeño y experiencia para el usuario. Esta revolución enmarcada en la manera de ofertar entretenimiento audiovisual requiere sendos mecanismos tecnológicos que se compadezcan con tal crecimiento del negocio y con las propias necesidades técnicas de la naturaleza crítica del contenido. En ese sentido las redes de las décadas 80 y 90 del siglo pasado fueron introduciendo reales esfuerzos para garantizar tanto conectividad como cierto nivel de calidad en el contenido entregado; no obstante con la formulación de MPLS como tecnología multinivel de conmutación IP la realidad del manejo de la priorización de tráfico y la simplificación del encaminamiento dio paso a la inclusión de dicho concepto en

la mayoría de organizaciones dedicadas a la provisión de servicio. MPLS se ha perfilado desde la década pasada como la tecnología pionera en redes con álgidas condiciones de parametrización de tráfico IP a la par que se abre un panorama de nuevas aplicaciones basadas en distinción de tráfico y conexiones privadas como servicio a clientes corporativos.

3. JUSTIFICACIÓN

La integración de conocimientos complementarios al perfil básico de la Ingeniería Electrónica puede ser variada desde el enfoque de la línea de trabajo; en el caso de las telecomunicaciones existe una íntima relación a nivel del diseño de sistemas, entre las redes de comunicación y el tráfico que transportan. Para este fin, es oportuno abordar el concepto de las redes troncales, *core*o redes de *backbone* de los proveedores de servicio quienes finalmente son los llamados a suplir la demanda de conectividad de los usuarios, bien sea de la red global o desde y hacia redes privadas. MPLS no es una tecnología experimental pues está revestida de una madurez certificada por organismos normalizadores como IETF(*Internet Engineering Task Force*)adicionalmente cobra valor cuando ha penetrado el renglón de las compañías de comunicaciones para facultar la oferta de servicios de valor integrado.

Justamente el valor agregado que reviste las aplicaciones de MPLS es lo que traza una diferencia radial entre las tecnologías pares, y de ahí el hecho de investigar cómo puede ser explotada en un negocio que está perfectamente concretado como lo es la televisión paga. Si tenemos un negocio que funciona y permite hacer importantes y además necesarias inversiones en tecnología, y a esto se le adiciona la posibilidad de gestionar las condiciones de distribución del servicio, claramente estamos frente a una sana simbiosis que es objeto de estudio y análisis. Aun así, el hecho de asociar una tecnología de soporte a un modelo de negocio no implica desvirtuar otras estrategias de implementación de redes de *backbone*ni ubicar a DVB-IPTV como la verdad absoluta en estandarización de difusión de televisión digital sobre redes IP, por el contrario este análisis es conveniente como referente para la migración u optimización de las redes ATM o*FrameRelay*que transportan contenidos audiovisuales.

De hecho compañías de la región como Telefónica CTC - Chile ha invertido más de USD 20´000.000 en 2009 para actualizar sus redes y equipo para lanzar al mercado Chileno su paquete de Triple Play sobre IP con más de 240horas de contenido disponible proyectado a una ampliación mensual del 20% sobre una población inicial base de 3000 usuariospresupuestados con un incremento anual del 75%. Este caso de éxito lo señala(Frost&Sullivan, 2008)en un estudio de consultoría privado titulado *Internet Protocol Television Services Markets in Latin America.* Si a lo anterior se le adicional la realidad nacional, donde EPM UNE ha abanderado el despliegue de distribución de contenidos audiovisuales sobre rede IP en sus zonas de operación, se fortalece la propuesta de observar y

analizar cómo contribuir proactivamente con la documentación sobre el particular, haciendo notar que un documento de calidad que reúna las consideraciones técnicas de IPTV soportado sobre un *backbone* MPLS es difícil encontrarlo a la fecha de la edición del presente documento.

Conviene resaltar que el estudio de IP/MPLS como tecnología de *backbone* para el despliegue de IPTV tiene asidero en la necesidad de estudiar e interiorizar las mejoras y tendencias que sobre el enrutamiento y conmutación tradicional se han dado, focalizado en virtud a que las redes de datos se modifican cuando haya lugar y conforme a una estructura jerárquica que describe un orden metodológico y consecuente; por lo anterior, es imperativo que se conozca las exigencias de las repentinas aplicaciones de conectividad, entretenimiento, seguridad y colaboración que finalmente marcan la evolución de los modelos que soportan las capas inferiores.

Finalmente la apropiación del conocimiento de MPLS es uno de los criterios de selección en los procesos de reclutamiento de las compañías del sector TIC por ser una solución que integra recursos, tecnologías y protocolos y además promulga un modelo jerárquico tan sólido como es OSI pero validando la funcionalidad de varios niveles en la estructura jerárquica de las redes datos.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se busca responder la conveniencia de la tecnología MPLS como arquitectura de *backbone* de IPTV. El escenario en el que se debe contextualizar el primer concepto es el de un proveedor de servicio que debe garantizar una oferta de entretenimiento audiovisual a un mercado por lo general de carácter nacional, con los condicionantes y garantías que el suscriptor ha contratado y que se han consignado en los Acuerdos de Nivel de Servicio.

Existen factores críticos que enmarcan el procedimiento de concentración del tráfico de IPTV como es la variación del retardo, latencia o la perdida de paquetes que revisten el contenido por el que el suscriptor está pagando, el problema es explicar como MPLS y específicamente sus funcionalidades contribuyen solidariamente con los demás elementos de la red para garantizar la oferta;a su vez, el implementar las herramientas que provee MPLS como técnicas de ingeniería de tráfico y QoS(*Quality of Service)*a partir de un modelo de referencia normalizado, estructuran y fundamentan la problemática abordada.

El propósito radica en desglosar primero los componentes tecnológicos de la cadena de valor de IPTV para luego correlacionar las condiciones de calidad de servicio con los aportes que MPLS hace cuando se despliega en una red de *core.* Realizado lo anteriormente expuesto, el problema se transforma enel traslado de los beneficios hacia el servicio manteniendo observado el balance entre las ventajas y los riesgos que se asumen.

El problema se materializa en la limitada literatura que integre la descripción de IPTV como modelo de difusión de contenidos audiovisuales de pago con la funcionalidad de gestión de tráfico que MPLS provee sobre la red de *core.* A tal fin el presente trabajo se dispone proporcionar los argumentos y referentes teóricos conducentes al análisis y observación del tema propuesto.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Analizar IP/MPLS como estrategia de implementación de red de *backbone* para DVB-IPTV.

5.2 Objetivos Específicos

- Describir cualitativamente los elementos estructurales de red que intervienen en despliegue de DVB-IPTV.
- Describir las tecnologías de acceso asociadas al despliegue de IPTV.
- Describir los conceptos fundamentales que abarcan la Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo (MPLS).
- Analizar y describir el funcionamiento de la arquitectura IP/MPLS como red troncal de un proveedor de servicio para la difusión de DVB-IPTV.
- Establecer las condiciones de operatividad, desempeño y escalabilidad que integra IP/MPLS para la optimización del despliegue de DVB-IPTV.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 IPTV

Internet Protocol TV es el término generalizado para citar el servicio que ofrece un proveedor de Internet, SP bajo el cual se oferta un paquete de contenido audiovisual sobre una red privada; este paquete contiene muchos contenidos estructurados de maneja semejante que la televisión (Atm &Transport, 2000) por suscripción como canales públicos, de cine, Video en Demanda o Pague Por Ver.

6.1.1 Generalidades

La Unión Internacional de Telecomunicaciones bajo lo dispuesto por el ITU-FG IPTV ha definido IPTV como *el conjunto de servicios multimedia digitales como televisión, video, audio o texto sobre redes basadas en protocolo de Internet, bajo un alto umbral de especificaciones de calidad, disponibilidad, seguridad, interactividad y experiencia mejorada.* A decir verdad IPTV se ha perfilado con nombres como televisión de banda ancha o televisión sobre IP pero en realidad la dimensión que la separa del servicio tradicional de televisión por suscripción es resultado de la integración de:

Interactividad. Es uno de los bloques dentro de la pila del valor agregado del sistema, pues permite al suscriptor una experiencia de comunicación de dos vías con el proveedor de servicio en el contexto del contenido audiovisual básico, la gestión de contenidos de pago, integrar aplicaciones de ordenador a la experiencia de entretenimiento de televisión. Para el cliente, la experiencia de interactividad resulta muy atractiva por cuanto ha trasladado una actividad de mucha frecuencia cotidiana a un escenario envolvente que trae lo más refinado de la televisión optimizado para incluir funciones de Internet, que está actividad cada vez más inmersa en la cotidianidad.

Control temporal. Comparte esta función con el servicio de TV digital estándar, pues el suscriptor no está supeditado al horario de emisión de sus contenidos de preferencia sino, con un equipo de grabación de video digital, puede programar la grabación del contenido lejos de depender de estar

presente en el momento que se emite. Pero el control temporal, en virtud a la naturaleza digital del contenido, ha de facultar al suscriptor para desplazarse por el contenido como si lo hiciere con un archivo de ordenador; cabe anotar que gran parte de los contenidos ofertados están previamente alojados en la infraestructura del proveedor de servicio, para el caso de la televisión en vivo, los paquetes audiovisuales permanecen un tiempo prudente en *buffers* antes de ser emitidos para permitir la adición de las funciones propias de IPTV.

Personalización. En función de los anteriores factores y de la misma condición del negocio, el servicio es posible orientarlo hacia las preferencias particulares de cada suscriptor. Una comunicación bidireccional conduce al establecimiento de enlaces punto a punto lo que ya en efecto avisa de un mecanismo de gestión de contenido por parte del suscriptor. El siguiente paso lo da el proveedor de servicio quien por lo general ha construido un catálogo muy variado de contenido y a la vez la tendencia es "leer" las preferencias tácitas de los suscriptores para complementar la cadena de valor con anuncios publicitarios a la medida, anuncios que rompen el esquema de inundar los canales de mayor audiencia con publicidad no localizada, a enviar anuncios e incluso contenidos que responden a los intereses particulares de cada suscriptor; esto es objeto de investigación en la actualidad.

Ancho de Banda optimizado. Tan sencillo como un canal a un suscriptor en cambio de todas las frecuencias a todos los suscriptores. Resulta equivalente a navegar por un sitio web a la vez, guardando la diferencia entre la naturaleza del tráfico de las capas superiores. Sin embargo el recurso físico es optimizado en términos de justamente el tráfico entregado al suscriptor por cuanto son paquetes específicos y no el conjunto del total contratado. Tal es la mejora sobre la utilización del ancho de banda con IPTV que bajo una tecnología de acceso DSL de 2 Mbps es posible entregar servicio de voz, Internet residencial y televisión con calidad de alta definición.

De este modo IPTV consolida la capacidad de discriminación y comunicación punto a punto de las redes basadas en IP y el modelo de negocio de la televisión digital por suscripción. No obstante el hecho de nombrar IP dentro del acrónimo quizá implique equiparar IPTV con televisión por Internet; definitivamente no son iguales. La tabla siguiente aterriza las diferencias estructurales entre IPTV y televisión por Internet.

IPTV	Televisión por Internet
Es un servicio de pago, donde el producto no es el acceso a la red sino a un determinado contenido.	Aunque también es un servicio de pago, el rubro es ocasionado por el acceso a la red y no al contenido difundido.
En consecuencia, la infraestructura es privada y por tanto única y administrada por el proveedor de servicio.	Internet es todo, se debe pasar por muchas redes y proveedores para llegar al contenido.
El hecho de ser una red privada permite garantizar la calidad del contenido y a la vez la seguridad de los datos en virtud a la conexión punto a punto.	La calidad de la televisión por Internet es dependiente de la disponibilidad del servicio, el tráfico concurrente y por el hecho de ser gratis no reviste valor agregado.
IPTV no es global. Son redes geográficamente acotadas y seguras, por tanto no accesibles a todas las conexiones.	Los servidores de televisión por Internet son en teoría alcanzables desde cualquier conexión a Internet.
Los contenidos son netamente comerciales. Son producidos por compañías de entretenimiento de cine o televisión, donde su objeto comercial es material audiovisual.	Casi siempre son contenidos redistribuidos, no exclusivos o de bajo interés general. Muchos de los contenidos de televisión por Internet, salvo los de pago, fueron almacenados de un servicio de pago.
Libertad de dispositivos de usuario. Televisores, dispositivos móviles, ordenadores o centros digitales pueden proyectar el contenido de IPTV.	Condicionado a un ordenador. Por lo general es condición necesaria un navegador web y todos los codecs y complementos que demande el formato del contenido.

Tabla 1 Connotaciones del esquema IPTV frente al de televisión por Internet. Fuente El Autor

6.1.2 Descripción

Para conformar una red de IPTV es correcto determinar los requerimientos en dos estadios funcionales del sistema. El equipamiento físico desplegado en toda la cadena de distribución que va a soportar la difusión de video digital sobre redes IP y el recurso lógico tanto de aplicación y control que traduce el diseño de la red en funcionalidad.

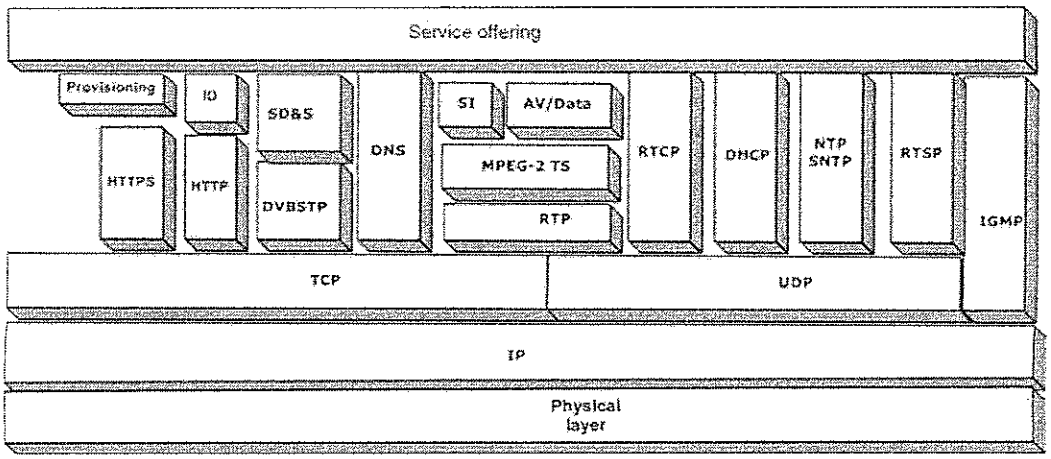


Figura 1. Pila de protocolos del entorno DVB-IPTV

6.1.3 Infraestructura Física de la red de IPTV.

A decir verdad la infraestructura física para el despliegue de IPTV y sus servicios asociados es una función que depende de al menos dos variables inherentes al sistema: (Kouch, 2010)por una parte es correcto afirmar que la caracterización de la infraestructura física depende del servicio solicitado, pues como se verá en las secciones siguientes en un servicio IPTV aunque siga siendo una conexión *end-to-end* puede variar el extremo del lado del proveedor, a tal fin la topología será descrita bajo el concepto de [1]*best-effort*donde la petición se genera naturalmente en el [2]IPTVCD del cliente y el contenido/aplicación solicitado debe llegar hasta el *DataCenter* IPTV del proveedor de servicio, así pues se evalúa la trayectoria más "larga" a fin de considerar la mayor cantidad de elementos. Por otra parte la variable a considerar es la tecnología de acceso o *last mile section* que presenta un abanico de posibilidades en términos de medios físicos de transmisión y su equipo asociado y naturalmente diferencias marcadas en términos de desempeño, escalabilidad y coste.

[1]*Best-effort* hace referencia a una expresión aceptada por la arquitectura de redes para señalar que se trata de la conexión más exigente que se pueda dar, el paso por toda la línea de comunicación o el peor de los casos. Se usa en ingeniería de tráfico para estimar un indicador de desempeño de red en condiciones críticas.

[2]IPTVCDs IPTV ConsumerDevices. Generaliza el dispositivo del lado del suscriptor. Puede ser un *modem, set-top-box* e incluso un ordenador o un televisor con el hardware IPTV embebido.

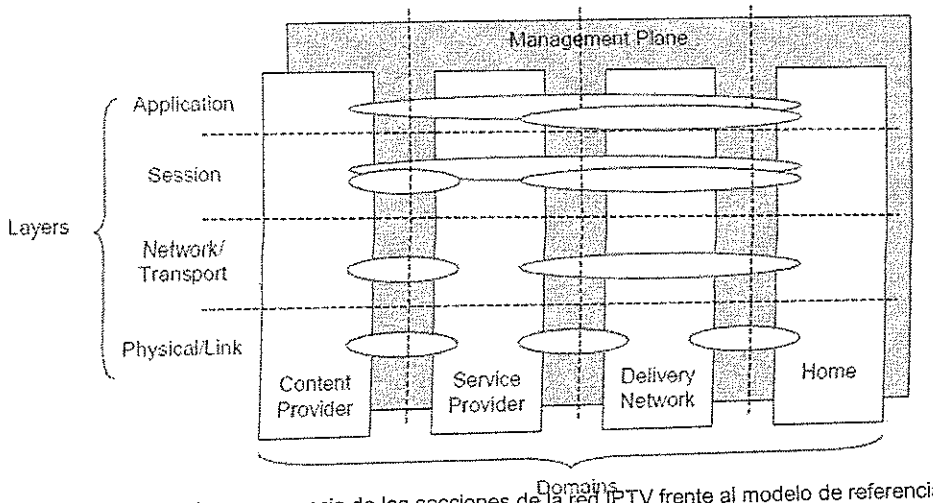


Figura 1. Plano de convergencia de las secciones de la red IPTV frente al modelo de referencia TCP/IP.

6.1.4 Arquitecturagenérica de una red IPTV.

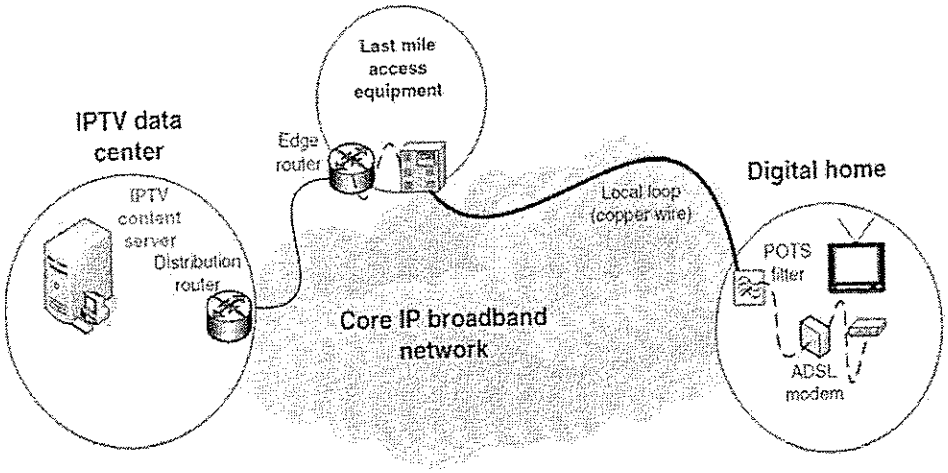


Figura 2. Topología IPTV genérica

Visto de este modo la confección de la red IPTV es estrechamente semejante al esquema de una red de banda ancha de conexión a Internet; de hecho es también una red IP, que se ajusta de manera idéntica en términos de topología física a lo que hace un SP para distribuir conectividad a la red pública. La diferencia es, como se estableció en el aparte anterior, que IPTV no está soportado sobre una red pública como lo es Internet, en la figura 2 se presenta

una compresión de manera global del sistema donde actúan los equipos de cliente, de acceso y de alojamiento del contenido. El término *Digital Home* es un anglicismo que denota la presencia de una red dentro de la propia casa, el suscriptor desde la proyección actual del servicio, no es un consumidor pasivo que se limita al contenido web, de televisión digital y voz sino que ha implementado una red local propia en la que integra, para este caso, todas las opciones de entretenimiento-comunicación que el proveedor le oferta, esta es una de las razones por las que la demanda de calidad de servicio y ancho de banda es vertiginosamente creciente puesto que la aparición de nuevos contenidos y aplicaciones integra la mayoría de los equipos digitales del hogar. En el plano técnico para establecer la conexión *end-to-end* desde el centro de cómputo IPTV hasta el suscriptor debe incorporarse las siguientes etapas:

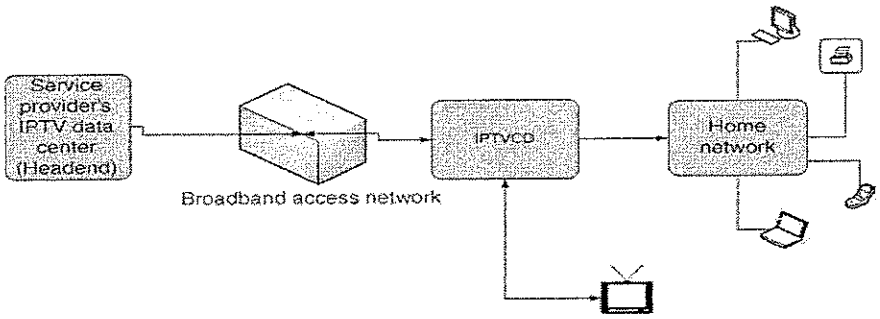


Figura 3. Bloques funcionales del establecimiento de una conexión *end-to-end* para IPTV.

Fuente:(Document, 2004)

En el *headend* se puede entender como el*data center* que recibe el contenido de una variedad e fuentes, incluyendo vídeo a nivel local, los agregadores de contenidos, los productores de contenido, cable,canales terrestres y satélite. Una vez recibido, un arreglo de *hardware* equipado con componentes que van desde los codificadores y servidores de vídeo IP a los *routers* y necesariamente el *hardware* dedicado a la seguridad, todo esto con el fin de ajustar y preparar el contenido para ser transmitido a través de una red basada en IP. Adicionalmente, un sistema de gestión de abonados es indispensable para gestionar los perfiles de suscriptores de IPTV y los pagos ocasionados por los diferentes esquemas de facturación. La ubicación física del *data center* de IPTV será fijado por la infraestructura de red utilizada por el proveedor de servicios, en virtud a la topología que le resulte más conveniente: para servicio de video en demanda, los servidores de alojamiento del contenido usualmente están instalados en nodos más cercanos al extremo de agregación, esto es, más cerca de los suscriptores, lo que implica que si la petición del usuario es acceder a un contenido VoD, el paquete de *request* no atravesará la red de *backbone* puesto que ha encontrado que se puede establecer el servicio en un trayecto físico más corto, no obstante

los contenidos de *live TV* como lo pueden ser señales de *streaming*de canales públicos, noticias o cualquier contenido que no se indexe, casi siempre se gestiona desde un centro de datos principal en el extremo de la red de *core*.

Luego debe considerarse como los paquetes de DVB-IPTV van a transportarse hasta el extremo que las distribuye; para ejemplificar es correcto pensar en la manera como se lleva la energía eléctrica desde una central de generación hasta las instalaciones domiciliarias: luego de generar la energía se ajusta a un nivel de tensión tal que sea apropiado para el transporte a través de kilómetros de conductor, en este caso la condición de transporte es un alto nivel de tensión en forma de corriente alterna para mitigar el esfuerzo del conductor y proveer la suficiente "fuerza" a la energía ´para llegar hasta la etapa de distribución en donde se reduce el nivel de tensión pero se amplía el espectro de intensidad que puede suministrar la red, en esta etapa la infraestructura suele ser menos robusta y equiparable con las especificaciones de los clientes. Pues bien las redes IP describen, guardando las proporciones, un comportamiento similar en términos de topología y por tanto de equipos de red dedicados para cada etapa. Las redes de transporte, una de ellas IP/MPLS objeto de análisis, soportan no el tráfico de un usuario sino de todo un arreglo de nodos de agregación y por supuesto soportado por tecnologías de medios físicos como son las redes ópticas o de cobre e incluso inalámbricas, así como los protocolos de transporte que ordenan, señalizan o priorizan el tráfico y son solidarios con en enrutamiento también. Una vez el tráfico ha atravesado satisfactoriamente la red de *core,* la red de acceso debe encargarse de hacer la entrega en los términos de interfaz y protocolo pertinentes. En los apartes siguientes se explora un conjunto de soluciones estandarizadas para redes de acceso de banda ancha que son válidas para el despliegue de DVB-IPTV.

6.1.5 Descripción de Tecnologías de Acceso asociadasal despliegue de IPTV

Uno de los principales desafíos que enfrentan los proveedores de servicios de IPTV está ligado a la provisión de suficiente ancho de banda de la capacidad en el segmento de red que se encuentra entre la red de *backbone* y los suscriptores finales. No es de extrañar encontrarse con variadas expresiones que denotan la misma descripción tales como bucle local (*local loop)*, última milla hasta el borde (*last mile to edge*) y la red de acceso de banda ancha (*broadband Access network*), pero lejos de la manera de llamársele lo realmente debatible son los indicadores de desempeño, escalabilidad y coste que ofrezcan uno o el otro mecanismo.

6.1.5.1 Redes acceso de fibra para IPTV

La creciente demanda de ancho de banda combinado con menores costos de operación e inmunidad a las interferencias electromagnéticas son algunos de los factores que están impulsando el despliegue de redes de acceso basadas en fibra óptica. (O'DRISCOLL, 2008)Las redes que utilizan la fibra han sido elegidas por los operadores para construir redes desde hace décadas. Debido a la reciente reducción en los costos de equipo y el despliegue en el último par de años, el interés en el uso de redes de fibra para transmitir servicios emergentes basados en IP servicios tales como DVB-IPTV ha aumentado vertiginosamente. Además, los enlaces de fibra proporcionan a los consumidores una conexión dedicada, que se adaptan bien a la demanda de IPTV. Si bien es cierto que los beneficios de las redes de acceso de fibra óptica se han hecho más cercanos al usuario, aún es importante diferencias las condiciones del servicio puesto que el ideal de fibra hasta la casa no es siempre accesible u ofertado. A continuación se listan algunas de las estrategias de redes de acceso basadas en fibra óptica.

Fibra Hasta la Seccional (*Fiber To The Regional Office FTTRO*)

Implica el tendido de redes de fibra óptica desde el *data center* de IPTV hasta la oficina regional o seccional más cerca del proveedor de servicio o TelCo; desde este punto hasta el suscriptor se continúa con las redes de cobre existentes.

Fibra Hasta el Barrio (*Fiber To The Neighborhood FTTN*)

En este mecanismo se busca llevar una conexión óptica desde el mismo origen, el *data center* de IPTV, hasta el separador o *splitter* óptico ubicado a menos de 1.5 kilómetros de distancia del suscriptor lo que le permite llevar un portafolio de servicios amplio al usuario del tipo Triple o Cuádruple Play en virtud al ancho de banda que proporciona la red de fibra. Luego de este nodo se continúa el enlace mediante alguna otra tecnología de banda ancha como lo puede ser xDSL. *Fiber To The Curb FTTC* es un mecanismo similar salvo que ahora dista menos de 50 metros del suscriptor el enlace de fibra, no es usual en despliegues de más de una década dado que requiere incluirse dentro de los diseños constructivos propios de una urbanización o conjunto residencial.

Fibra Hasta la Casa (*Fiber To The Home FTTH*)

Quizá es el paradigma de un suscriptor que demanda grandes volúmenes de tráfico pues con una conexión óptica de extremo a extremo se cristaliza la

inmensa mayoría de las posibilidades de tráfico de entretenimiento, voz, datos y en general conectividad a redes IP con un indicador de desempeño sobresaliente. Ciertamente el costo es elevado, aún mas cuando es una instalación singulary depende mucho de la disponibilidad del SP no obstante que instalar una única conexión de fibra demanda procedimientos constructivos y de cableado especiales.

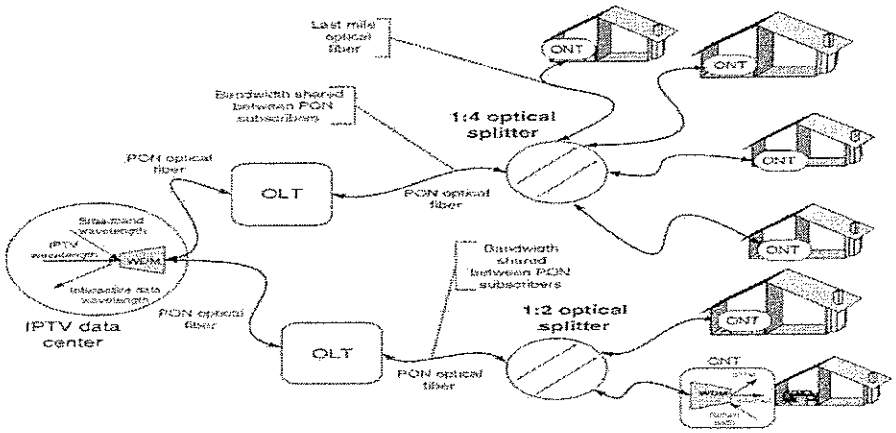


Figura 4. Estructura típica de una Red Óptica Pasiva (PON)de IPTV basada en FFTH. FuenteOIPF-T1-R2-Service-and-Platform-RequirementsV2_0-2010-12-12. Open IPTV Forum

Para concretar el asunto de las redes de acceso basadas en fibra óptica para IPTV es conveniente aclarar que se ha tratado Redes Ópticas Pasivas (*PassiveOptic Network PON*) en donde se refiere a una topología de punto a multipunto de red que hace uso mayormente de cableado de fibra óptica y componentes ópticos. Estos usan ondas de luz de diferentes colores para llevar datos a través de la red y no requieren componentes eléctricos entre el *data center* de IPTV y el punto de destino. Como lo ilustra la figura 4, una PON compatible con el estándar UIT-G.983 por lo general consiste en una terminación de línea óptica (*Optic Line Terminal OLT*) situado en el*data center* de IPTV y un número de terminales de red óptica (*Optical Network Terminal ONT*) que están instalados en los inmuebles de los usuarios finales. Con pocas pérdidas de transmisión, las interferencias mínimas y el potencial de banda ancha, la fibra óptica es un medio de transmisión casi ideal. Como se sabe, el diámetro del cable de fibra es relativamente pequeño y está diseñado para permitir a los ingenieros de red empalmar el cable en varios lugares a lo largo de la ruta de cableado físico. La pureza de fibra de vidrio de hoy, combinada con la mejoraelectrónica del sistema en el cable, permite la transmisión de alta velocidadservicios de larga distancia. De hecho, el estándar G.983 permite a la PON transportar las señales digitalizadas de luz hasta una distancia máxima de 20 km sin necesidad deamplificación.

Otro componente dentro de la PON, los divisores ópticos, mejor referenciados como *splitters,* (Arberg, Cagenius, Tidblad, Ullerstig, &Winterbottom, 2008)se utilizan para dividir una señal óptica de un singular en señales múltiples. Se logra esta función aún sin alterar el estado de la señal, en otras palabras, no se convierten en impulsos eléctricos. Los *splitters* se utilizan adicionalmente para combinar múltiples señales ópticas de nuevo en una señal óptica única.Estos divisores permiten un máximo de 32 hogares para compartir el ancho de banda de red FTTx.

6.1.5.2 Redes de Acceso ADSL para IPTV

El ancho de banda como se anotó previamente es uno de los factores claves en el despliegue de IPTV como modelo sostenible de difusión de contenidosaudiovisuales, en virtud a esto muchas TelCos. Este parámetro técnico es particularmente destacado para las redes de última milla DSL. Muchas redes de banda ancha basadas en DSL se construyen alrededor del normativo de las normas de DSL, simplemente no son capaces de satisfacer la creciente demanda de soporte de alta velocidad de servicios de video. La gran mayoría de estas redes son incapaces de soportar la entrega de una secuencia de vídeo IP a cada abonado. En algunos casos es imposible para enviar una señal de TV de calidad estándar sobre una red DSL exclusivamente.

Línea de Abonado Digital Asimétrica (*Asymetrhic Digital Suscriber Line ADSL*) si se quiere, es actualmente el matiz más popular de DSL desplegado en las redes de telecomunicaciones en todo el mundo. Se han hechoavances considerables en el mercado residencial, donde compite con cablemódems para los clientes que están buscando conexiones de alta velocidad de banda ancha.

ADSL es una tecnología de conexión punto a punto, esta característica permite a los SPs prestar servicios de banda ancha tales como vídeo IPsobre líneas telefónicas de cobre existentes. Se llama "asimétrico" porque latransmisión de información desde el centro de datos central o desde la oficina regional hacia un IPTVCD es más rápida que la información que viaja desde el IPTVCD a la centraldel centro de datos. Asimismo, la característica de punto a punto de ADSL elimina la variación encapacidades de ancho de banda de un entorno de red compartida.Mediante el uso de técnicas especializadas, normalmente ADSL permite una velocidad de bajada de8 Mbps y una tasa de subida de 1,5 Mbps. Por lo tanto, una conexión ADSLsuficiente para soportar simultáneamente dos canales de televisión MPEG-2 de definición estándar y una conexión a Internet de alta velocidad.

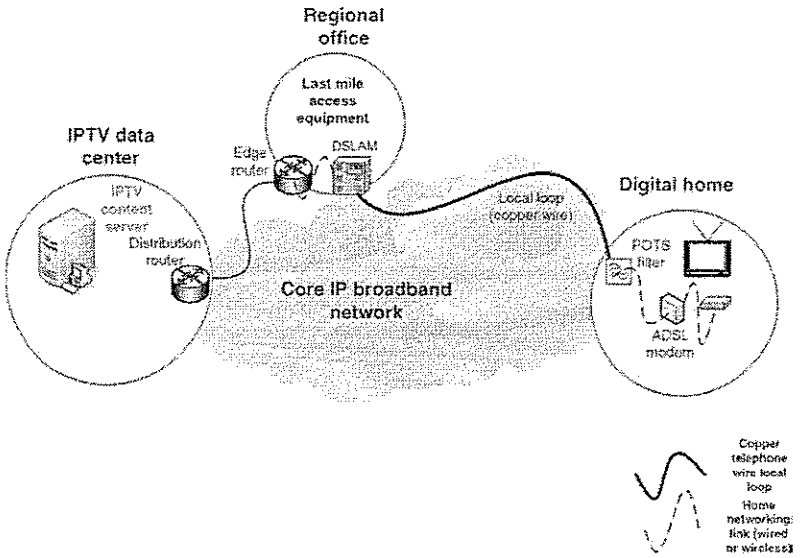


Figura 5. Arquitectura de una red de DVB-IPTV sobre una red de acceso ADSL.

En la literatura técnica sobre la materia se ha consignado que las redes ADSL presentan serios riesgos frente a las condiciones adversas de la calidad constructiva del par de cobre y por lo mismo, la inminente interferencia que se le añade a la frecuencia portadora. No obstante la red de acceso ADSL se ha robustecido con equipo y prácticas que repelen en buena parte estos efectos. La estrategia ADSL ofrece una conexión digital a través de la red PSTN; Sin embargo, la señal que se transmite a través de esta conexión se modula como una señal analógica; los circuitos ADSL deben utilizar la señalización analógica debido a que el bucle local o red de acceso no es capaz de transportar señales codificadas en formato digital. Así, el módem en el *data center* de IPTV es responsable de convertir los datos digitales en señales analógicas que son aceptables e idóneas para la transmisión. El módem residencial (*Residential Gateway RG*), que conecta con algún IPTVCD en la red del suscriptor, convierte las señales analógicas que se reciben en el circuito de ADSL de nuevo en señales digitales apropiadas. Las dos técnicas principales que se usan para modular los datos digitales propios de un paquete IPTV dentro de una envolvente analógica para una transmisión de señal de ADSL son la amplitud y fase sin portadora (*carrierlessamplitude and phase CAP*) y multitono discreto (*DiscreteMultitone DMT*).

CAP fue el enfoque original utilizado para modular los datos digitales en una señal analógica para la transmisión ADSL. Mientras el nombre especifica que la modulación es *carrierless* o sin portadora en español, una sola portadora real se utiliza para transmitir los datos por la red telefónica. CAP está estrechamente

relacionada con la estrategia de modulación QAM. QAM es una muy bien entendida y común en las aplicaciones por satélite y televisión por cable para implementada por fabricantes y SPs durante muchos años. Al describir DMT es válido afirmar que se ha convertido en la alternativa preferida por la modulación sobre CAP, y se utiliza en la modernidad de DSL; separa el espectro de ADSL en un número de subcanales pequeños o tonos de frecuencia. Durante la transmisión, cada uno de estos subcanales lleva una porción de la velocidad de datos total. Al dividir el ancho de banda de transmisión en un arreglo de subcanales, DMT es capaz de adaptarse a las distintas características de cadala línea telefónica y maximizar la velocidad de transmisión de datos. DMT por su naturaleza vestigial, está estrechamente ligada con la Modulación por División Ortogonal de Frecuencia (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing OFDM*) o c-OFDM (*Coded OFDM*). c-OFDM es utilizado por los estándar de televisión de Europa DVB, quien obviamente ha establecido los lineamientos para DVB-IPTV.

En este orden de ideas, solo resta aterrizar que el equipo de la figura 5, un Multiplexor de Acceso DSL (*Digital Suscriber Line Access Multiplexer DSLAM*) es recibe la conexión de cada suscriptor a través de par de cobre, los agrega y se conecta de nuevo al *data center* de IPTV a través de un *backbone*de alta velocidad basado en fibra. Para despliegues de IPTV es típico que el DSLAM soporte transmisiones *multicast*. Esto evita la necesidad de replicar canales para cada solicitud o *request* procedente de un suscriptor de IPTV. El DSLAM tiene en general la responsabilidad de distribuir el contenido de IPTV a través del enlace de última milla a cada IPTVCD. Estos equipos en contexto del modelo de referencia OSI pueden discriminarse como de capa 2 o [3]IP-aware. La diferencia sustancial entre las dos tecnologías de DSLAMs radica en que uno de capa 2 exclusivamente conmuta tráfico entre *Ethernet* y ATM y trabaja en la prevención de interferencia de las tramas provenientes de cada suscriptor, mientras que un DSLAM IP-*aware*soporta algunas funciones limitadas de capa 3 respecto a direccionamiento y conmutación por software pero no de encaminamiento de paquetes.

(OROZCO JIMENEZ, 2000)ADSL como tecnología de red de acceso no ha quedado en estas especificaciones. Se han introducido reformas y mejoras como ADSL2 que fuere aprobada por la UIT en 2003 e incluyó una serie de mejoras en el estándar ADSL original, es decir, mayores tasas de datos de bajada y mayor alcance de las transmisiones de [4]CO al módem del suscriptor. ADSL2+ permite a los proveedores de servicios de red para ofrecer velocidades de hasta 20 Mbps a los suscriptoresque se conectan dentro de una distancia aproximada de1,5 km de

[3]IP-aware denota que determinado equipo o sistema soporta algunas funciones de capa de red o capa 3, de manera limitada pues no es completamente un equipo o sistema capa 3.

[4] CO. Central Office. En la topología DVB-IPTV genérica puede encontrarse como el intermedio entre la red de acceso y el *backbone*.

distancia a partir de la CO, opera dentro del ancho de banda de la señal de 138 kHza 2.208MHz.

La ventaja principal de DSL para sistemas IPTV es el hecho que se utiliza los cables de cobre existentes que llegan en la mayoría de las casas de todo el mundo. En el costado negativo, todos los sistemas DSL tienen que hacer un [5]*trade-off* entre la distancia y ancho de banda. En otras palabras, la velocidad de acceso DSL es inversamente proporcional, pero no lineal, al ancho de banda disponible para el suscriptor.

6.1.5.3 Redes de Acceso sobre HFC para IPTV.

La televisión de pago convencionalmente ha tenido como soporte de acceso las redes de cable coaxial durante mucho tiempo del negocio, el cable coaxial ofrece un par de ventajas en términos de coste y simplicidad sumado al generoso ancho de banda que se puede entregar por este medio guiado; sin embargo en el despliegue reciente de los nuevos contenidos y formatos audiovisuales, este capacitor cilíndrico no puede responder a esa demanda de recurso físico con indicadores de desempeño aceptables. Las redes de Hibridad de Fibra y Coaxial (*Hybrid Fiber Coaxial HFC*) son capaces de transmitir simultáneamente servicios analógicos y digitales. Esto es extremadamente importante para los operadores de red que están desplegando TV digital e IPTV a sus suscriptores de manera escalonada antes de implementar una red FTTx basado en el análisis de las proyecciones de demanda de servicio en una determinada región.

HFC cumple con capacidad ampliable y los requisitos de fiabilidad de un sistema IPTV. La característica de capacidad expandible de las redes de acceso HFC,permitea los operadores o SPs agregar servicios de forma incremental, sin cambios importantes en la infraestructura de red global. HFC es esencialmente una arquitectura [6]*pay as yougo* que coincide con la inversión en infraestructura, con nuevas fuentes de ingresos, los ahorros operativos y mejoras de confiabilidad que perciba en operador. Las características físicas de los cables coaxiales y fibra son capaces de soportar tráfico medido en varios gigabits por segundo.

---

[5] *Trade-off* hace referencia a un balance, en este caso, entre la distancia entre un DSLAM y el suscriptor y el ancho de banda.

[6] *Pay-as-you-gose* entiende como una arquitectura de negocio en donde el rubro pagado por el abonado obedece al consumo/uso/demanda en un intervalo fijo de facturación. Para el caso, implica que las redes HFC basan su esquema de escalabilidad en la demanda de recurso físico.

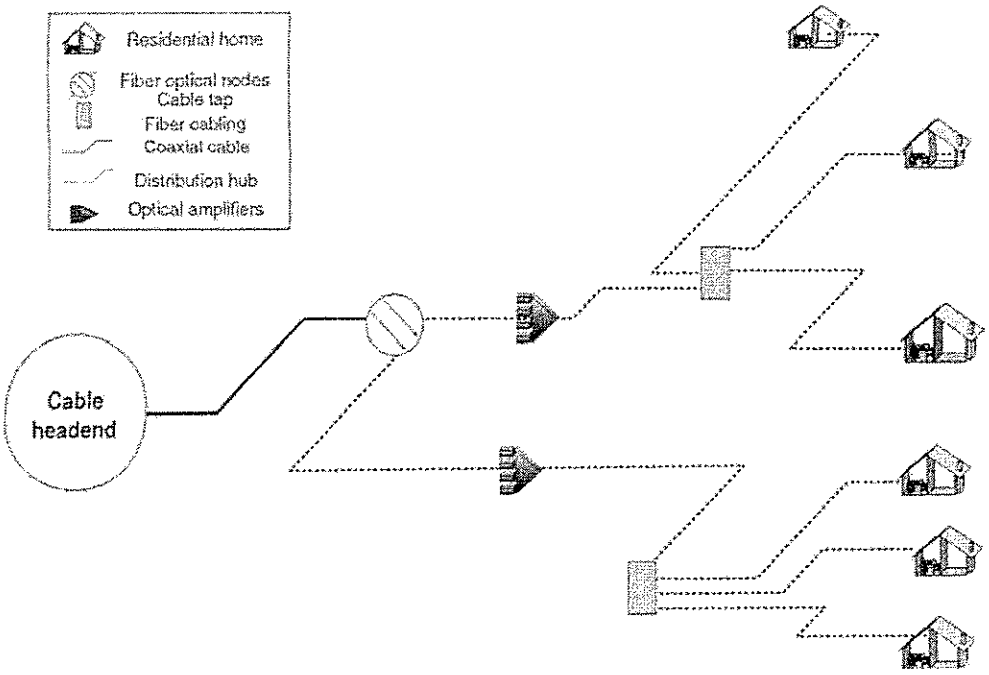


Figura 6. Topología *end-to-end*basada en HFC para un sistema IPTV. Tomado de CEL-TR-HFC-HANDBOOK-V4_3-091-001. Cable EuropeLabs. 2010

La arquitectura de red HFC se compone, ilustrado en la figura 6, de una red troncal basada en fibra conectada a través de un nodo óptico a una red coaxial. El nodo óptico actúa como una interfaz que conecta señales ascendentes y descendentes (*upstream* y *downstream*) que atraviesan la red de fibra óptica y el cableado coaxial. La porción coaxial de la red HFC describe una topología de expansión en árbol y ramas y se utiliza para conectar a los abonados de televisión por cable a través de dispositivos especializados llamados *taps* de la red HFC. La señal de televisión digital se transmite desde la cabecera de una manera semejante a una estrella a los nodos de fibra,los nodos de fibra, a su vez, distribuyen las señales a través de cable coaxial, amplificadores, y *taps* en toda el área de abonados.

Un nodo híbrido de fibra y coaxial (HFC) es un dispositivo de campo de dos vías que convierte las frecuencias analógicas a señales digitales y viceversa. El nodo de fibra toma las frecuencias de radio en un cable coaxial y las convierte en señales digitales, y luego transmite los datos a un cable de fibra óptica. Los datos que son recibidos desde el cable de fibra óptica son convertidos a una señal analógica y luego son transmitidos a la línea de cobre compartida. Este nodo de fibra (*fiberoptical*node) convierte las señales analógicas en pulsos digitales de luz que son transferidos a través del cable de fibra óptica. Dos cables de fibra óptica son necesarios como se sabe, pues las señales *upstream* y *downstream*son transportadas por medios físicos ópticos diferentes.

Al tratar HFC como tecnología de acceso para el despliegue de IPTV es obligatorio resaltar la presencia, ya normalizada, de la Especificación de Interfaz para Servicios de Datos sobre Cable (*Data over Cable Service Interface Specification* DOCSIS) y su especificación análoga europea, EuroDOCSIS, que fueron diseñadas originalmente para transportar el tráfico de Internet de alta velocidad a través de Redes de Área Extensa WAN. Las especificaciones han evolucionado y la última versión de DOCSIS proporciona suficiente capacidad para soportar la prestación de servicios IPTV a través de redes HFC.

Las redes de televisión por cable de dos vías que soporten los servicios de banda ancha de alta velocidad probablemente utilizan una especificación DOCSIS. Cable Labs, un grupo de investigación y desarrollo de operadores de sistemas de televisión por cable, desarrolla esta tecnología, quienes establecieron dentro de la especificación los protocolos y formatos de modulación utilizados par a la prestación de servicios banda ancha IP en una red de televisión por cable. La primera revisión de la tecnología, conocida como DOCSIS 1.0, fue aprobada como un estándar por la UIT en 1998. Las versiones de DOCSIS hasta DOCSIS 2.0 soportan una velocidad de unos 40 Mbps en *downstream*, esta capacidad de ancho de banda se utiliza normalmente para atender a un número de suscriptores alta velocidad a Internet. Si este ancho de banda va a ser utilizado para la difusión de canales IPTV de televisión *multicast*, se podrían transmitir desde 10 hasta posiblemente 15 *streams* de canales IPTV simultáneamente lo que hace de especificación, un estándar con potencial creciente para el despliegue de IPTV. Este cálculo se basa en la transmisión de 10 a 15 canales de IPTV en definición estándar donde cada uno ocupa entre 2,5 y 4Mbps de ancho de banda. Una vez que los canales están configurados, es convención implementar *multicasting* para asignar varios usuarios a cada secuencia de IPTV. La última versión de la especificación, DOCSIS 3.0, mejora la capacidad del operador de televisión por cable para ofrecer servicios de IPTV y VoD IP *multicast* a los suscriptores. DOCSIS 3.0 es una tecnología de próxima generación de banda ancha que permite a los operadores de cable enlazar múltiples canales entre sí para formar enlaces IP de altasvelocidades capaces de operar a ratas del orden de cientos demegabits por segundo.

6.1.5.4 Redes de Acceso sobre Internet para IPTV

En una primera impresión a propósito de la lectura del presente literal, es posible que desprevenidamente se genere confusión entre las implicaciones de los conceptos de IPTV y Televisión por Internet; ciertamente no son lo mismo, mientras que IPTV implica de hecho la provisión de servicio en la misma tecnología que el acceso a Internet, ya se aclaró en el capítulo 1 las diferencias sustanciales entre los dos.

Ahora el asunto radica en describir como las conexiones a Internet comerciales son o no son redes de acceso idóneas para el despliegue de IPTV. Los entornos IPTV son más parecidos a los entornos de televisión más convencionales como el cable o el satélite. El servicio es controlado por el operador de la red, empleada para hacer llegar la señal hasta el usuario final. Esto permite que el proveedor del servicio pueda controlar la calidad de la señal, la oferta de contenidos o el acceso a los mismos.

El hecho de tener el control sobre la calidad de la señal se convierte en uno de los elementos más importantes que diferencian a los entornos IPTV e *Internet Television*. Por un lado, esta diferencia permite al operador garantizar la calidad de señal y ancho de banda mínimos para ofrecer el servicio sin problemas de cortes, pixelados y las falencias propias de *broadcasting*. Sin embargo, para garantizar esta calidad de señal, el operador utiliza una infraestructura de red cerrada. La preparación de una red de estas magnitudes supone una fuerte inversión tanto de capital como de tiempo. Por otro lado, el uso de esta red privada entre el usuario y el operador permite una interacción directa y bidireccional entre ambos, lo que es solidario con la postura del aparte de fundamentos del comienzo de este libro, pues se consolidad la verdad respecto a los elementos diferenciadores en términos técnicos y de modelo de negocio entre los dos esquemas de difusión de contenido audiovisual. De esta manera, el operador tiene más control sobre el acceso a los contenidos ofrecidos permitiéndole desarrollar modelos de negocio asociados, como el de suscripción o pague por ver (*Pay per View*PPV). Además, la información fluye también desde el usuario hasta el operador y este es el elemento diferencial entre las plataformas IPTV y otras plataformas de televisión más convencionales. El hecho de poder contar con un canal de retorno a través del cual el operador puede comunicarse con el cliente en tiempo real, permite el desarrollo de servicios como Video en Demanda (*Video OnDemand* VoD), la medición de audiencias "personalizada" y la generación de canales de contenidos a la carta.

Así pues, tanto el control sobre el acceso a los contenidos como la capacidad de comunicación bidireccional entre el cliente y el operador permiten el desarrollo de modelos de negocio directamente relacionados con el contenido ofertado. Es decir, el contenido se convierte en un elemento clave del negocio siguiendo la estela de los entornos de televisión más convencionales. La oferta de contenidos y la negociación de los mismos se convierten en factores clave para la captación de clientes, así como en una parte importante del presupuesto de la plataforma.

El modelo de televisión por Internet se basa en muchas de las tecnologías empleadas en entornos IPTV como lo puede ser MPEG-4 para DVB-IPTV, pero su orientación es completamente distinta. La gran diferencia radica en que el contenido es emitido desde el proveedor de servicios al usuario final a través de Internet. Por lo tanto, éste no tiene ningún control sobre la red de transporte. Esta diferencia limita la libertad en cuanto al desarrollo del negocio si se busca seguir el mismo camino que de IPTV y por lo tanto, el enfoque de los entornos de *Internet Televisiones* completamente distinto.

Internet Television se basa en un modelo abierto en el que el control del contenido está delegado en el proveedor de dicho contenido. Cualquiera puede generar un contenido (película, vídeo doméstico, spot publicitario, etc.) y ponerlo a disposición de los usuarios bajo el modelo que desee. Es decir, la comunicación es directa entre el usuario y el proveedor de contenidos.

En principio, este modelo abierto debería permitir una mayor libertad en cuanto a entornos de acceso, especialmente dispositivos. Al no existir entornos de red y señalización privada o sistemas de acceso condicional específicos, cualquier dispositivo podría estar preparado para recibir contenidos. Sin embargo, la realidad es que la práctica totalidad de los sistemas de *Internet Television* llegan a los hogares a través de los PC limitando considerablemente el abanico de potenciales telespectadores y por lo tanto del mercado final.

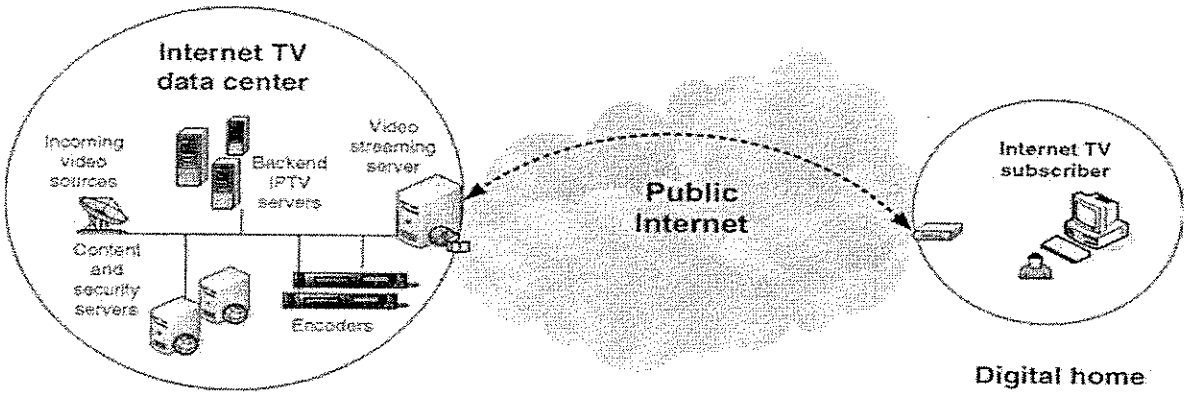


Figura 7. Generalización de la situación de una conexión a Internet como red de acceso para IPTV

En consecuencia de lo anterior, revisando el diagrama de conectividad presentado en la figura 7, la conexión punto a punto se establece transparente entre el suscriptor y el servidor de contenido, este último deberá ser capaz de almacenar y recuperar las fuentes del contenido audiovisual, tener el control de la velocidad a la que los paquetes de vídeo IP se entregan al dispositivo o equipo de visualización del abonado y además asegurar la ejecución de comandos de adelante y atrás a lo solicitado por el abonado de TV por Internet, como si lo hiciera con un contenido almacenado.

Un único servidor de *streaming* solo funciona bien para la entrega de un pequeño número de canales de *Internet Television* a un número limitado de usuarios. Para apoyar la prestación de múltiples canales a los miles y quizá cientos de miles de suscriptores de IPTV, un número necesariamente mayor de servidores de *streaming* es necesario implementar en diferentes partes de la topología, como es la estrategia de los servidores de FTP o DNS en la actualidad.

Desde la óptica de la seguridad, el *streaming* de vídeo es bastante robusto porque el material no se almacena en el dispositivo de acceso del cliente. Por lo tanto, las copias no autorizadas del contenido están prohibidas. Otras ventajas de este mecanismo de acceso para IPTV incluyen sucapacidad de actuar eficazmente sobre las conexiones de bajo ancho de banda y los espectadores tienen la capacidad de empezar a ver el contenido en cualquier punto en la transmisión de IPTV. Pero en este punto es donde la funcionalidad de los esquemas anteriores se sobreponen a los *streaming*de televisión por Internet, pues aunque este último tiene la ventaja de ofrecer contenidos gratis y de pago también, hay una viciosa dependencia de la infraestructura pública de Internet, que aunque puede revestirse de estrategias más sofisticadas como canales dedicados o conexiones Gigabit *Ethernet*, el proveedor de contenido es casi siempre un tercero dentro del negocio, y por lo mismo ya no es requerida una suscripción adicional; supóngase el caso de Netflix, quien basa su estructura de negocio en el derecho que tiene el usuario a consumir de forma ilimitada el contenido audiovisual presente en el catálogo en línea, este modelo cuenta con un catálogo en línea desde donde se pueden visualizar todos los títulos con que cuenta. También se pueden seleccionar las películas por "Películas más vistas" o "Películas con mayor puntuación". Pero hasta el momento solo se ha abordado uno dentro del amplio catálogo de opciones de contenido audiovisual, y hasta el momento el abonado debe tener dos suscripciones: conexión banda ancha a Internet y lo que le cobre el proveedor de contenido por los *streaming*demandados. Finalmente para redondear la televisión por Internet algunos aspectos técnicos inherentes a la red se listan a continuación.

Respecto a los protocolos de red que requeridos, FTP (*File Transfer Protocol*FTP) y HTTP (*hypertext transfer protocol* HTTP) se utilizan generalmente para transferir el contenido IPTV desde el servidor al dispositivo cliente. El uso de estos protocolos minimiza la posibilidad de que el contenido de IPTV sea bloqueado por *firewalls*, so pena de los riesgos en los que se incurre en las descargas que no cuentan con certificados de confianza como por ejemplo SSL. Al decir de la velocidad de a red, el tiempo necesario para descargar una película de Internet depende de la velocidad de la conexión de banda ancha y la calidad del vídeo contenido. Películas y programas en definición estándar descargan relativamente rápido en comparación con el contenido de vídeo de alta definición HD. Aunque la banda ancha es el tipo de conexión preferido es posible utilizar también una conexión de tipo *dial-up* para acceder a Internet servicios de descarga, esto implicando obviamente el aumento del tiempo requerido. Quizá el hecho de poder gestionar las descargas sea el único elemento prevalente sobre las funcionalidades de IPTV. En la actualidad global, muchos proveedores de contenido han impulsado estrategias comerciales respecto a la difusión de sus producciones exclusivas en esquema VoD, que se gestiona desde su portal de Internet y se cobra mediante el mismo esquema, a pesar de eso no son cadenas de televisión como tal y la oferta se limita a sus producciones; de esta situación no se dieron cuenta hoy, y ejemplos como *NBCUniversal* producto de la alianza *Universal Studios* Inc. y la cadenaamericana NBC llevan a través de la mayoría de los medios de acceso descritos en este libro, el contenido audiovisual de Universal, con la gestión del contenido de NBC bajo las plataformas de compañías como *AT&T, Verizon, Insight, DirecTV*, entre muchos más, cada uno en su red de acceso por cable, fibra o satelital.

6.2 Análisis de las Tecnologías de *backbone* para IPTV

Los términos para denotar las redes de transporte por lo general, como en lo insistente en el presente libro, dependen en gran medida de la topología de red desplegada y del tipo de servicio/aplicación que de ejecute, pues una red de transporte puede estar contigua al borde de la red de acceso, o por el contrario ser el extremo del enlace *end-to-end*. Lo cierto es que para el despliegue de DVB-IPTV la red de transporte será el arreglo lógico y físico que soporta las conexiones procedentes de una o más redes de acceso, probablemente de tecnologías de variados protocolos y, las agrega y embala de modo tal que lejos de la naturaleza del contenido del paquete su misión es transportarlo desde un borde a otro de acuerdo a los parámetros de direccionamiento si es el caso o de conmutación para otros. El hecho que se denote como *backbone* de por sí habla de un elemento

estructural del que dependen uno o quizá todos los procesos del enlace de datos, en efecto *backbone*es el anglicismo que hace apología a la característica troncal de la red, a ese papel intercambiador (no necesariamente conmutador ni enrutador) que hace posible la convergencia del origen y el destino con sendas políticas de control sobre la ruta del paquete y la integridad del mismo en el proceso de transporte. Por su parte el calificativo *core* cobra la misma relevancia en términos de la funcionalidad dentro de una WAN salvo que quizá de una impresión de concentración o puntualización de la actividad de transporte; dado que no es el interés del presente libro encontrar el término más ajustado a la estrategia de transporte para el despliegue de DBV-IPTV sino mostrar, entre otras cosas, el desempeño de una tecnología puntual asociada a la red de transporte, *core* o *backbone*, cualquiera de las tres expresiones se referirán indistintamente a la porción de red comprendida entre el extremo de *headend* o *datacenter* de IPTV y el extremo de la red de acceso.

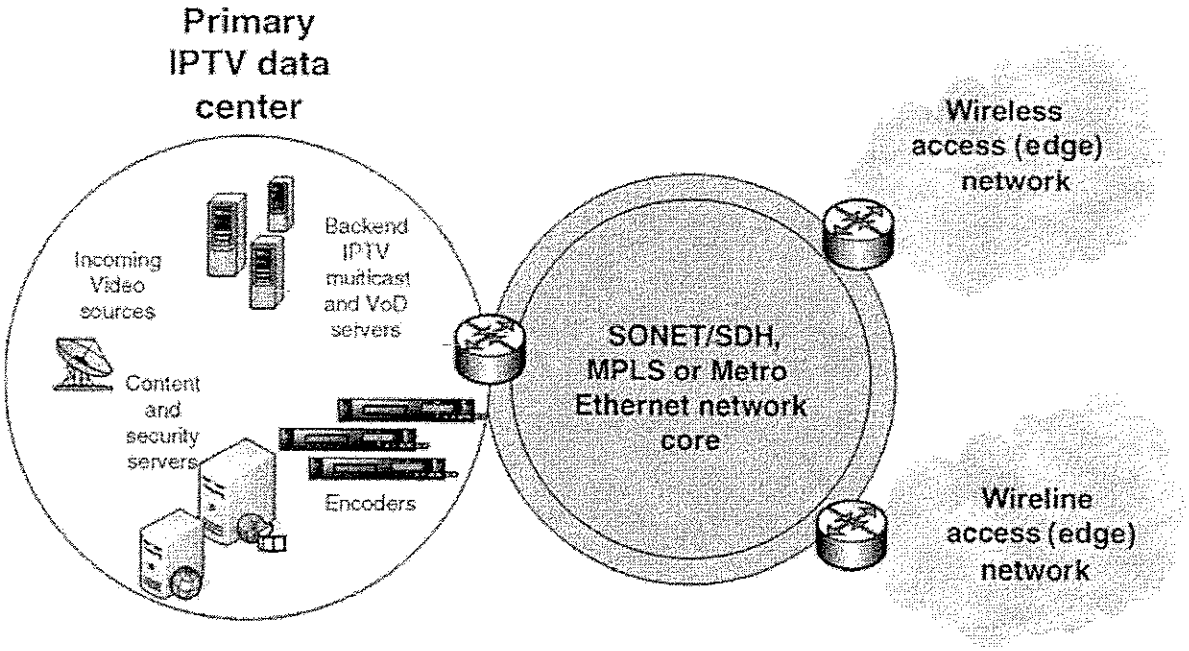


Figura 8. Topología de un sistema IPTV sobre un *backbone*genérico de distintas tecnologías.

6.2.1 ATM

La tecnología ATM ha estado en desarrollo dentro de la UIT-T y el *ATM Forum* desde hace algunos años y actualmente es ampliamente utilizada en redes públicas y privadas. ATM se ha esparcido básicamente a nivel del *core* de muchos SPs. Este fenómeno se debe a que es capaz de soportar múltiples servicios en forma simultánea, eficiente y con altas velocidades.

Hoy día, ATM es una de las tecnologías más prevalecientes en el mercado de conmutadores, trabajando como una interfaz WAN sobre los tradicionales productos de comunicaciones de datos como los *routers* y los *hubs*; sin embargo, los sistemas terminales ATM y sus aplicaciones ya han comenzado a aparecer en cantidades masivas.

ATM está diseñada para redes multimedia de alto rendimiento, además ha sido implementada en un gran rango de equipos PC, servidores y equipos de red capa 2 y 3. Una conexión ATM está compuesta por "celdas", provenientes de distintas fuentes, cada una de estas celdas está compuesta por 53 bytes de los cuales 48 son para datos y los restantes para uso de campos de control. Las celdas están identificadas por un VCI (*Virtual Circuit Idientifier*) y un VPI (*Virtual Path Idientifier*), estos caminos virtuales sirven para simplificar la gestión de la red agrupando en una sola unidad a conexiones que comparten el mismo camino, esta información ayuda al enrutamiento singular a través de los conmutadores. (ATM, 2007)La técnica ATM multiplexa muchas celdas de circuitos virtuales en una ruta virtual colocándolas en particiones (slots), similar a la técnica TDM(*Time DivisionMultiplexing*). Sin embargo, ATM llena cada slot con celdas de un circuito virtual a la primera oportunidad, lo que aumenta significativamente el rendimiento de la red. En la figura se puede ver información de distintos medios asignada a diferentes circuitos virtuales, Los slots de celda no usados son llenados con celdas *idle*, identificadas por un patrón específico en la cabecera de la celda.(ATM, 2007)A diferencia de las redes síncronas, especializadas para un determinado tipo de tráfico o servicios, en ATM el tráfico es enviado en función de la demanda: si no hay tráfico, no hay exigencia sobre el ancho de banda, y por tanto no es dependiente del servicio. Es muy flexible y eficiente: se ajustan fácilmente y los recursos previamente asignados a una conexión de audio, se emplean luego para datos. ATM se basa en conexiones, no en canales, tal y como se hace en las tradicionales técnicas de multiplexado por división en el tiempo.

La unidad de intercambio de datos es la célula, definida como un bloque de información de longitud fija, en concreto 53 bytes: cabecera de 5 bytes, y sección de información de 48 bytes o *payload*, los bytes son enviados a la red uno a uno,

en secuencia, y el propietario de la célula se determina por la información existente en la cabecera de la propia célula.

La multiplexación de ATM ofrece una ventaja adicional, y es la posibilidad de que trabaje tanto en modo de circuitos como de paquetes. El modo de circuitos por ejemplo la transmisión de voz si se quiere, se denomina también CBR *Continuous Bit Rate*; el modo de paquetes, casi siempre datos, es denominado VBR *Variable Bit Rate*. De este modo, se logra compatibilidad con el equipamiento de red existentes, así como con todos los servicios de red como es el caso de las demandas de IPTV.

Las conexiones ATM, denominadas circuitos virtuales, pueden ser permanentes PVC o *Permanent Virtual Circuit*, que operan como una línea física dedicada, creando una conexión permanente entre dos puntos de la red; o pueden ser conmutados SVC, *Switched Virtual Circuit*, equivalentes a los de la red telefónica, donde las conexiones entre dos puntos de la red se establecen dinámicamente para cada transmisión.

Los caminos virtuales, *virtual paths* son grupos de canales virtuales que conectan dos puntos finales, incluyendo todos los enlaces asociados a través de la red ATM. Son un medio muy conveniente para agrupar el tráfico de todos los canales virtuales con idéntico destino. Las diferentes funciones de la arquitectura ATM se distribuyen en capas que permiten una mejor gestión y convergencia de todas las funciones.

Estándar	Velocidad de transmisión [Mbps]
E3	34
T3	45
OC-3	155
T1	1.544
OC-12	622

Tabla 2. Ratas de tráfico convencionales para ATM. Fuente El Autor.

De acuerdo con lo establecido por el ATM Forum, (ATM, 2007)la capa física se subdivide en dos subcapas: Medio Físico (*Physical Medium* PM) y Convergencia de Transmisión (*TransmissionConvergence* TC). La subcapa PM proporciona las funciones de transferencia de bits y por tanto es específica al medio empleado, mientras la subcapa TC controla la transmisión de las tramas a través del medio físico.

La subcapa TC es el nivel más bajo y realiza cinco funciones específicas:

- Generación/reconstrucción de la trama de transmisión, es decir, empaqueta las células en las tramas de transmisión y las desempaqueta.
- *CellRateDecoupling*: Un servicio de datos a ráfagas puede perder mucho tiempo sin transmitir datos, y en otros momentos puede intentar enviar gran cantidad de datos al mismo tiempo. Durante los períodos de inactividad, la capa TC insertará celdas sin contenido, en el lado del emisor, que serán retiradas en el lado receptor. Sólo las células válidas con contenido son pasadas a la capa ATM.
- Adaptación de la trama de transmisión, dado que los procesos siguientes requieren conocer el esquema de entramado empleado en el enlace.
- Delimitación de las celdas, de modo que el receptor reconozca los límites de cada célula en la cadena de bits.
- Secuencia de generación/verificación del HEC. El control de errores en ATM se emplea sólo en la cabecera de la célula, y se denomina Control de Errores de Eabecera (*Header Error ControlHEC*). A través de un sólo byte, con posibilidad de corrección de errores de un solo bit. Con su verificación se logra que células fallidas sean conmutadas a destinos inadecuados..

La capa ATM define la estructura de la célula ATM y la señalización a través de lasconexiones en una red ATM. Esta capa también crea las células ATM y permite elestablecimiento y desintegración de las conexiones virtuales, VC y VP en la red.

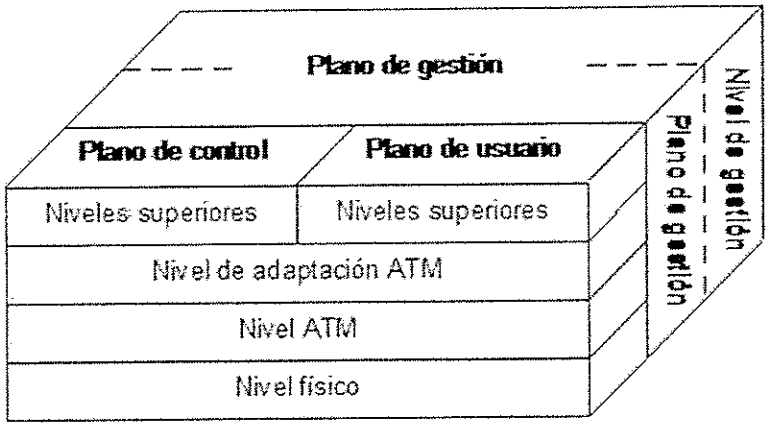


Figura 9. Modelo de referencia ATM. Fuente www.broadbandforum.org

La capa ATM multiplexa células a través de un mismo enlace físico. Las células se distinguen en los nodos de la red (conmutadores ATM), y en los equipos destinatarios, porque los campos de la cabecera identifican los caminos virtuales y los canales virtuales.

La capa ATM traslada un identificador de camino virtual (VPI o *Virtual PathIdentifier*) y un identificador de canal virtual (VCI o *Virtual ChannelIdentifier*) entrantes, en un enlace al par correcto VCI/VPI para el enlace de salida. Los valores se obtienen de una tabla en el conmutador, que previamente había sido obtenida en el momento de la conexión por mensajes de señalización.

[7]La capa de adaptación al medio, AAL,está diseñada para proporcionar la conversión en células de los diferentes tipos de paquetes, necesaria para acomodar la mezcla de tipos de datos en una misma red. La AAL realiza las funciones de segmentación y reensamble que componen la información de las capas de niveles superiores, como paquetes de datos de longitud variable en células ATM de longitud fija. Esta capa también gestiona el control de tiempos para las transmisiones y maneja células perdidas u ordenadas incorrectamente.

En consecuencia de las especificaciones técnicas descritas es posible conjeturar que para la naturaleza de los paquetes DVB-IPTV, ATM ofrece Alto rendimiento en hardware switching. Ancho de banda dinámico para tráfico a ráfagas y CoS soportados para multimedia, que es crucial en el momento de intentar alguna diferenciación al tráfico IPTV, escalabilidad en velocidad y crecimiento de la red, sumado a la posible compatibilidad con estándares internacionales.

6.2.1.1 ATM sobre SONET

SONET es un estándar para el transporte de telecomunicaciones ópticas formulado por la *Exchange Carriers Standards Association* ECSA para las industrias que implementan los estándares de telecomunicaciones y es básicamente una estrategia de multiplexado al medio tan generoso en ancho como es la fibra óptica, y forma un estándarnorteamericano. SONET / SDH, esperaban proporcionar la infraestructura mundial en materia de telecomunicaciones por lo menos para las próximas dos o tres décadas desde su normalización. El incremento de la configuración flexible y su disponibilidad del ancho de banda de SONET, proporciona múltiples ventajas sobre los antiguos sistemas de telecomunicaciones. [8]"Las características singulares de las redes SDH/SONET alta confiabilidad de los elementos de red en sí mismos, la disponibilidad de mecanismos de protección auto-recuperantes rápidos y automáticos en topologías de anillo redundante, y la aplicabilidad de error *recovery*

[7]AAL1 Circuit Emulation Over Packet Switched Networks. af-arch-0204.000. The ATM Forum.

[8]EVELIO MARTINEZ Revista RED Junio 2003.

en redes con alta conectividad, permitiendo que la comunicación a través de la red se restablezca en el caso de fallas, hacen que las redes SDH/SONET, sean altamente apropiadas para soportar la DNC del sistema de gestión en la propia red gestionada, sin impactar en la seguridad de la operación".

En el contexto de un entorno de red DVB-IPTV de los equipos SONET reciben un número de flujos de bits y combina en una sola ráfaga, que luego es enviado a la red de fibra utilizando un dispositivo emisor de luz. Las tasas de entradaserá igual a la tasa emitida desde el dispositivo de SONET. Por ejemplo, cuatro flujos de entrada que transportan tráfico de IPTV a 1 Gbps se combinan en el dispositivo de SONET y un tráfico de 4 Gbps se envía a la red de fibra.

SONET define una tecnología para transportar varias señales de diferentes capacidades a través de una jerarquía síncrona, flexible y óptica. El primer paso en el proceso de multiplexación de SONET envuelve la generación de más bajos niveles o señales básicas. En SONET, estas señales básicas se refieren al transporte de señales de nivel 1 o simplemente STS-1con operaciones de 51.84 Mbps. Las señales de alto nivel están integradas por múltiples STS-1, creando la familia de las señales STS-N. Una señal STS-N está compuesta de N señales STS-1 entrelazadas. Se hace mención también la equivalencia óptica de cada señal STS-N designada por el nivel N de carga óptico OCN. En la parte superior de la tabla 3 se plasma la señal básica referida como nivel 1 nombradas STS-1 *synchronous transport signal* o STM-1 *synchronous transport modules*. Los niveles superiores se refieren como STS-N o STM-N y están compuestas por N señales STM-1 señales entrelazadas byte a byte. Las partes equivalentes de señales ópticas que las portan son las OC-N *Optical Carrierlevel N* .Como la jerarquía digital del [9]CCITT no puede permitir un uso general de la señal de 51.84 Mbps, el nivel más pequeño de señal STM es de 155.52 Mbps, que equivale a STS-3c.

Señal eléctrica	Equivalencia Óptica	Tasa Binaria [Mbps]	Equivalencia SDH
STS-1	OC-1	51,84	STM-0
STS-3	OC-3	155,52	STM-1
STS-9	OC-9	466,56	-
STS-12	OC-12	622,08	STM-4
STS-18	OC-18	933,12	-
STS-24	OC-24	1244,16	-
STS-36	OC-36	1866,24	-
STS-48	OC-48	2488,32	STM-16

[9]Comité Consultivo Internacional Telefónico y Telegráfico CCITT

STS-96	OC-96	4976,64	-
STS-192	OC-192	9953,28	STM-64
STS-256	OC-256	13271,04	-
STS-384	OC-384	19906,56	-
STS-768	OC-768	39813,12	STM-256
STS-1536	OC-1536	79626,24	-
STS-3072	OC-3072	159252,48	-

Tabla 3. Tasas de Flujo para SONET. Fuente El Autor.

SONET Y SDH suelen utilizar términos diferentes para describir idénticas características o funciones, por lo que a veces esto lleva a la confusión. Con pocas excepciones, se puede decir que SONET es un subconjunto de SDH. Las dos principales diferencias entre ambos sintéticamente se pueden establecer como el hecho que SONET puede utilizar una de las dos unidades básicas disponibles para crear las tramas o *frames* mientras que SHD sólo pueden utilizar uno mientras que SDH ha mapeado las opciones adicionales que no están disponibles en SONET.

A fin de ejemplificar una implementación SONET, la figura 10 ilustra un caso de estudio donde dos redes intercambian una señal DS1, en este caso las capas de interfaz óptica tienen una relación jerárquica, cada capa se basa en los servicios prestados por la capa inmediatamente inferior. Cada capa se comunica a igual equipo en la misma capa y procesa la información, y pasa hacia arriba o hacia abajo a la siguiente capa.

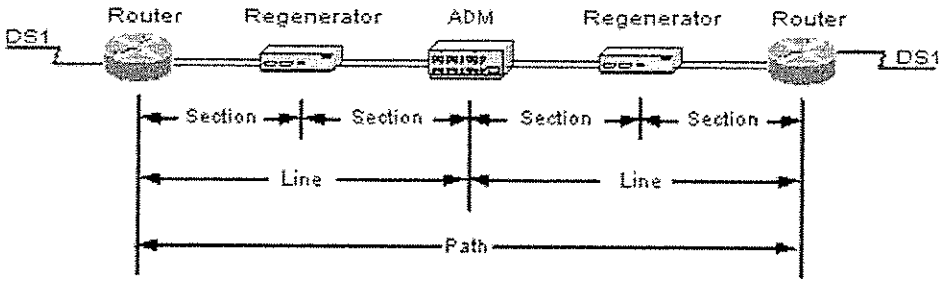


Figura 10. Dos nodos intercambias una señal DS1 en una topología soportada por SONET.Fuente: International Review on Computers and Software (I.RE.CO.S.), Vol. 5, N. 6 November 2010

[10]En el nodo de origen, la capa de ruta PTE mapea 28 señales DS1 y le proporciona el formato STS-1 SPE y las pasa ala capa de línea. La Capa de

[10]Adaptación del ejemplo de configuración propuesto en *A BriefOverview of SONET Technology*.Document ID: 13567, CISCO Systems Inc.

Línea LTE multiplexa las señales STS-1 SPE y añade la el respectivo sufijo de línea. Esta señal combinada se pasa entonces a la capa de sección, ECE, quien ensambla la trama y la aleatorización y agrega una su respectivo sufijo para formar una señal STS-N.Finalmente, la señal STS eléctrica se convierte en una señal óptica de la capa fotónica y transmitida a través de la fibra hasta el nodo distante.A través de la red SONET, la señal se regenera en regeneradores ópticos (dispositivos de capa STE), pasados a través de un ADM (un dispositivo de nivel LTE), y, finalmente, termina en un nodo (en el nivel de PTE).En el nodo remoto, el proceso se invierte a partir de la capa fotónicahacia la capa de trayecto donde las señales DS1 terminan.

La tendencia es hacia velocidades mayores, tal como en el sistema STM, pero los costos de los elementos de ese tipo son aún muy elevados, lo que está retrasando el proceso. La alternativa es una técnica llamada DWDM Multiplexaciónpor División de Longitud de Onda Densa, que mejora el aprovechamiento de las fibras ópticas monomodo, utilizando varias longitudes de onda como portadoras de las señales digitales y transmitiéndolas simultáneamente por la fibra. Los sistemas actuales permiten transmitir 16 longitudes de onda, entre 1520 nm y 1580 nm, a través de una sola fibra. Se transmite un canal STM-16 por cada longitud de onda, lo que da una capacidad de unos 40 Gbps por fibra. Ya se ha anunciado la ampliación a 32, 64 e incluso 128 longitudes de onda. Asociada al empleo del multiplexado DWDM se observa una tendencia hacia las redes en las que todos los elementos son ópticos. Ya existen en el mercado multiplexores *add/drop* o de inserción / extracción ópticos y se están realizando pruebas de dispositivos ópticos de transconexión*cross-connects*. En términos del modelo de referencia OSI, este desarrollo significa básicamente la aparición de una capa DWDM, adicional debajo de la capa SONET.

En este punto es conveniente realizar un par de precisiones respecto a los conceptos evaluados anteriormente: si bien el modelo de referencia OSI señala la existencia de una capa de transporte y adicionalmente [11]SONET o SHD se mostró como desde la perspectiva OSI, SONET proporciona servicios de capa física a la redes de datos. El sistema SONET, sus protocolos asociados y características como la protección de *path*, el redireccionamiento también se pueden se clasificados dentro de la pila de protocolos de capa 3 del mismo modelo de referencia. En el mundo de las comunicaciones SONET / SDH, es visto como un sistema de transporte, aclarando con vehemencia que no hace referencia a la capa de transporte del modelo de referencia OSI, que proporciona un

[11]En las líneas anteriores puede haberse hecho referencia a SONET, SDH o ambos conceptos como equivalentes. La situación diferencias converge en la procedencia del estándar y por lo mismo los criterios que evalúan sus prestaciones en ancho de banda; de cualquier modo, sin que sean lo mismo, SONET/SDH pretende significar un medio de transporte óptico sobre el cual se soportan protocolos de capas de enlace de datos y en el caso de este documento, servicios y tráfico IP como en efecto es DVB-IPTV.

servicio estructurado síncrono para el transporte de circuitos TDM desde canales E1/T1 hasta OC-1 y superiores.

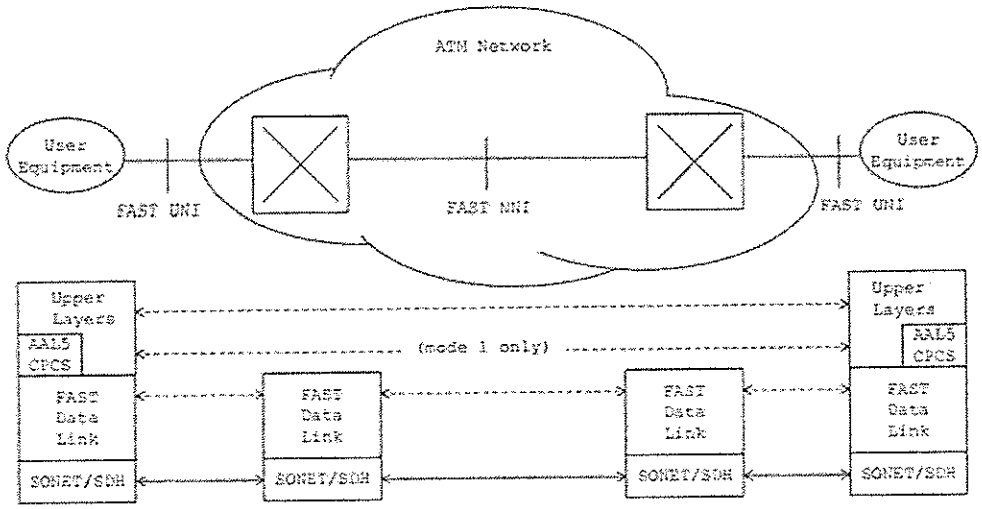


Figura 11.Modelo *Frame Based ATM over SONET/SDH Transport* FAST propuestopor ATM Forum. fb-fbatm-0151.000

6.2.2 Metro Ethernet

Del modo vertiginoso como el tráfico de red se ha desarrollado evolucionando del esquema de multiplexación por división de tiempo TDM hasta llegar el tráfico de paquetes, los SPs se han volcado gran parte de su fortaleza de investigación y por lo tanto su fortaleza de inversión en las redes de *core* o *backbone*redes construidas en la tecnología de tráfico de paquetes. En la década de 1990, (Atm &Transport, 2000)el crecimiento de la Internet creó una ola de interés en lograr laconvergenciaen IP como el paradigma de las redes de datos. Sin embargo, las redes IP han demostrado indicadores de despliegue más costosos de lo esperado, y en cualquier caso, los protocolos de paquete son de varias capas y la IP es un protocolo de Capa 3. Por debajo de IP, para la capa de enlace de datos del modelo de referencia OSI, son opciones Paquetes sobre SONET *POS* y *Ethernet.*

Las implementaciones en redes de *core* basadas en *Ethernet* se pueden dividir en términos de interfaz y aplicaciones de red. En el primer caso, *Ethernet* se usa simplemente como un protocolo punto a punto de la capa 2 entre los dispositivos, routers IP por lo general. En esta aplicación, el beneficio de *Ethernet*se finca en su la ostensible reducciónde costo en relación con SONET. En aplicaciones de redes *Ethernet*, se ha fraguado con relativa solidez los protocolos IP y de capas superiores soportados por *Ethernet.* Una LAN *Ethernet*ciertamente no es

adecuada para el despliegue de la red de *backbone* y, de hecho, es inadecuado para el despliegue de portador en cualquier aplicación. Las normativa referente a redes de área local, particularmente las relacionadas con el tamaño de las subredes de *Ethernet*y la pasarela requerida para enlazarse con entre subredes o *spanning tree*, no son escalables a niveles de transporte. IEEE y *Metro EthernetForum* MEF han estado trabajando en una serie de normas para crear soporte escalable*Ethernet*.

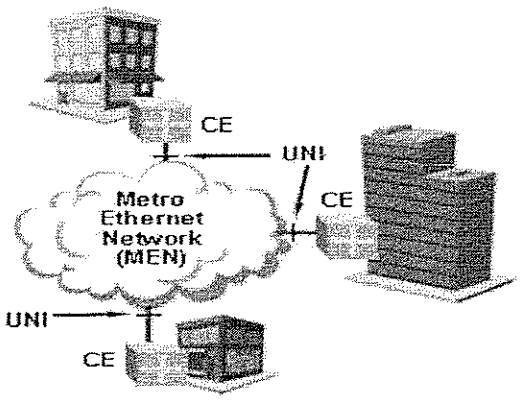


Figura 12. Ilustración de la topología *end-to-end* soportado por un *backbone*basado en Metro *Ethernet*. Tomada de Ralph Santitoro. MEF Technical. Metro Ethernet Forum 2003

En términos simples, un EVC realiza dos funciones: Se conecta dos o más sitios de suscriptor en adelante *User Network Interface* UNI, que permite la transferencia de tramas de servicios *Ethernet* entre ellos. En virtud a su naturaleza de privacidad, evitará la transferencia de datos UNIs que no forman parte del mismo EVC. Esta capacidad permite a un EVC ofrecer privacidad y seguridad sobe los datos similar a un PVC propio en *Frame*Relay o ATM.

Las principales características técnicas y operativas de Redes de *backbone* basadas en Metro *Ethernet* incluyen:

- Cumple con los diversos requisitos que son típicos de la tecnología inherente una red de *core*, como lo puede ser la resistencia, alto rendimiento y escalabilidad.
- Algunos equipos modernos de *Metro Ethernet* pueden operar a velocidades de hasta 100 Gbps a través de grandes distancias geográficas. Esto proporciona los proveedores de servicios contar con una plataforma ideal para la prestación eficiente de nuevos servicios de valor añadido tales como IPTV desde COs dispersas espacialmente.
- Implementa un sofisticado mecanismo de recuperación en el evento que el enlace de una red caiga, y de ese modo asegurar que los servicios tales como IPTV no se ven afectados por el fallo.

- Metro *Ethernet* soporta el uso de circuitos virtuales orientados a la conexión que permiten a los SP de IPTV para garantizar la entrega de alta calidad en los contenidos de vídeo desde el *backbone*. Estos enlaces dedicados son llamadosConexiones *Ethernet* Virtual (*Ethernet Virtual Circuit* EVC).

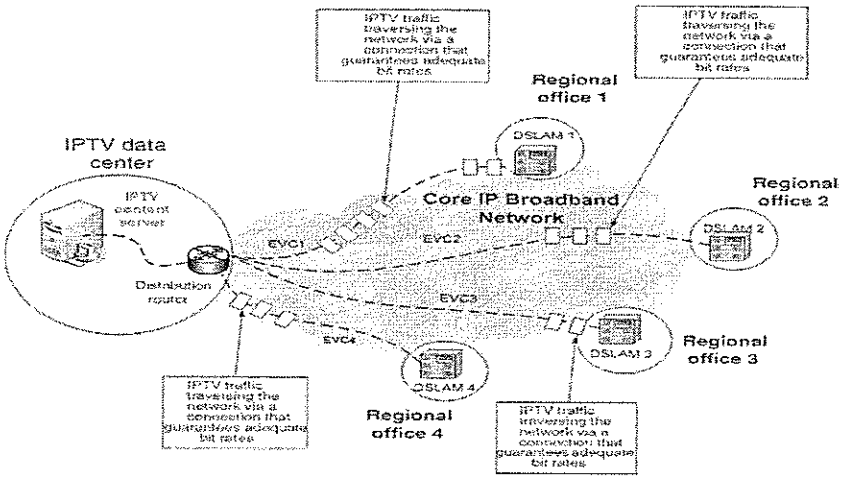


Figura 13. Topología soportado por un *backbone* Metro *Ethernet* hasta los equipos de la red de acceso, en este caso DSL.Fuente(Perez, 2005)

Ahora bien, gradualmente se van presentando semejanzas funcionales entre los que fue el literal anterior; ATM y, lo que está presentando *Metro Ethernet,* como tecnología para una red de *backbone.* Bajo este supuesto es subsecuente tratar que puede hacer en términos desempeño*Metro Ethernet*propone para dar sustento a la red de *core.*Los parámetros de rendimiento afectan la calidad del servicio experimentado por el suscriptor como lo pueden ser:

• Retardo de trama: Es un parámetro crítico y puede tener un impacto significativo en la calidad de servicio para aplicaciones en tiempo real servicios tales como IPTV. El proceso *FrameDelay* o el retardo de trama se puede dividir en tres etapas, como se ilustra en la figura 14, representado por los intervalos A, B y C. El retardo introducido por A y B son dependientes de velocidad del enlace en la UNI por ejemplo 10 Mbps y el tamaño de la trama de servicio *Ethernet* tomando como caso 1518 bytes. En el proceso, tanto A y B introducen 1.214 ms de retardo de transmisión para un tamaño de trama de servicio estándar de 1518 bytes, y cada UNI capacitado para 10 Mbps. C es la cantidad de retardo introducido por la red *Metro Ethernet* y es estadísticamente caracterizado por el proveedor de la red *Metro Ethernet* medida durante un intervalo de tiempo aleatoriamente con propósitos de monitoreo de la red. El retardo de trama es representado por A + B + C, donde A y B pueden ser calculado mientras que C se especifica sobre un

intervalo de medición. El procedimiento siguiente describe una aritmética lineal que busca calcular el retardo total entre la salida de la trama del UNI emisor hasta su destino en la interfaz del receptor. Solo por contextualizar los modos en los que se puede obtener elementos de juicio para aplicar QoS, en el procedimiento siguiente el retardo se mide entre dos 10Mbps UNIs utilizando un intervalo de medición 5 minutos el percentil de 95. Durante el intervalo de medición, 1000 tramas fueron entregadas con éxito. El retardo máximo del 95% de las 1000 tramas con éxito se midió a en 15 ms. Por lo tanto, C equivale a 15 ms. Esto da como resultado un retardo total de 17.43 ms, nada científico. Losservicios que requieren un rendimiento respecto al retraso muy exigente puedenproporcionar un percentil más alto, por ejemplo, percentil 99.

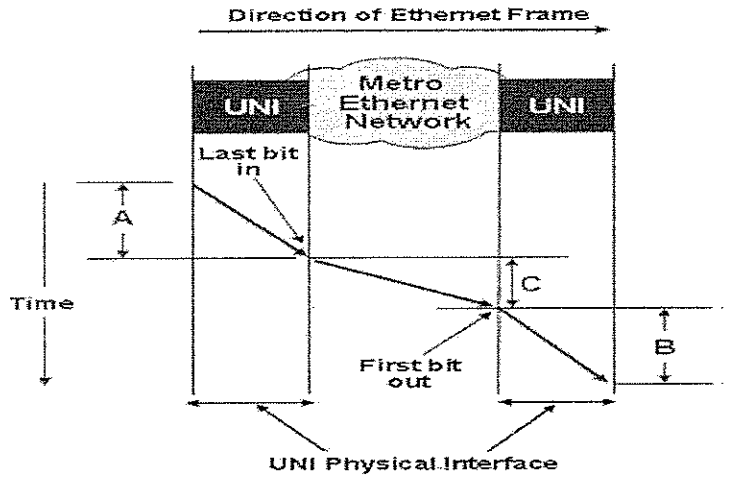


Figura 14. Determinación del retardo total de una trama *Ethernet* a partir de los retardos locales.Tomada de Metro Ethernet Services – A Technical Overview. Metro Ethernet Forum

• *Jitter* de trama: *Jitter*, también conocido como la variación de retardo, es un álgido parámetro para aplicaciones en tiempo real, como la telefonía IPTV. Estas aplicaciones en tiempo real requieren una baja y delimitada la variación de retardo para funcionar correctamente; mientras que el *jitter* es un parámetro crítico en aplicaciones de tiempo real, tales fluctuaciones esencialmente no tienen efecto negativo en la calidad de servicio en las aplicaciones que no son en tiempo real. La variación en el retardo de las tramas se puede derivar de la medición de *frame delay*. . Sobre una población de muestras de retardo de trama usadas en el proceso del cálculo de indicador anterior, la trama de servicio con el menor es restado al valor final de *frame delay* y este tiempo es *Jitter Delay.* Sigue siendo un indicador de desempeño calculado sobre el conjutno de mediciones hechas durante el propio proceso de transporte.

• Pérdida de trama: es una función de transferencia entre las tramas que se entregaron hacia al UNI de destino a través de un EVC y las tramas que se enviaron por el mismo canal o circuito virtual. Por supuesto es un cociente siempre menor o al menos igual a uno por lo que se puede expresar un porcentaje de perdida de tramas. *Frameloss* que es equivalente, tiene un impacto diferente sobre la calidad de servicio, dependiendo de la aplicación, servicio o protocolo de capa superior utilizados por el servicio. Por ejemplo, una pérdida del 1% en una aplicación de voz sobre IP puede ser aceptable. Una pérdida del 3%, sin embargo, dará lugar a la calidad de voz inaceptable. Las aplicaciones tipo *streaming* pueden tolerar diversos grados de pérdida y compensar mediante el ajuste de la velocidad de transmisión de paquetes cuando se detecta la pérdida. Aplicaciones basadas en TCP, las peticiones HTTP de un navegador de Internet pueden tolerar varíagrados de pérdida de paquetes debido a que el protocolo TCPretransmitirá los paquetes perdidos. Sin embargo, la excesivala pérdida de paquetes afectará negativamente la QoS del suscriptor.

6.3 Introducción de IP/MPLS en la estructura de IPTV

En virtud a que un capitulo completo de este libro está dedicado a MPLS por su pertinencia con el objetivo de la investigación y además por la densidad de los conceptos que aborda, en este literal solo se menciona de manera menos que breve una descripción a IP/MPLS. Es correcto afirmar que En la actualidad, MPLS se considera fundamental en la cristalización de los nuevos cimientos para la tecnología de redes del siglo XXI. MPLS es el estándar de arquitectura multinivel que se desarrolla actualmente, el cual soluciona algunos de los problemas existentes en las redes actuales, basadas en encaminamiento. La migración a MPLS está provocando cambios en el sector de las telecomunicaciones y se ha convertido en un reto para los SPs de cara a incorporar los beneficios de esta tecnología en el proceso de transformación de sus infraestructuras.

MPLS se encuentra situado entre las capas de enlace de datos y de red del modelo OSI, es factible afirmar decir que es un protocolo de unión entre la capa de enlace y la capa de red, aunque no es un protocolo únicamente. MPLS es acrónimo de Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo *Multiprotocol Label Switching*, y es visto como una tecnología relativamente reciente que se desarrolló para solucionar la mayoría de los problemas que existen en la técnica actual de reenvío de paquetes. IETF cuenta con un grupo de trabajo MPLS que ha unido esfuerzos para estandarizar esta tecnología. Opera entre la capa de enlace

de datos y la capa de red del modelo OSI, fue diseñado para unificar el servicio de transporte de datos para las redes basadas en circuitos y las basadas en paquetes, puede ser utilizado para transportar diferentes tipos de tráfico incluyendo tráfico de voz y de paquetes IP.

MPLS es un estándar emergente del IETF que (IETF, 2010)surgió para consensuar diferentes soluciones de conmutación multinivel propuesto por diferentes fabricantes a mitad de los años noventa. Como concepto, MPLS un tanto abstracto a la primera impresión, pero las implicaciones que supone su implementación real son enormemente complejas. Según el énfasis (o interés) que se tenga a la hora de explicar sus características y utilidad, MPLS se puede presentar como un sustituto de la conocida arquitectura IP sobre ATM revisada en los literales anteriores, también como un protocolo para hacer enlaces virtuales sobre la red de un SP o bien, como una herramienta para acelerar el enrutamiento de paquetes. En realidad MPLS es solidario con estas posturas y ofrece funcionalidad variada en términos de una red de *backbone* ya que integra sin discreción las capas 2 y 3 del modelo de referencia OSI, combinando eficazmente las funciones de control del encaminamiento con la simplicidad y rapidez de la conmutación capa 2.

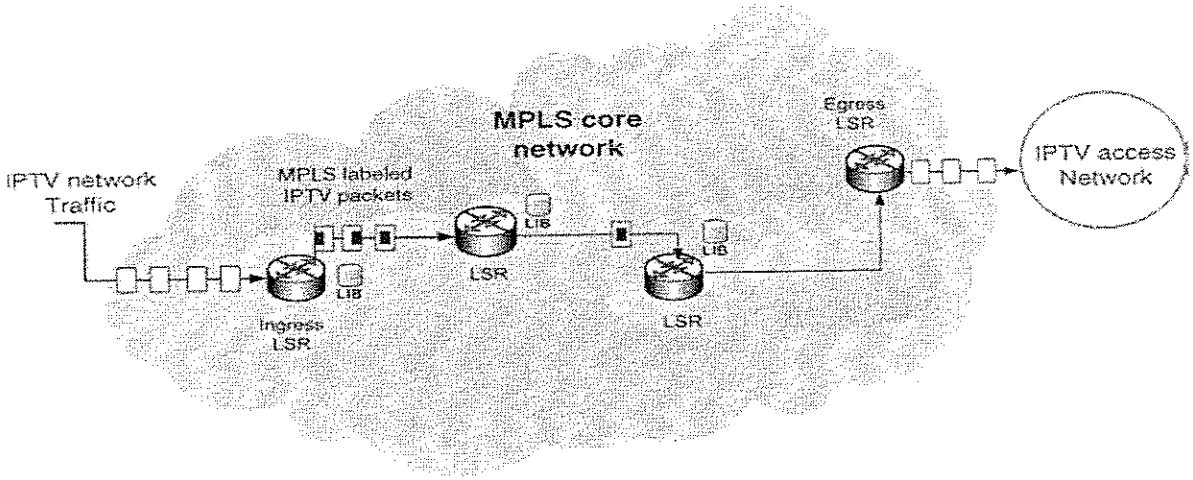


Figura 15. Topología de una solución IPTV sobre una arquitectura de *core* MPLS.Tomada de Next Generation IPTV Services and Technologies. GERARD O'DRISCOLL.

Obedeciendo la metodología propuesta lo anterior es suficiente para pre introducir IP/MPLS en el contexto de la presente investigación, el capítulo siguiente ofrece un desarrollo amplio que intenta proporcionar los conceptos necesarios para abordad IP/MPLS como una estrategia de transporte para DVB-IPTV.

7. METODOLOGÍA

En este aparte del trabajo de aborda la situación frente al tipo y método de investigación observados en la concepción y desarrollo del documento.En virtud a la intención del trabajo, es correcto afirmar que la presente investigación es del tipo:

Teórica. Dado el hecho que se ha consultado y estudiado la información y documentación vigente respecto a los dos ejes temáticos del trabajo como lo son IPTV y MPLS. Estos referentes teóricos informan y dan sustento técnico a la problemática planteada puesto que son extraídos de fuentes académicas e industriales del sector con un alto grado de confiabilidad pues se ha abordado una problemática que goza de una notable madurez conceptual y normativa.

Exploratoria. Para conseguir obtener claridad sobre la problemática y la práctica de mecanismos de análisis se hace imperativo adoptar una conducta exploratoria frente a la pluralidad en la estandarización y normalización a la vez que se imprima a la investigación una competencia integradora entre los conceptos asociados a los ejes temáticos que, individualmente son aditamentos, pero que engranados conforman un sistema.

Descriptivo. Los datos reclutados han de tornearse en el marco de una información práctica. A tal fin, previo estudio de los referentes teóricos, se implementa una metodología descriptiva que busca concretar las generalidades de los temas individuales en el contexto de la problemática planteada. Este método asegura la apropiación de conocimiento y la correlación concepto-contexto mediante el comentario o aclaración a las bases teóricas consultadas. Al describir los referentes documentales se está reconstruyendo la teoría desde el saber previo y el nuevo conocimiento apropiado.

Analítico- Propositivo. Es el componente metodológico que cristaliza el arreglo de secuencias previas porque platea un escenario de saber objetivo frente a la teoría y la apropiación de la misma. El análisis busca llevar al plano del problema planteado una conducta no solo descriptiva sino propositiva pues tal análisis es una integración de conceptos ya afianzados y elementos de juicio propios para adoptar una postura crítica frente a la conveniencia del planteamiento. En el momento que se hace adopta una propuesta metodológica semejante, el componente propositivo es un subproducto de la actividad principal que se concreta en las aplicaciones que el sistema en su integridad puede complementar o facilitar estudios paralelos relativos al problema planteado.

La metodología de trabajo se materializa a través de un cronograma diseñado en la concepción de la idea donde se tasaron condiciones temporales y procedimentales que reflejan el seguimiento de macro actividades como documentación, filtro y revisión de teoría. Importante destacar que para la consecución del objeto principal de la investigación se evalúo con determinada frecuencia los resultados parciales de las actividades puntuales como eslabones del camino hacia los objetivos específicos que dan estructura a la investigación en términos de los resultados evaluables.

8. DESARROLLO

8.1 Presentación Global de IP/MPLS

Como un paquete de un protocolo de capa de red no orientado a la conexión se desplaza de un enrutador a otro, cada *router* tiene una decisión independiente acerca del para ese paquete, es decir, cada router analiza la cabecera paquete y cada uno ejecuta un algoritmo de enrutamiento de capa de 3. Cada enrutador elige discrecionalmente un próximo salto para el paquete, en base a su análisis de la cabecera del paquete y los resultados de la ejecución del algoritmo de encaminamiento.

Una plataforma como MPLS es diseñada y construida utilizando *LabelSwitch Router* LSR. Estos LSRs son equipos avanzados responsables de establecer caminos hacia destinos específicos dentro de la red de *core*. Estas rutas de acceso virtuales se denominan etiquetas Rutas Conmutadas por Etiquetas (*LabelSwitchedPaths* LSP) y se configuran con los recursos suficientes para garantizar la transición sin problemas de tráfico de datos a través de una red MPLS. El uso de LSP simplifica y acelera el enrutamiento de paquetes a través de la red porque solo se inspecciona el paquete de manera exhaustiva en el ingreso a la red y no se requiere en cada salto del router.

La otra función principal de LSRs es identificar los tipos de tráfico de red. Esto se consigue añadiendo una cabecera MPLS en el comienzo de cada paquete IP en este caso. Los elementos clave de una cabecera MPLS se agregan en el LSR de ingreso y removido por el LSR de salida, ya que deja la red de *backbone* MPLS. Mientras que el tráfico de IP atraviesa los LSR del *core* MPLS habilitado un conjunto de tablas locales llamadas Bases de Información Etiquetas (*LabelInformation Bases* LIBs) se inspecciona para determinar los detallessobre el siguiente salto en la ruta. Además de examinar la tabla, es una nueva etiqueta se añade al paquete y es enviado en al puerto del router de salida correspondiente. Esto naturalmente suena absolutamente simple y ligero frente a la realidad de la implementación y por lo mismo las funcionalidades y escalabilidad de IP/MPLS como se verá en los siguientes apartes.

8.2 Consideraciones previas para el análisis de MPLS

La convergencia continuada hacia IP de la mayoría de aplicaciones existentes, junto a los problemas de rendimiento derivados de la solución IP/ATM, llevaron en 1997 a que varios fabricantes desarrollaran técnicas para realizar la integración de niveles de forma efectiva, sin las discontinuidades que quizá platea IP sobre ATM. Esas técnicas se concibieron bajo el calificativo de conmutación IP o conmutación multinivel. Una serie de tecnologías privadas entre las que merecen citarse: *IP Switching* de *Ipsilon Networks*, *TagSwitching* de Cisco Systems Inc,*AggregateRoute-Base IP Switching* (ARIS) de IBM, *IP Navigator* de *Cascade/Ascend/Lucent y CellSwitching Router* (CSR) de Toshiba condujeron finalmente a la adopción del actual estándar MPLS del IETF. El problema que presentaban tales soluciones era la falta de interoperabilidad, ya que usaban diferentes tecnologías privadas para combinar la conmutación de nivel 2 con el encaminamiento IP.

IP Switching desarrollado por Ípsilon Networks en 1996, (OROZCO JIMENEZ, 2000)el objetivo básico de IP *Switching* fue el de integrar conmutadores ATM de una manera eficiente (eliminando el plano de control ATM), es decir la idea fue eliminar el software ATM orientado a conexión e implementar el ruteo IP sin conexión sobre el Hardware ATM basado en la clasificación de flujo. Un *switch* IP es simplemente un enrutador IP encadenado con un *switch* ATM, un software IP de encaminamiento, un controlador del hardware del *switch* y clasificador de flujo el cual se encarga de decidir en qué momento se debe conmutar el flujo. Ípsilon utilizó la presencia de tráfico para controlar el establecimiento de una etiqueta.

Por su parte la tecnología *TagSwitching* de Cisco ofrecía en su momento combinar el rendimiento y la capacidad de circuito virtual de la conmutación de Nivel 2 con la comprobada capacidad de ampliación y de servicio que ofrece el Nivel 3 de red.[12] Fue la primera tecnología que integraba completamente encaminamiento y conmutación para redes públicas a gran escala. El Tag*Switching* permitió una integración eficiente de IP ATM, la creación de redes preparadas para redes privadas virtuales (VPN), la capacidad de soportar diferentes clases de servicio (CoS) de manera ampliable, y proporciona una potente capacidad de tráfico..

"La tecnología *TagSwitching* de Cisco es un elemento indispensable en la estrategia global para la creación de redes ampliables y soluciones de servicio. *TagSwitching* proporciona a los administradores de red la flexibilidad necesaria para hacer frente a los actuales y futuros diseños de red a través del soporte de

[12] Cisco Tag Switching.Fri May 14 PDT 199. Cisco Systems Inc.

una amplia variedad de tecnologías de Nivel 2 y protocolos de Nivel 3, y puede implementarse sobre una red totalmente encaminada o conmutada (ATM). Cisco ha contribuido a la especificación *TagSwitching* del IETF así como a la base del estándar emergente *MultiprotocolLabelSwitching*MPLS".

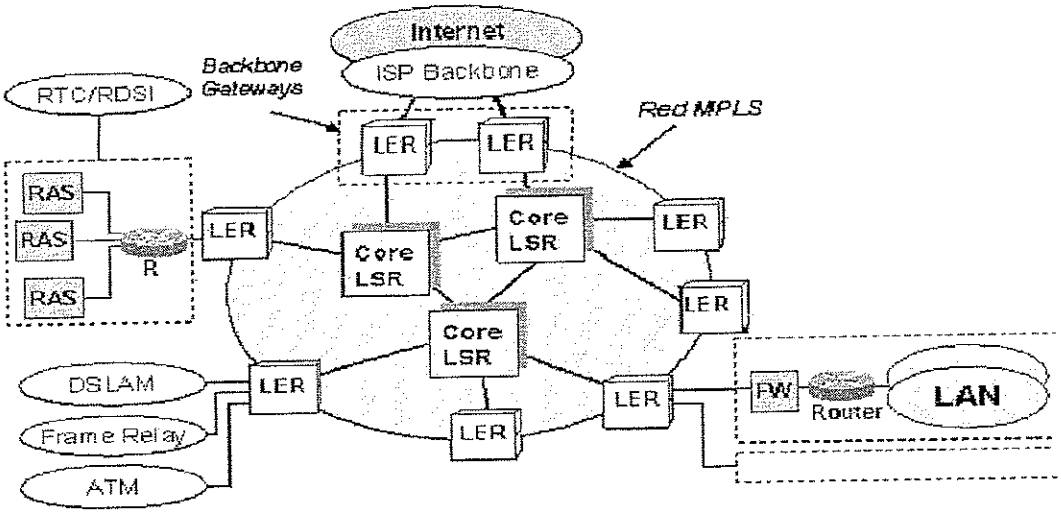


Figura 15. Topología genérica de red MPLS en convergencia con diferentes tecnologías de acceso. Tomada de Ramon J. Millan Tejedor, José M. Huidobro Moya Septiembre. MPLS. 2002.

Durante el tiempo en que se ha desarrollado el estándar, se han extendido algunasideas inexactas sobre el alcance y objetivos de MPLS. Hay posturas que suponen queMPLS se ha desarrollado para ofrecer un estándar a los vendedores que les permitiese evolucionar los *switches* ATM a *routers* de *backbone* de altas prestaciones.Aunque esta puede haber sido la finalidad original de losdesarrollos de conmutaciónmultinivel, los recientes avances en tecnologías de siliciopermiten a los routersfuncionar con una rapidez similar para la consulta de tablas, a las de losconmutadoresATM. Si bien es cierto que MPLS mejora notablemente el rendimiento delmecanismo de envío de paquetes, éste no era el principal objetivo del grupo del IETF.Los objetivos establecidos por ese grupo en la elaboración del estándar eran:(Canalis, 2008)

- MPLS debía funcionar sobre cualquier tecnología de transporte, no sólo ATM.
- MPLS debía soportar el envío de paquetes tanto *unicast* como *multicast*.
- MPLS debía ser compatible con el Modelo de Servicios Integrados del IETF,incluyendo el protocolo RSVP.
- MPLS debía cooperar con el crecimiento constante de la Internet.

- MPLS debía ser compatible con los procedimientos de operación, administracióny mantenimiento de las actuales redes IP.

Hubo tesis que sostuvieron que MPLS vendría a suprimir tempestuosamente el enrutamiento sustentado en prefijos de red o IP; nunca se logró porque tampoco fue objetivo del grupo en virtud a que Internet siempre necesitaría direccionamiento IP dado que:

- El filtrado de paquetes en los *firewall* de acceso a las LAN corporativasy en los límites de las redes de los SPs son un requisito fundamental para podergestionar la red y los servicios con las necesarias garantías de seguridad. Para ellose requiere examinar la información de la cabecera de los paquetes, lo que impideprescindir del uso del nivel 3 en ese tipo de aplicaciones.
- No es probable que los sistemas finales o *hosts* implementen MPLS. Necesitanenviar los paquetes a un primer dispositivo capa 3que pueda examinar lacabecera del paquete para tomar luego las correspondientes decisiones sobre suenvío hasta su destino final. En este primer salto se puede decidir enviarlo por encaminamiento convencional o asignar una etiqueta y enviarlo por un LSP como sucedería en una tecnología MPLS.
- Las etiquetas MPLS tienen solamente significado local, esto implica que enalgún punto del camino algún dispositivo de capa 3 debe examinar la cabecera delpaquete para determinar con exactitud por dónde lo envía: por enrutamiento convencional o entregándolo a un LSR, que lo expedirá por un nuevo LSP. Es imposible mantener vínculos globales entre etiquetas y hosts en toda la Internet.

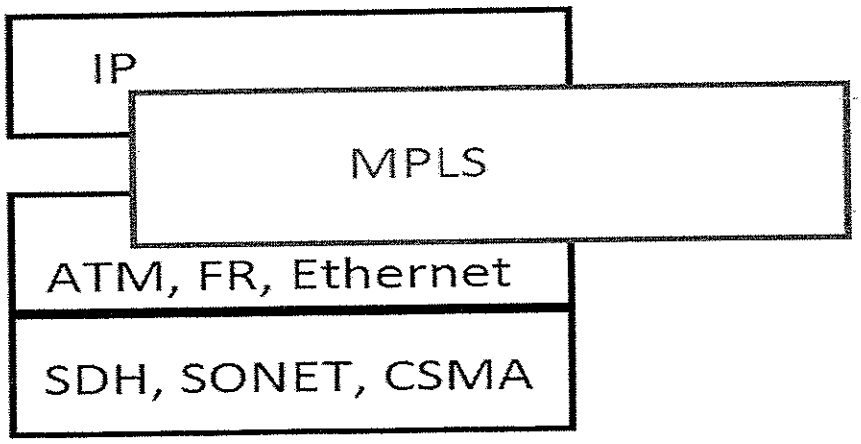


Figura 16.Captura parcial del modelo de referencia OSI ubicando MPLS. Fuente El Autor.

8.3 Análisis del Funcionamiento general de MPLS

En la dinámica de la conmutación de etiquetas entran se sostienen dos entidades funcionales. La primera de ellas el reenvío y por otra el control. En el *fordwaring* se emplea la información de etiqueta que transportan los paquetes y la información para orientar ese reenvío que mantiene el *switch* de etiqueta para realizarlo. En el control, se busca tratar de retener la información de etiquetas entre un grupo de conmutadores que manejan esta forma de trabajo, porque las etiquetas se pueden asociar a rutas lo que permite crear rutas de etiquetas conmutadas, lo que se denomina LSP, *Label-SwitchedPaths.* Estos caminos virtuales son *simplex*, se generan en un sentido del tráfico para cada punto de entrada en la red, por lo que su naturaleza *duplex* se debe obtener gestionando otro LSP en sentido contrario. Cada ruta de conmutación de etiquetas se obtiene comunicando los *switches* de etiquetas a través del *core* de MPLS.

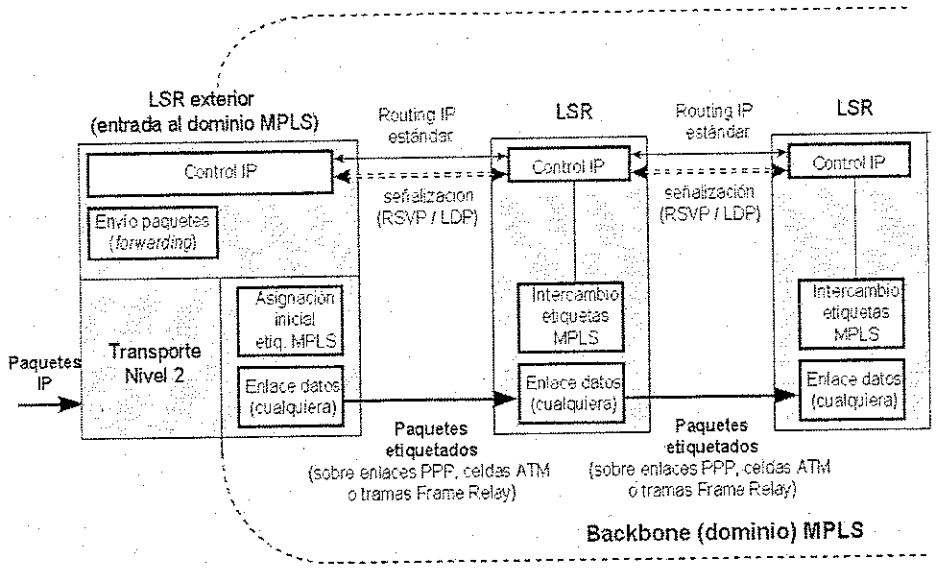


Figura 17.Esquema funcional de IP/MPLS. Fuente (Ogashiwa, Uda, Uo, &Shinoda, 2007)

Cada LSP se crea a base de concatenar uno o más saltos en los que se intercambian las etiquetas, de modo que cada paquete se envía de LSR a otro, a través del dominio MPLS. Un LSR no es sino un router especializado en el envío de paquetes etiquetados por MPLS. En la figura 4 se puede ver la funcionalidad del MPLS. De manera semejante a las soluciones de conmutación multinivel, MPLS separa las dos componentes funcionales de *routing* y de *forwarding*. Del mismomodo, el envío se implementa mediante el intercambio de etiquetas en los

LSPs. Sinembargo, MPLS no utiliza ninguno de los protocolos de señalización ni deencaminamiento establecidos en ATM; en MPLS o bien se utiliza un protocolo llamado *ResourceReservationProtocol* RSVP o bien un nuevo estándar de señalización *LabelDistributionProtocol*, LDP. Pero, de acuerdo con losrequisitos del IETF, el transporte de datos puede ser cualquiera. Si éste fuera ATM,una red IP habilitada para MPLS es ahora mucho más sencilla de gestionar que lasolución clásica IP/ATM. Ahora ya no hay que administrar dos arquitecturasdiferentes a base de transformar las direcciones IP y las tablas de encaminamiento enlas direcciones y el encaminamiento ATM: esto lo resuelve elprocedimiento deintercambio de etiquetas MPLS. El papel de ATM queda restringido al simple transporte de datos basado en celdas. Para MPLS esto es indiferente, ya que puedeutilizar otros transportes como *FrameRelay*, o directamente sobre líneas Punto a Punto.

Si se recuerda, en el proceso de reenvío de paquetes IP convencional un cambio en la información de control de dicho proceso debe necesariamente ser notificada a todos los equipos del dominio de enrutamiento que ejercen control implicando obligatoriamente un aumento en el tiempo que le toma a la red converger hasta lograr sincronizar la información de actualización; así pues es útil un mecanismo que pudiera cambiar el trayecto por el cual se reenvía un paquete sin afectar los demás dispositivos que conforma la red. Para implementar este mecanismo, los dispositivos de enrutamiento no debería depender de la información que se contiene en la cabecera IP, para lo cual se necesitaría adjuntar una etiqueta adicional al paquete reenviado que indique el comportamiento que tome el mismo a lo largo de la red. Si las decisiones de reenvío se basan entonces en etiquetas adjuntadas a los paquetes IP originales, cualquier cambio en el proceso de decisión puede ser llevado a cabo únicamente adjuntado nuevas etiquetas y así no se impactaría ninguno de los dispositivos de enrutamiento que conforman la red.

A partir de esta estrategia de operación, el procedimiento de reenvío, basado en una pequeña marca de longitud fija que actúa como índice, se simplifica sensiblemente obteniendo una mayor tasa de paquetes enviados. Esa simplicidad en el reenvío, también, hace que se pueda implementar directamente a nivel hardware con lo que no es necesario añadir inteligencia al dispositivo. Hay que considerar que los conmutadores de etiqueta no analizan la cabecera IP, no lo necesitan. Basta con que procesen la etiqueta de entrada para reemplazarla por la nueva de salida, según la tabla de conmutación de etiquetas que manejan. Si el paquete sale del dominio de MPLS, no existen problemas de incompatibilidad, el conmutador quita la etiqueta y reenvía el paquete por el encaminamiento que se

prevea en la frontera MPLS, un argumento más para que el enrutamiento IP tradicional no esté amenazado por MPLS sino simplificado en las redes de *core.*

La imposición de etiquetas en MPLS es la acción de añadir una etiqueta a un paquete cuando éste entra a un dominio MPLS. Esta función se realiza en los límites de la red MPLS y es ejecutada por un Edge-LSR. En el reenvío tradicional de paquetes IP, cada salto en la red realiza una consulta en la tabla de reenvío IP, y con base en la dirección destino que se encuentra en la cabecera de red, selecciona el siguiente salto y reenvía el paquete hacia éste. Esta iteración se repite en cada salto de la red hasta que el paquete llega a su destino final. Escoger el siguiente salto para el paquete IP es la combinación de dos funciones, la primera función clasifica todos los paquetes que llegan en determinado momento al router en varios grupos de prefijos IP destino; es decir, agrupa todos los paquetes que pertenecen a una misma subred y que por lo tanto tienen que ser reenviados al mismo destino, la segunda función asocia a cada grupo de paquetes creado en el primer paso a una dirección IP que es su siguiente salto. Dentro de la arquitectura MPLS, el resultado de la primera función, es decir, los grupos de paquetes con el mismo destino es llamado un *ForwardingEquivalentClasses* FEC, cada paquete dentro de un FEC es reenviado de la misma manera, por lo tanto atraviesan la Red usando la misma ruta. A diferencia del reenvío tradicional de paquetes, el proceso de asignar a un paquete un FEC es realizado sólo una vez y no por cada salto, con lo cual se reduce el procesamiento de cada router dentro de la red. El FEC al cual el paquete es asignado es luego codificado como un identificador de tamaño fijo, la tan mentada etiqueta. Cuando el paquete llega al siguiente salto dentro del dominio MPLS, el LSR que lo recibe analiza su etiqueta y lo reenvía al siguiente salto dependiendo de la información que aparece en la *Label Information Base* LIB. Es muy importante anotar, que este análisis se realiza primero que el de Capa 3, por lo tanto el proceso de toma de decisión a nivel 3 no se realiza.

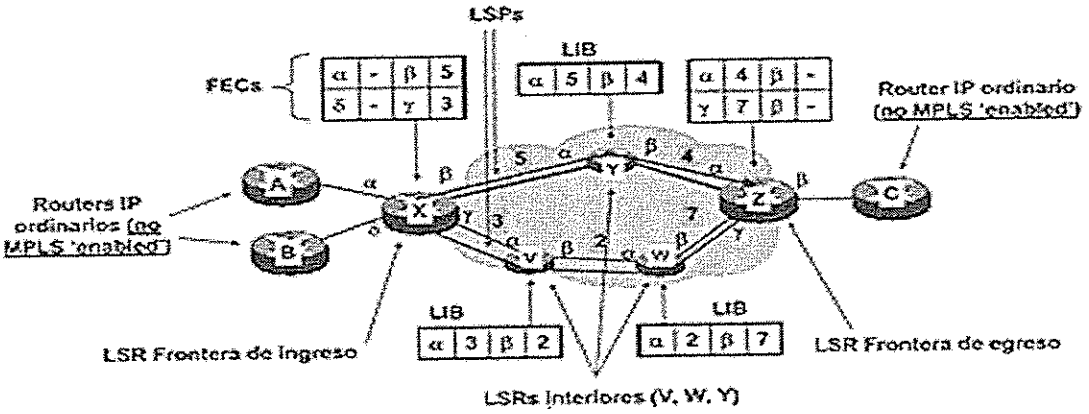


Figura 18.Ilustración de los elementos de un dominio MPLS.

Un camino LSP es(Ogashiwa, Uda, Uo, &Shinoda, 2007) el circuito virtual que siguen por la red todos los paquetes asignados a la misma FEC. Al primer LSR que interviene en un LSP se le denomina de entrada o de cabecera y al último se le denomina de salida o de cola. Los dos están en el exterior del dominio MPLS. El resto, entre ambos, son LSRs interiores del dominio MPLS. Un LSR es como un router que funciona a base de intercambiar etiquetas según una tabla de envío. Esta tabla se construye a partir de la información de encaminamiento que proporciona la componente. Cada entrada de la tabla contiene un parde etiquetas, una de entrada y otra de salida correspondiente a cada interfaz de entrada, que se utilizan para acompañar a cada paquete que llega por esa interfaz y con la misma etiqueta. A un paquete que llega al LSR por la interfaz 3 de entrada con la etiqueta 45 el LSR le asigna la etiqueta 22 y lo envía por el interfaz 4 de salida al siguiente LSR, de acuerdo con la información de la tabla.

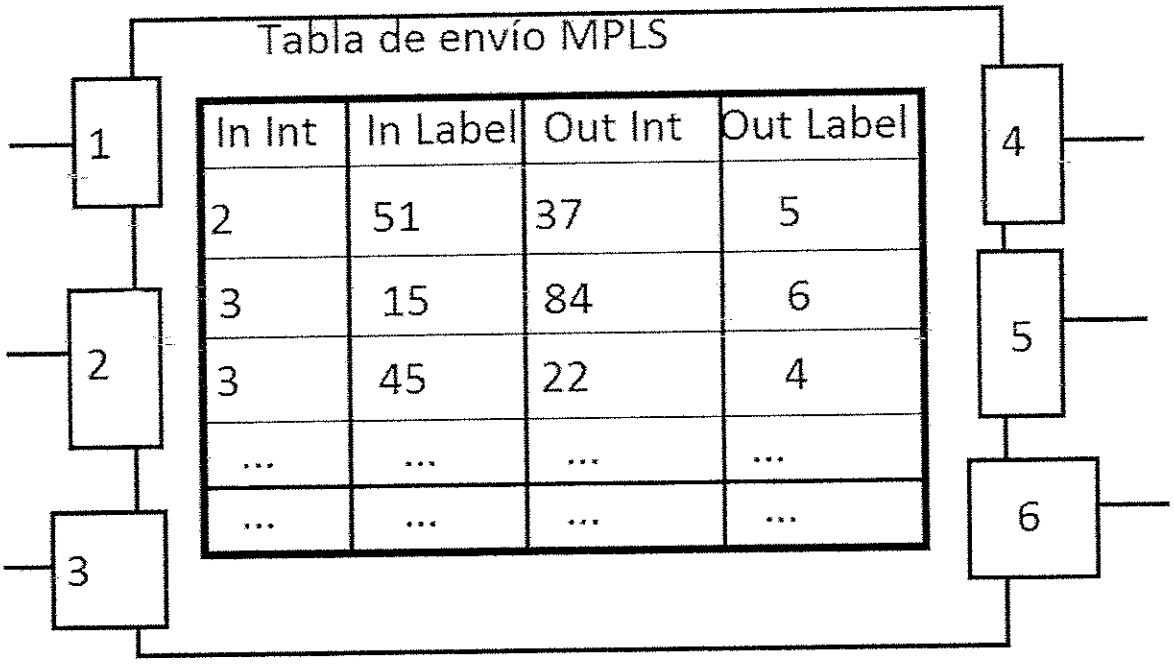


Figura 19.Procedimiento de etiquetado en un LSR MPLS. Fuente El Autor.

Un LSP trabaja en un esquema orientado a conexión, es decir que el path tiene que ser formado antes de que cualquier flujo de tráfico empiece a circular por éste. Cuando un paquete atraviesa la red MPLS, cada LSR cambia la etiqueta entrante por una nueva etiqueta saliente, tal como elmecanismo usado por ATM donde los VPI/VCI (*Virtual PathIdentifier/Virtual ChannelIdentifier*) son cambiados por un par diferente cuando salen del *switch* ATM, este proceso continúa hasta que el último LSR ha sido alcanzado.

8.4 Aplicaciones de IP/MPLS

8.4.1 Ingeniería de Tráfico

El objetivo básico de la ingeniería de tráfico es adaptar los flujos de tráfico a los recursos físicos de la red. La idea es equilibrar de forma óptima la utilización de esos recursos, de manera que no haya algunos que estén sobre utilizados con posibles puntos calientes y cuellos de botella, mientras otros puedan estar subutilizados(Mart, 2007). Los flujos de tráfico siguen el camino más corto calculado por el algoritmo IGP correspondiente en procesos de enrutamiento básicos,en casos de congestión de algunos enlaces, el problema se resuelve a base de añadir más capacidad a los enlaces. La ingeniería de tráfico consiste en trasladar determinados flujos seleccionados por el algoritmo IGP sobre enlaces más congestionados, a otros enlaces más descargados, aunque estén fuera de la ruta más corta.*TrafficEngireering* TE en MPLS proporciona la protección de conectividad con ReRuta Rápida (FRR). FRR protege mediante el uso de túneles primarios pre-aprovisionados túneles de copia de seguridad. [13]Durante una condición de falla, toma aproximadamente cincuenta milisegundos para el túnel principal para cambiar al túnel de copia de seguridad. FRR depende de la capa 3 de protección, a diferencia de SONET o SDH de protección que se produce en el nivel de interfaz. El tiempo de restauración es por lo tanto depende del número de túneles y el número de prefijos que se cambió. Este es un tema clave que debe ser considerado durante la implementación de un diseño óptimo FRR.

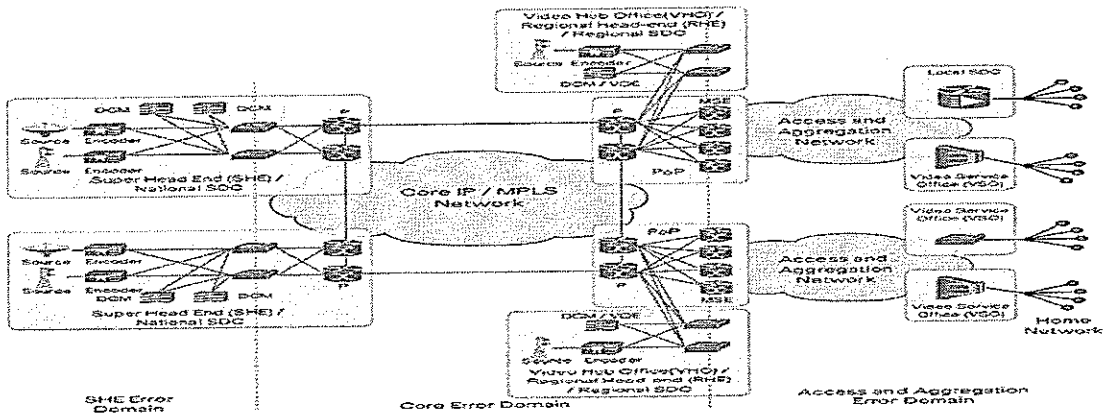


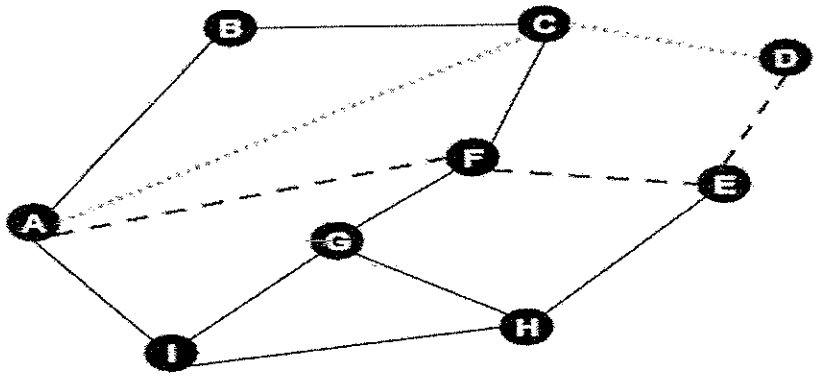
Figura 20.Solución ofrecida por Cisco Systems Inc. para despliegue de IPTV basado en una red de *backbone*MPLS.Tomada de Optimize Video Transport for Service Providers. CISCO Systems Inc. 2012

[13]Positioning MPLS. CISCO Systems Inc.

Una ventaja práctica de la aplicación metodológica de los postulados de TE a las redes de datos es que ayuda a identificar y estructurar metas y prioridades en el sentido de las mejoras de la calidad de servicio ofrecido a los usuarios finales de los servicios de la red; en ese orden de situaciones la TE puede discriminarse como una faceta orientada al tráfico donde el objeto es mejorar los indicadores relacionados con el transporte de datos, maximizar retardo y minimizar perdida, por otro lado puede orientarse la TE los recursos cuando se busca imperativamente optimizar los recursos de la red como lo puede ser el tan preciado ancho de banda.

Concretando el concepto de Ingeniería de Tráfico se puede promover como bondades de su implementación en una red de *core*:

- Suministrar un control preciso, muy exacto si se quiere, sobre la manera como el tráfico es re-enrutado en caso de falla.



IGP Tradicional

Ingeniería de trafico MPLS

Figura 21. *Path* que determinaría un *Internal Gateway Protocol* IGP frente a la ruta que establece un router MPLS equipado con políticas de TE. Tomada de http://ldc.usb.ve/~poc/RedesII/Grupos/G5/aplicaciones.htm.

- Uso más eficiente del ancho de banda adicionado disponible.
- Mejorar las características del rendimiento del tráfico orientado de la red, minimizando la pérdida así como la congestión y maximizando el rendimiento (*throughput*).

8.4.2 Soporte a QoS

La calidad de servicio representa el conjunto de técnicas necesarias para gestionar el ancho de banda de red, retardo, *jitter* y pérdida de paquetes. Desde una perspectiva corporativa funcional como lo es un *bacbone*de cualquier SP, es esencial asegurar que las aplicaciones críticas tienen garantizados los recursos de red que necesitan, a pesar de variaciones de la carga de tráfico de red. Los proveedores de servicios que ofrecen MPLS asociado a servicios de ingeniería de tráfico y VPN ahora se pueden promocionar variables diferenciadores de su servicio, proporcionando diferentes niveles de calidad de servicio para diferentes tipos de tráfico de la red. Por ejemplo, voz sobre IP (VoIP) o tráfico IPTV recibe el servicio con los mínimos garantizados de ancho de banda y retardo, mientras que el tráfico de *e-commerce* podría recibir una garantía de ancho de banda mínimo, pero no una garantía en el retardo.

Más allá de la definición de la arquitectura de QoS, se debe realizar también una Planificación de la Capacidad de la Red, definiéndose de qué forma el ancho de banda será dividido entre las clases. La arquitectura de QoS en la arquitectura*DifferentiatedServices*

(*DiffServ*) definida en las [14]RFC 2474 y RFC 2475. La arquitectura *DiffServ* propone una forma de implementar QoS en las redes IP con la capacidad de ampliación requerida por grandes redes como los *backbones* de los proveedores de servicio IP. El modelo de *DiffServ* se basa en la definición de clases de servicio y en la implementación de mecanismos que permitan tratar cada clase de forma diferenciada con relación a diversos requisitos de red (*delay, throughput, jitter*). La implementación de una Arquitectura de QoS se divide en dos partes:

• Clases de servicios y *TrafficConditioners* (TC) en los elementos de borde de la red.

• Clases de servicios y *Per Hop Behavior* (PHB) del *core* de la red IP y red MPLS.

La separación se debe a las definiciones de la arquitectura*DiffServ* y que especifica la necesidad de Aplicar los condicionamientos de tráfico enel borde del *backbone*, para adecuar el tráfico de cliente a las condiciones fijadas en el [15]SLA y

---

[14]RFC 2474 - *Definition of the Differentiated Services Field* (DS Field) *in the IPv4 and IPv6 Headers* 1998 IETF.
RFC 2475 - *An Architecture for Differentiated Service* 1998 IETF.

[15]Nota del Autor:Un SLA es un documento de carácter legal por el que una compañía que presta un servicio a otra se compromete a prestar el mismo bajo unas determinadas condiciones y con unas prestaciones mínimas. El nivel de servicio se basa en indicadores que permiten cuantificar de manera objetiva determinados aspectos del servicio prestado. Este indicador se mide a través de aplicaciones de gestión de incidencias que registran el momento que una incidencia es comunicada y cuándo es cerrada. La diferencia entre estos

reservar ancho de banda y priorización de lasaplicaciones en el *backbone* a través de la aplicación de PHBs, deforma de garantizar los objetivos de SLA.

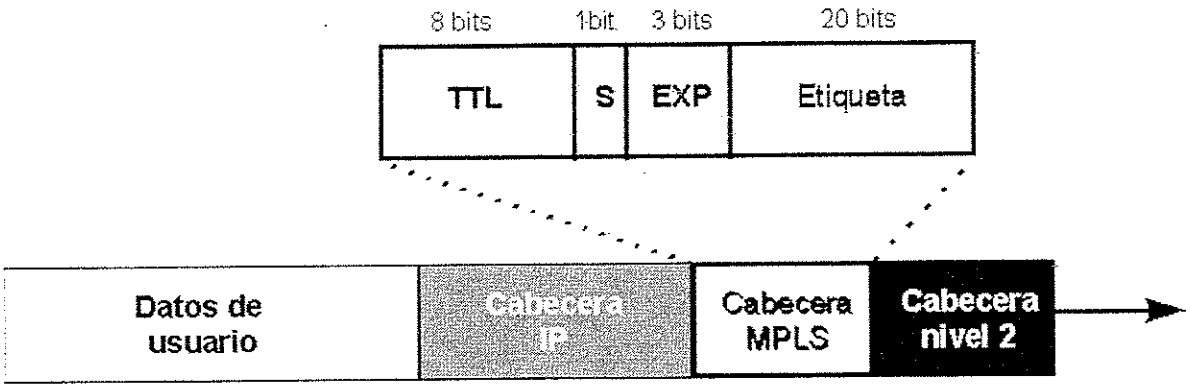


Figura 22. Cabecera genérica de un paquete IP MPLS. Fuente (GARCIA, 2008)

8.4.3 Aseguramiento de QoS en CoS

Las Redes IP solo ofrecían una clase de servicio *best-effort*, pero actualmente se desea manejar todo tipo de tráfico como lo es voz, datos y video, por lo que se ha piensa que MPLS es la solución a todos estos inconvenientes, ya que con el Modelo *DiffServ* se puede clasificar el tráfico con diferentesprioridades según las necesidades del usuario. Este modelo define una variedad de mecanismos para poder clasificar el tráfico en un reducido número de clases de servicio, con diferentes prioridades, según los requisitos de los usuarios, es decir, (Canalis, 2008.)*DiffServ* emplea un campo llamado ToS (*Type of Service*) que permite diferenciar servicios tradicionales tales como el HTTP, el correo electrónico o la transferencia de ficheros para los que el retardo no es crítico, de otras aplicaciones mucho más sensibles al retardo como lo es IPTV. Para MPLS este modelo aplica perfectamente debido a que las etiquetas MPLS aseguran el campo EXP el cual define el tipo de servicio a utilizar en el LSP, asignando los recursos necesarios en cada nodo y en los enlaces entre ellos, para cada tipo de flujo utilizando el enrutamiento restringido CBR *Constant Bit Rate*. De

dos datos es el indicador en bruto desagregado que luego puede ser procesado mediante algoritmos para obtener promedios, desviaciones y otros indicadores normalizados. SLA también es una referencia a la hora de establecer parámetros de calidad del basados en indicadores objetivos que obvian impresiones y percepciones más subjetivas y personales.

este modo, una red MPLS puede transportar distintas clases de tráfico, ya que: el tráfico que fluye a través de un determinado LSP se puede asignar a diferentes colas de salida en losdiferentes saltos LSR, de acuerdo con la información contenida en los bits del campo EXP. Adicionalmente entre cada par de LSR exteriores se pueden aprovisionar múltiples LSPs, cada uno de ellos con distintas prestaciones y con diferentesgarantías de ancho de banda, por ejemplo, un LSP puede ser para tráfico de máxima prioridad, otro para prioridad media y un tercero para tráfico *best-effort*.

CLASE	TIPO DE TRÁFICO	CAMPO EXP
TIEMPO REAL	Tráfico VoIP, IPTV VoD	5
VIDEO	IPTV *Multicast*, Local *streaming*	4
CRÍTICO	Gestión	3
	Datos *Platinum*	3
	*Routing*de suscriptores	3
CRÍTICOS	Control de VoD	2
	Datos *Gold*	2
NO CRÍTICOS	Datos *Silver*	1
	Datos *Bronce*	1
BEST-EFFORT	*Best-effort*	0

Tabla 4. Asignación supuesta del valor del campo EXP en la cabecera MPLS asignada a un paquete marcado con determinada CoS. Fuente El Autor.

8.4.4 VPNs

Las Redes Privadas Virtuales (*Virtual Private Networks)* VPNs tradicionales se han venido construyendo sobre infraestructuras de transmisión compartidas con características implícitas de seguridad y respuesta predeterminada, tal es el caso de las redes de datos *FrameRelay*, que permiten establecer PCVs (*Permanent Virtual Circuits*) entre los diversos nodos que conforman la VPN. La seguridad y las garantías las proporcionan la separación de tráficos por PVC y el caudal asegurado CIR (*ComitedInformationRate*). Algo similar se puede hacer con ATM, con diversas clases de garantía, los inconvenientes de este tipo de solución es que la configuración de las rutas se basa en procedimientos más bien artesanales, al tener que establecer cada PVC entre nodos, con la complejidad que esto supone al proveedor en la gestión y los mayores costos asociados, si se quiere tener conectados a todos con todos, en una topología totalmente mallada, añadir

un nuevo emplazamiento supone retocar todos los CPEs (*CustomerPremisesEquipment*)y restablecer todos los PVCs.
Además, la popularización de las aplicaciones TCP/IP, así como la expansión de las redes de los SPs, ha llevado a tratar de utilizar estas infraestructuras IP para el soporte de VPNs, tratando de conseguir una mayor flexibilidad en el diseño e implantación y unos menores costes de gestión y provisión de servicio. La forma de utilizar las infraestructuras IP para servicio VPN (IP VPN) ha sido la de construir túneles IP de diversos modos.
El objetivo de un túnel sobre IP es crear una asociación permanente entre dos extremos, de modo que funcionalmente aparezcan conectados. Lo que se hace es utilizar unaestructura no conectada como IP para simular esas conexiones: una especie de "tubos" privadas por las que no puede entrar nadie que no sea miembro de esa IP VPN.

A pesar de las ventajas de los túneles IP sobre los PVCs, ambos enfoques tienen unas características comunes que las hacen menos eficientes frente a la solución MPLS:

- Están basadas en conexiones punto a punto (PVCs o túneles).
- La configuración es manual.
- La provisión y gestión son complicadas; una nueva conexión supone alterar todas las configuraciones.
- Plantean problemas de crecimiento al añadir nuevos túneles o circuitos virtuales.
- La gestión de QoS es posible en cierta medida, pero no se puede mantener extremo a extremo a lo largo de la red, ya que no existen mecanismos que sustenten los parámetros de calidad durante el transporte.

A decir verdad, el problema que plantean estas IP VPNs es que están basadas en un modelo topológico sobrepuesto sobre la topología física existente, basados en túneles punto a punto o circuitos virtuales entre cada par de routers de cliente en cada VPN(Canalis, 2008). De ahí las desventajas en cuanto a la poca flexibilidad en la provisión y gestión del servicio, así como en el crecimiento cuando se quieren añadir nuevos enlaces. Con una arquitectura MPLS se obvian estos inconvenientes ya que el modelo topológico no se superpone sino que se acopla a la red del proveedor. En el modelo acoplado MPLS, en lugar de conexiones extremo a extremo entre los distintos lugares de una VPN, lo que hay son conexiones IP a una nube común en las que solamente pueden entrar los miembros de la misma VPN. Las dominios que representan las distintas VPNs se implementan mediante los caminos LSPs creadospor el mecanismo de intercambio de etiquetas MPLS.

viajan a través de la red, donde cadapaquete contiene una etiqueta que tiene la tarea de informar a cada nodo laforma de procesar y transportar los datos."[16]La diferencia básica entre MPLS y las tecnologías WAN tradicionales es laforma como son asignadas las etiquetas y la capacidad de transportar unapila de etiquetas junto con el paquete, para el desarrollo de nuevasaplicaciones como Ingeniería de tráfico, rápido enrutamiento en caso defallas de enlaces o nodos, entre otras".

8.5.1 Arquitectura

Funcionalmente la dinámica de trabajo de un *core* MPLS describe los procesos de la figura 24.

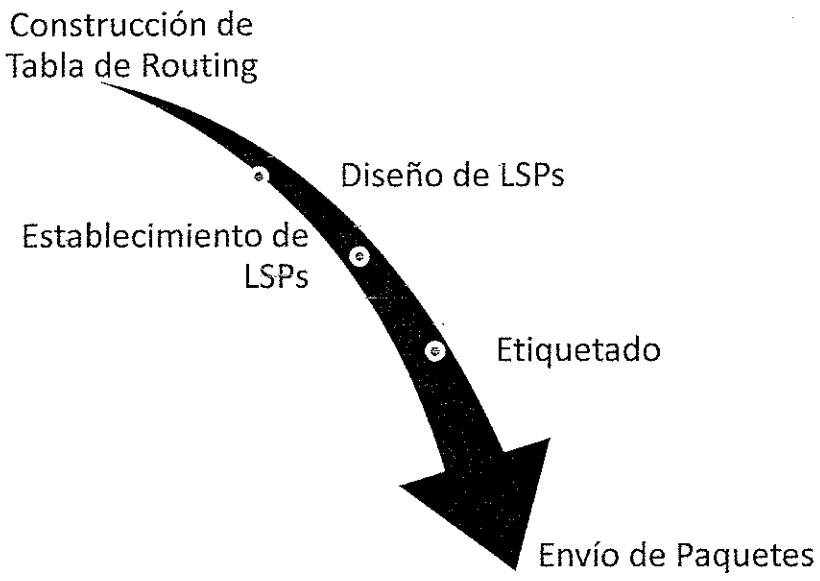


Figura 24. Grafica de macro procesos de un evento MPLS. Fuente El Autor.

- Construcción de Tablas de Enrutamiento: esta creación de etiquetas iniciaen el momento en que los LSR toman la decisión de unir una etiqueta a un FEC. En virtud a la función que ejerce el Protocolo de Distribución de Etiquetas (LDP) los enrutadores *downstream* en adelante Rd, son los que inician la distribución de dichas etiquetas y la asignación de las mismas a a FEC, adicional a esto los LDP se encargan de establecer características que tiene que ver con el tráfico y la capacidad de MPLS.

[16]GARCÍA TOMAS, Jesús; RAYA CABRERA, José Luís; RAYA, Víctor Rodrigo Alta Velocidad y Calidad de Servicio en Redes IP.

- Diseño de LSPs: cuando un LSR recibe las asignaciones de etiquetas crea entradas para la base de datos de información de etiquetas LIB, la cual especifica el mapeo entre una etiqueta y una FEC. Las tablas de enrutamiento se construyen usando los algoritmos de encaminamiento implementados en el sistema, ya sean OSPF *Open ShortestPathFirst*, IS-IS o RIP(*RoutingInformationProtocol* y exteriores como BGP (*Border Gateway Protocol*) que intercambiarán información con los enrutadores vecinos que estén conectados a la misma red o por un enlace punto a punto y con los vecinos exteriores que serán los conectados a otros sistemas autónomos.

  Para la construcción de las tablas cada dispositivo activo de la red MPLS consulta las tablas de etiquetas y en función de la misma y el puerto de entrada del paquete se decide la interfaz de salida de éste y la etiqueta a sustituir, en el caso de los enrutadores de borde, LER, los campos de etiqueta de entrada y salida se encontrarán en cero, ya sea que se esté recibiendo un paquete desde un dispositivo fuera de la red MPLS o se esté enviando a un dispositivo externo al dominio MPLS.

- Establecimiento de LSPs: la construcción de LSPs se realiza utilizando la información de las tablas de intercambio de etiquetas entre los LSRs adyacentes. Esta distribución se hace mediante el protocolo LDP el cual ha sido definido específicamente para MPLS, aunque RSVP (*ResourceReservationProtocol*) o CR-LDP (*ConstraintBased-LabelProtocolDistribution*) también puede ser una opción. Los LSP se pueden establecer de las siguientes maneras: ·

  Routing hop by hop: Esta estrategia se caracteriza porque cada uno de los LSRs selecciona de forma independiente el siguiente *hop* para una FEC determinada.

  ExplicitRouting – LSP (ER-LSP): Este tipo de *routing* difiere del último dado que es definido desde la fuente por el propio operador de la red. Sin embargo, la ruta específica puede ser no óptima, haciéndose necesario que a lo largo de la trayectoria, los recursos deban ser reservados para asegurar una calidad de servicio para el tráfico de datos.

- Etiquetado: El LER de ingreso a la tabla LIB para encontrar el siguiente salto, hace unapetición de una etiqueta para una FEC en particular, de esta forma cadapaquete que pasa por un LER de entrada y se dispone a cruzar el dominioMPLS recibe una etiqueta y es enviado al núcleo de la red por la ruta LSPdefinida, dicha etiqueta

es insertada en un encabezado de Capa 2, juntocon el paquete. De este modo los enrutadores que reciben el paqueteexaminan la etiqueta y basándose en la información que ésta contienedetermina el siguiente salto, una vez el paquete ha sido etiquetado el restodel viaje se hace mediante la conmutación de etiquetas, finalmente cuandoel paquete llega al LER de egreso, la etiqueta es removida y el paquete es entregado a su destino final, como lo puede ser otra red de transporte o una red de acceso.

- Envío del Paquete: Para describir este componenete funcional conviene valerse de la figura 25 que ha ilustrado un escenario MPLS clásico en donde se ha establecido un *path* LER1-LER2 debiendo saltar naturalemente por LSR1, 2 y 4; LER1 inicia entonces el requerimiento de etiqueta hacia LSR1 y es así como el requerimiento se propaga por la trayectoria en dirección de LER2. El LER2 que funciona como administrador de etiquetas, distribuye las etiquetas en dirección *upstream*, pasando por cada nodo de la trayectoria, es así como el protocolo LDP realiza el establecimiento de trayectoria. Entonces el LER1 inserta la etiqueta y envía el paquete hacia el LSR1, donde éste lo envía hacia otro LSR y de este modo por todos los altos que debe hacer para tomar el intercambio de etiquetas con cada enrutador que se encuentra en el camino, hasta que el paquete llegue al LER2 donde se retira la etiqueta ya que el paquete sale del dominio MPLS y es entregado a su destino.

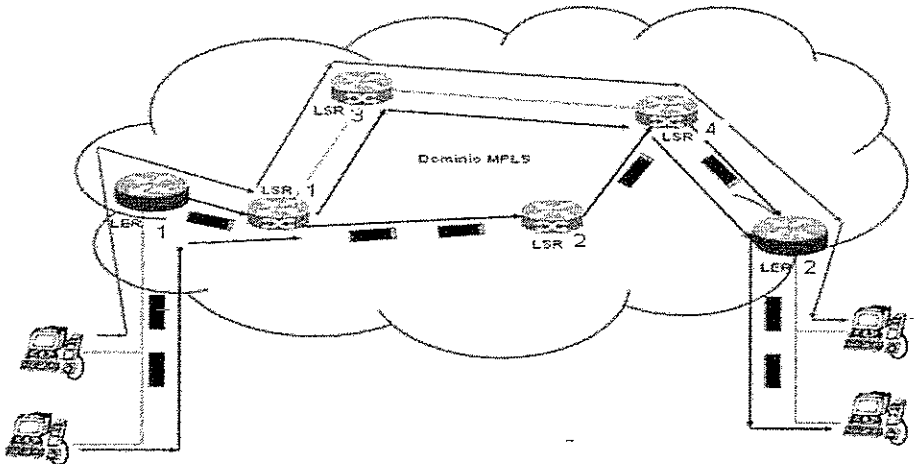


Figura 25. Escenario de ejemplo para contextualizar el proceso de envió de paquete e un dominio MPLS básico. Fuente (You&Learn, 2011)

8.5.2 Migración hacia IP/MPLS

Al citar el término migrar es conveniente aterrizar un par de realidades que se presentar en el marco de la estructura funcional de la red de *core* de un proveedor de servicio y en general de la cadena de valor que soporta la red troncal, puesto que la palabra migrar implica una serie de decisiones no solo de naturaleza técnica sino administrativa y naturalmente económica. Se sabe que las inversiones en infraestructura tecnológica siempre obedecen a una clara determinación del cociente costo beneficio, que se ha calculado fincado en el hecho de las mediciones que sobre la demanda y disponibilidad del servicio se hagan y lo que es más álgido aún, la volatilidad que revistiera la inclusión de una tecnología que sea capaz de asegurar la modernización no solo de los procesos administrativos sino productivos de la actividad; muchas compañías, no necesariamente SPs, han optado por mantener en la cola de posibilidades la migración hacia una tecnología de red de punta dado el hecho que las mediciones sobre el desempeño de su actual son aceptables y, aun estando en capacidad de realizar nuevas inversiones en tecnología, prefieren mantenerse hasta que sean funcionalmente viables o hasta agotar en intervalo mínimo de depreciación tasado en la evaluación del proyecto.

Como se aprecia no es una decisión discrecional del administrador de la red el hecho de migrar hacia una "nueva" tecnología en este caso de *backbone*, sino por el contrario es el apilamiento de consideraciones de carácter técnico (tecnológico preferiblemente), económico y administrativo que no reposan sobre una única dependencia sino sobre una junta o comité lo que en ocasiones, y hay que decirlo abiertamente, en las organizaciones suele anclar la optimización de las comunicaciones y tecnologías de información. Por lo general un proveedor de servicio de nivel 2 0 3 quienes han de ofertar IPTV en la mayoría de los casos, no adolecen de fallas a nivel organizacional y gestionan las actualizaciones tecnológicas como una política de calidad inherente.

Bien, si la condición anterior se da, y el escenario es el de una red de *core* que se plantea sostener sobre MPLS han de hacerse algunas caracterizaciones sobre el estado del arte y la expectativa o proyección de resultados una vez la migración. El caso de IP/MPLS debe hacer frente a varios matices en términos de:

- La continuidad a los modelos d ejecución de la red en capas pues IP/MPLS no desconoce las bondades en términos de modularidad y escalabilidad del modelo jerárquico.

- La definición de las tareas específicas de los equipos de conmutación de la nube MPLS, discriminando las funciones en las vecindades de la red como en su propio núcleo.
- La consecuencia del literal anterior, pues es probable que la migración implique o bien actualización de *firmware* y reevaluación de políticas o la adquisición de equipos activos de red que soporten las funcionalidades MPLS.
- Asegurar el óptimo desempeño del encaminamiento tradicional que conectara con redes de acceso o con otras redes pares o sistemas autónomos.
- Establecer con absoluta claridad las definiciones a aplicar en términos de a Ingeniería de Tráfico que sean consecuentes con la condición de QoS para satisfacer los SLAs.
- La confirmación o replanteo de la topología a implementar. Esto porque es necesario encontrar un balance entre lo que fuera por ejemplo una topología *full mesh* o anillo para garantizar redundancia tanto física como lógica en la red.

Una vez dirimidas los puntos a conciliar sobre la motivación y condicionantes de la migración, un administrador de red (que se precie de serlo) debe documentar con precisión para dar el paso final hacia la migración respecto a:

- Ancho de Banda: Número de nodos y Ancho de Banda requerido en cada uno.
- Dispositivos: Tipos de dispositivos y sus configuraciones, actualizaciones si se requiere.
- Aplicaciones: Cuántas aplicaciones existen, de qué aplicaciones se trata cada una, con qué frecuencia son utilizadas y por quién, rol que desempeñan dentro de la cadena de distribución del contenido.
- Características de la Aplicación: En este punto conviene plantearse preguntas como qué tan sensibles son al *jitter*, si son interactiva, regularmente, cuánto Ancho de Banda consumen, ·
- Planes Futuros: Los requerimientos de capacidad de *core* puedencambiar drásticamente cuando, por ejemplo, una nueva aplicación*multicast* en pruebas inicie a ser desplegada en producción. Convienetener en consideración cualquieraplicación que se tenga intenciónde introducir a corto y mediano plazo.

- Garantía de Servicio: Documentar de la manera más precisaposible las actuales garantías y disponibilidad. Deberán reflejarsecuidadosamente en los SLA que finalmente se firmen con elproveedor de servicios.

De cualquier modo es consecuente hacer una pausa reflexiva en cuanto a lo que se ha establecido por los organismos normalizadores, las especificaciones de los fabricantes e incluso en mismo RFC3031 citado con antelación, y lo que aporta el presente documento en términos de la parametrización del estado presente y siguiente de la red de *core.* Lejos de proporcionar al lector una verdad absoluta,el problema como se planteó en la etapa introductoria habla sobre la descripción técnica objetiva de DVB-IPTV como estrategia de distribución de contenidos audiovisuales aunado a la [17]inclusión de mecanismos de priorización de servicios a partir de estrategias de enrutamiento condicionado, Ingeniería de Tráfico y políticas de QoS. En efecto este aspecto referente a la migración es similar a un *checklist* que señala unas condiciones necesarias (nunca suficientes individualmente) a darse antes, durante y posteriores. Finalmente situaciones y parámetros mandatorios de ingeniería de redes se abordan para contextualizar la transición entre el presente de una red de *backbone*corporativa y los indicadores de operación y desempeño una vez se cristalice la puesta en marcha del *core* IP/MPLS a saber:

- **Flexibilidad**

Cada SP tiene autonomía en el diseño de su red de *core*, es decirdiseña suinfraestructura interna de acuerdo a sus necesidades y disponibilidad económica.

- **Escalabilidad**

La escalabilidad ahorra esfuerzo[18], en el sentido que si se desea implementar un nuevo nodo en la red sólo será necesario configurar el equipo SP a cambio de reconfigurar todos los equipos(nodos) de la red como se realizaba anteriormente con las redes Frame Relay por citar un caso.

---

[17] Nota del Autor. El hecho de *incluir* implica el término en su contexto más amplio dado que se ha insistido en el presente documento que IP/MPLS no es sustituto de otras tecnologías de *backbone*, ni lo que es más álgido desistir de un diseño de red presente; incluir aborda la caracterización de la red de *core* para considerar los cambios a darse en función de los requerimientos propios de la red o de los servicios que la crucen, en todos los casos y como conjetura anticipada del análisis, es menester seguir ajustadamente el modelo jerárquico que gobierna el diseño de redes para materializar el fin último que es la conectividad transparente al suscriptor.

[18] Nota del Autor. Entiéndase esfuerzo como la energía aplicada que por sus resultados no se transforma en trabajo efectivo

- **Accesibilidad**

La arquitectura MPLS permite utilizar cualquier tipo de tecnología deacceso (XDSL, *Wíreless Ethernet*) para lograr establecer unaconexión entre el usuario y el proveedor de servicios. Lo que amplía el espectro de potenciales suscriptores que han contratado con anticipación una conexión basada en redes de acceso heterogéneas.

- **Eficiencia**

En una infraestructura íntegramente IP (aquellas compañías en donde todo eltipoequipamiento involucrado y las aplicaciones utilizadas sonbasadas en IP, como en efecto lo es IPTV), el uso de servicios de transporte ATM o *FrameRelay*obligan al usuario a preocuparse por un costo adicional por el[19]*overhead*que los productos de transporte introducen.

- **Calidad De Servicios QoS Y Clases De Servicio CoS**

El objetivo principal de las redes transmisión de datos actuales ya no solo obedece a la entrega del paquete/contenido proveniente de un extremo remoto, como es el caso de DVB-IPTV, a veces se requiere cierta prioridad y calidad, lo cual se logra con técnicasy herramientas de Calidad de Servicio (QoS) y Clases de Servicio(CoS)dentro de la red MPLS.Uno de los principales beneficios de los servicios basados en MPLStiene asidero en su capacidad para aplicar calidades de servicio (QoS)mediante la priorización del tráfico en tiempo real, una prestaciónclave cuando se quiere introducir voz y video en las redes de datos.

- ***Management***

La administración para este tipo de redes es transparente para elusuario ya que es gestionado por el SP esto debido a que está implementado sobre la infraestructura del SP, elcual también se encarga del enrutamiento de los paquetes. Pero dado que se está estableciendo una metodología o guía si se quiere para quien tenga a cargo funciones al respecto de una red de *backbone*pues claramente los suscriptores de IPTV quedan en cierto modo aislados de este parámetro, pues si se ajusta al SLA las garantías que se ofrezcan sobre el desempeño final de la red no involucran al suscriptor activamente. No obstante quien si debe realizar este tipo de gestión hoy cuenta con IP/MPLS que es enteramente compatible con herramientas IT para administración como lo son los paquetes *Network Performance Monitor* y sus agregados.

---

[19]Nota del Autor.*Overhead*es un término que es el contexto implica la inclusión de bloques de bits adicionales que formen información de señalización o control que obligatoriamente conducen a la exigencia de ancho de banda adicional en la transmisión del paquete nativo. Un caso a citar puede ser el desperdicio en redes TCP/IP.

- **Monitoreo y SLAs**

Las redes MPLS requieren de un constante soporte por parte de losSP debido al monitoreo y control permanente, además de proveeralgunos tipos de acuerdos de servicios para garantizar y asegurar laestabilidad que el cliente requiere. Si a este requerimiento se le adiciona el amplio portafolio de herramientas para tal fin es mas intuitivo y por lo mismo más eficaz la inclusión de correcciones, políticas o actualizaciones tendientes a encontrar una coordenada apropiada en el plano entre la rentabilidad y las condiciones del SLA.

- **Migración simplificada**

Debido a que la tecnología MPLS es simple, se puede decir que lasactividades de suministro, gestión y mantenimiento son sencillas parael SP, lo cual favorece directamente a la cadena de valor, siendo la calidad del servicio un factor multiplicador de suscriptores.

- **Seguridad**

Los niveles de seguridad proporcionados por una red MPLS son muysimilares a los entregados por los Circuitos Virtuales de *FrameRelay* y ATM, aunque en algunos casos puede obtener características comolo son encriptación y autenticación generando así mayor seguridad.

- **Implicación En Coste**

La implementación de una red MPLS respecto al coste se tiene varios puntos a favor, entre ellos que los equiposdel cliente no requieren de un dispositivo específico ni con característicastécnicas complejas.Este coste también se refleja en la convergencia de servicios, esdecir, que la integración de varios servicios en una misma plataformaes más económico que en una plataforma donde se presta cada unode estos (IPTV, voz básica, conexión a Internet) por separado.Dependiendo de la combinación específica de aplicaciones y de laconfiguración de red, los servicios basados en MPLSpueden reducir los costos entre un 10 y un 25% frente a otrosservicios de datos comparables. Este indicador puede estimarse con base en los costos que implican nuevos equipos de concentración que "hablen" otras tecnologías de capa 2.

- **Márgenes mejorados**

Los proveedores de servicios pueden proteger sus márgenes deganancias alempaquetar servicios de voz de valor agregado ydistinguirse de otros

competidores, esto justamente es lo que ha marcado la pauta en el crecimiento de TelCos que operan en el país frente a los proveedores satelitales que limitan la oferta a televisión digital exclusivamente.

- **Rendimiento Mejorado**

Debido a la naturaleza de *multicast* de los servicios deMPLS, los diseñadores de red pueden reducir el número de saltos entre puntos, lo que se traduce directamente en una mejora de los tiempos de respuesta y del rendimiento de las aplicaciones sensibles al *delay.*

8.6 Concreción respecto a IP/MPLS como arquitectura de *backbone*para DVB-IPTV.

Como consecuencia de los aportes individuales que preceden este capítulo se presenta unmodelo genérico que materializa la tecnología MPLS en el escenario de una red de*backbone*que soporta los servicios IPTV ofrecidos con un determinado SP. Sobre este particular se han de establecer las condiciones de contorno propias del proveedor de servicio pues como se verá dependiendo de su nivel guardan distancia con la comercialización de productos a suscriptores residenciales. Para escalizar un proveedor de servicio hay que acotar el tipo de servicio a Internet pues es finalmente la cercanía al *backbone* de Internet el criterio de jerarquización como sigue:

(http://albertob3t0.blogspot.com/2009/10/niveles-de-isp.html, 2012)Los ISP de Nivel 1 lideran la jerarquía. Los ISP del nivel 1 son organizaciones enormes que se conectan directamente entre sí a través de conexiones privadas entre pares. Unen físicamente sus *backbone* de redes individuales para crear el *backbone* de Internet mundial. Dentro de sus propias redes, los ISP del nivel 1 son dueños de los routers, enlaces de datos de alta velocidad y otros equipos que los unen a otras redes ISP del nivel 1. Incluyen los cables submarinos que conectan los continentes.

Los ISP de Nivel 2 son el siguiente nivel en términos de acceso al *backbone*. Los ISP del nivel 2 también pueden ser muy grandes, incluso pueden extenderse por varios países, pero muy pocos tienen redes que abarcan continentes completos o se extienden entre continentes. Para brindar a los clientes acceso global a Internet, algunos ISP del nivel 2 pagan a los ISP del nivel 1 para que transporten su tráfico a otras partes del mundo. Algunos ISP del nivel 2 intercambian tráfico

mundial con otros ISP a costos menores a través de conexiones de *peers* públicos a IXP. Un IXP grande puede agrupar cientos de ISP en una ubicación física central para acceder a varias redes mediante una conexión compartida.

Los ISP de Nivel 3 son los más alejados del *backbone*. Generalmente, los ISP del nivel 3 se encuentran en ciudades importantes y brindan a los clientes acceso local a Internet. Los ISP del nivel 3 pagan a los ISP de los niveles 1 y 2 para obtener acceso global a Internet y servicios de Internet.

8.7 Topología Analizada

Para describir este capítulo se ha preferido emplear tanto la simbolización como el argumento de soluciones de Cisco Sysems Inc. Esto por cuanto el mentado fabricante goza de gran aceptación en el entorno de *networking* global y un portafolio se soluciones que son trasversales a las necesidades corporativas siendo este el mayor proveedor de *hardware* activo de red no desconociendo la reciente penetración de compañías como *Juniper Networks* o el reciente llamado *HP Networking*. La realidad objetiva es que Cisco se ha empeñado en proveer soluciones (en ocasiones propietarias) para la mayoría d reglones de trabajo de comunicación de datos, voz, video y almacenamiento y su *software* asociado lo que lo pone en una posición preferente frente a sus competidores; sin embargo casarse con Cisco implica estar dispuesto a invertir bastante a cambio de redes muy robustas y la permanente investigación y desarrollo de tecnologías de red. También es criterio de elección en el hecho que Cisco ha participado en la definición de la mayoría de estándares reseñados en este documento y finalmente la plataforma experimental del recurso tecnológico de esta Institución es completamente Cisco.

En ese orden de consideraciones la figura 26 es justamente la solución que Cisco ha propuesta para un SP con detalle de las funciones que se asignan a cada segmento de red.

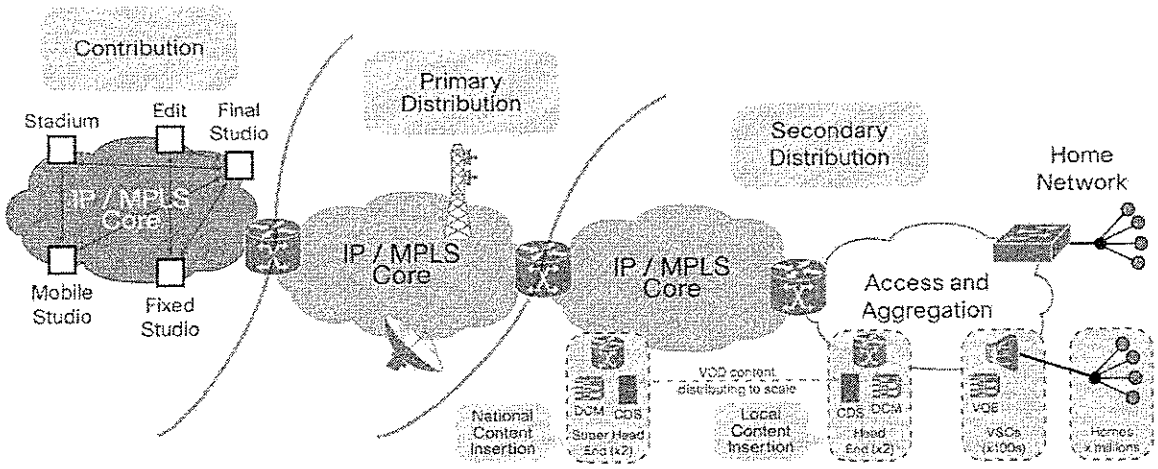


Figura 26. Integración de soluciones de *backbone*para una IPTV. (You&Learn, 2011)

A partir de esta topología generalizada se hace un acercamiento al área de interés, para el caso de la figura puede ser el segmento primario o secundario dependiendo de la extensión de la red, de cualquier modo lo que marca la diferencia es la aparición de fuentes de contenido local como canales de *broadcasting*nacionales o regionales de fuentes RF o satelitales. Se asume que al ingreso a la nube de la figura 27 todo el contenido ya está agregado y es el paso hacia las redes de acceso de suscriptor.

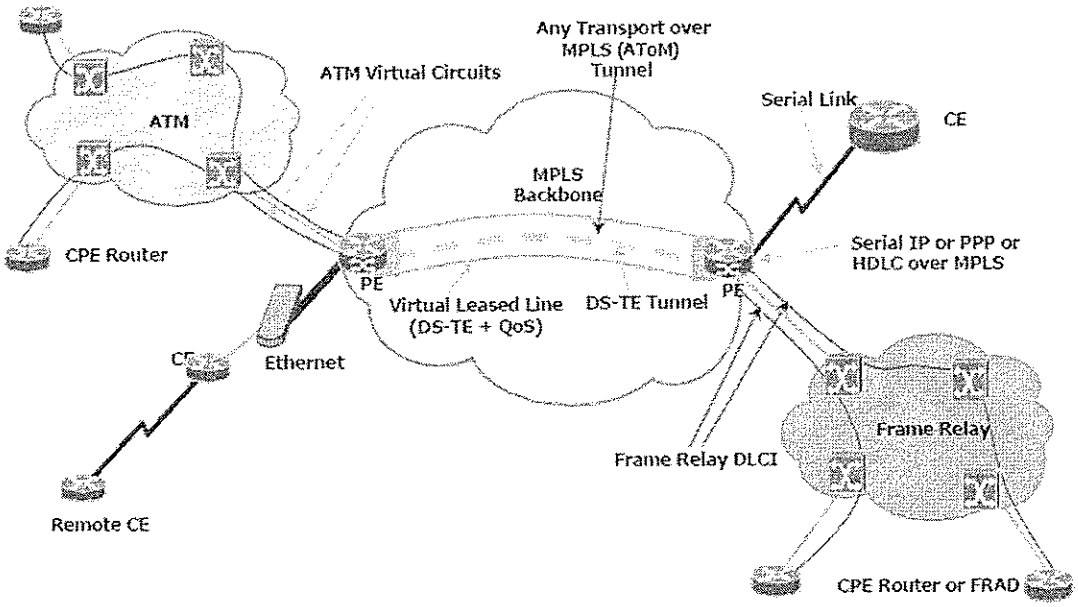


Figura 27. Integración de tráfico IP en una *backbone*MPLS. Fuente:(Trunking, Virtual, &Lines, 2002)

Esta topología resume las posibilidades a darse en el proceso de generación de una solución IP/MPLS como red troncal del servicio IPTV de un SP. El proveedor de servicio ha de garantizar las condiciones necesarias en su infraestructura para construir la topología mínima constituida por los dos equipos de borde LER y tantos LSR como el diseño del capítulo anterior en relación a la capacidad y redundancia espacial se requiera. Una vez instalada (no configurada) la topología propuesta el asunto ahora radica en estimar el dimensionamiento de la red, en la siguiente sección se aborda con detalle los parámetros involucrados.

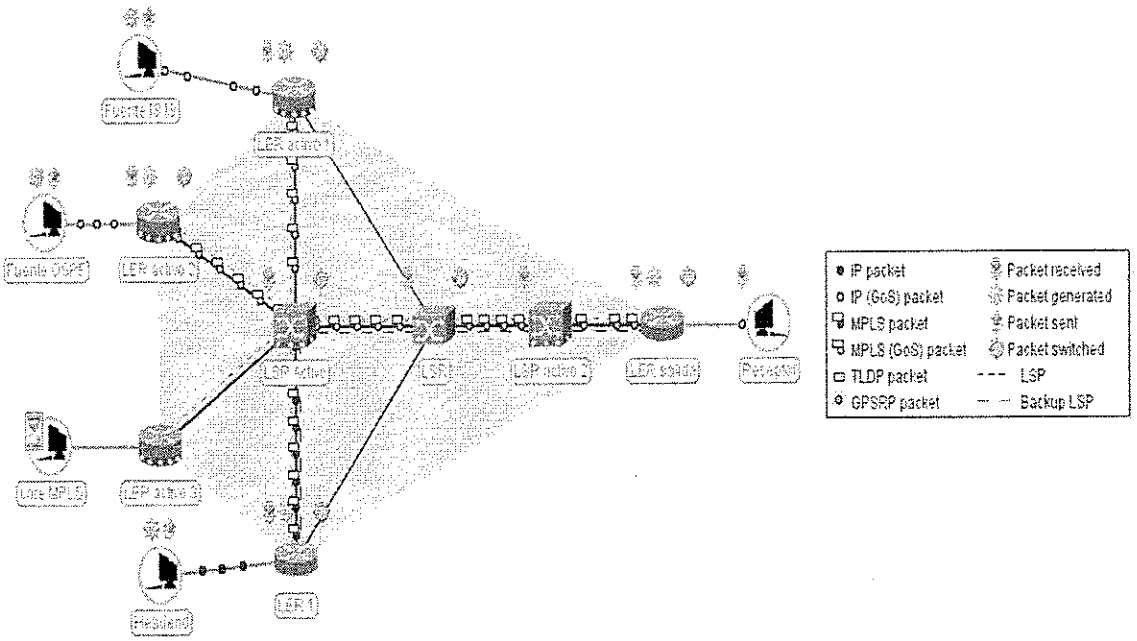


Figura 28. Ambiente MPLS genérico con tráfico etiquetado. (Fuente: el autor 2012)

Sea la figura 28 la topología establecida para el transporte de un servicio IPTV por parte de un SP. El procedimiento continúa haciendo una caracterización en términos de dos variables: las características de los enlaces físicos o estimación de ancho de banda requerido y las especificaciones de la infraestructura activa de la red de *core*.

Para apoyar el transporte de vídeo, las redes de distribución de IPTV que necesitan características de gran ancho de banda de transporte. La cantidad de ancho de banda necesario para llevar servicios IPTV es generalmente un múltiplo del ancho de banda necesario para soportar servicios de voz sobre IP(VoIP) y

servicios de acceso a Internet. El ancho de banda total requerido para implementar IPTV depende de un par de factores:

El número de canales de *multicast* IPTV en la oferta. Como se observó en al capítulo 1 una única copia de cada canal se envía desde el *data center* de IPTV en la red de distribución. Una vez que el canal se transmite a la infraestructura de red el proceso de *multicast* se encarga de la reproducción de los canales y encamina a cada individuo IPTV una copia. Consideremos un ejemplo de un proveedor de servicios que ofrece a *n* suscriptores un paquete de *x* canales SD de *broadcast* TV sobre IP. Si se tiene que el proveedor utiliza H.264 para comprimir el contenido, esto generalmente se traduce a un requisito de ancho de banda de al menos 2 Mbps para cada canal. En el escenario en el que al menos un abonado este accediendo a cada canal en un evento particular en el tiempo, entonces el *core* requerirá al menos 2*x* Mbps de capacidad de ancho de banda. Por otra parte lainclusión de los servicios de VoD hace que el dimensionamiento de la red sea máscomplicado por la adición aplicaciones propias al esquema VoD. Estos tipos deaplicaciones utilizan el mecanismo de transporte *unicast* para proporcionar comunicaciones entre los dispositivos de consumo de IPTV y el servidor de Vídeo en Demanda. Este modo de operación consume una gran cantidad de ancho de banda y la reddebe adaptarse a este nivel de tráfico de la red. Considérese la misma red de *n*usuarios finales y supóngase que en un caso particular en el tiempo hay un *p* % de la base de suscriptores accediendo a contenidos IP-VoD. Al asumir de nuevoque el estándar de compresión H.264 se ha utilizado, esto se traduce en un uso de la red equivalente al producto lineal entre el tamaño del canal por la cantidad de peticiones *unicast* que deba atender el *core*$(n * x)p\%\ Mbps$. Este requisito no es constante en el tiempo y claramente se observa que depende de las variables clasificadas en la tabla 5.

Variable	**Implicancia**
Número de canales de la oferta	Factor lineal en la determinación del ancho de banda mínimo.
Formato de compresión	Pauta entre el ancho de banda demandado y la calidad del video luego de la compresión.
Estimación de la ocupación con *multicaststreams*	Es el caso de más exigencia en el desempeño de la red. Esto implica un enlace con un *streaming* distinto como tantos suscriptores lo demanden.

Tabla 5. Relación de variables determinantes en la estimación del ancho de banda mínimo requerido en un *backbone*MPLS que transporta servicios IPTV. Fuente: el autor.

Siguiendo con la acotación a nivel de *core,* en términos de los recursos activos de red genéricos que deben preverse para la implementación del *backbone*MPLS, se señalan los LERs y LSRs en el borde y núcleo del dominio respectivamente. Las características cualitativas de estos son dispositivos requieren:

- Interfaces físicas según diseño
- Interfaces lógicas.
- Sesiones BGP con mecanismos y políticas de enrutamiento.
- Rutas y túneles MPLS.
- Matrices de conmutación de múltiples etapas.
- Procesamiento distribuido para escalar el plano de control.
- Gestión avanzada que permita correlacionar todas las alarmas y eventos generados por el sistema.
- *Multicast* para el soporte de aplicaciones en tiempo real con altos requisitos de replicación.
- Protección a nivel de sistema operativo y a nivel de proceso individual.
- Actualización de hardware y software sin interrupción.
- Enrutamiento *non-stop* y restablecimiento automático de servicio.
- Software modular.
- Re-arranque de procesos para protección del plano de control.
- Disponibilidad de al menos el 99.999% o 5 minutos de caída por año.
- Reconocimiento de aplicaciones y tratamiento de los flujos de acuerdo con la ingeniería de tráfico aplicada.

La opción a la vista para proveer una solución como por ejemplo, Cisco ASR 9000 Series,los routers Cisco 7600 Series routers, Cisco XR 12000 Series Routers, o Cisco CRS-1 y CRS-3 para servicios de negocios VPN.Según el fabricante (Experience Cisco, 2009.)los routers Cisco 7600 Series ofrecen, *Ethernet switching* de alta densidad, soporte de enrutamiento IP / MPLS sobre interfaces de 10Gbps. Las capacidades de control de admisión en video y *multicast* en routers de la serie Cisco 7600 ofrecen mayor control de admisión de extremo a extremo de para la emisión de IPTV y VoD.El *router* Cisco 7600 Series soporta característicasIP / MPLS de alto rendimiento, así como servicios de IP escalables personalizados en el borde de la red, mejorando la eficiencia operativa y la rentabilidad de la inversión de la red. Routers Cisco 7600 Series ofrecen una disponibilidad excepcional, escalabilidad, seguridad, flexibilidad, y las características que los proveedores de servicio de la demanda de servicios de transporte de vídeo.

La situación quizá se complique cuando se tiene equipamiento que no soporte MPLS. La realidad es que en Cisco un *router* de la misma referencia puede o no

tener capacidad de *Provider Edge* o *Customer Edge* dependiendo del IOS instalado, por lo general los archivos de ROM de Cisco tienen la siguiente estructura:

c2600-adventerprisek9-mz.123-26.bin

Por lo general un IOS esta compilado para un propósito, en este caso, de *routing* especifico, por ejemplo el anterior está soporta protocolos IGPs , túneles y conexiones de 10 Gbps, no obstante no es un equipo dedicado al trabajo de un SP o TelCo, pero puede ser usado como CE o *Customer Edge* que es el equipo de cliente que se conecta al LER del *core* MPLS. De cualquier modo al respecto existe toda una biblioteca de documentación por parte del fabricante quien en la hoja de especificaciones y en las actualizaciones que de le haga al *firmware* respectivo informa sobre el potencial del dispositivo para determinada función de red.

8.9 Análisis de los protocolos asociados a MPLS en el despliegue de IPTV.

En este apartado se aporta la síntesis del estudio realizado de los protocolos asociados a IP/MPLS como tecnología de *backbone* para DVB-IPTV en términos del transporte, del transporte en tiempo real, de la señalización en el *core* MPLS y de los encargados de proveer soporte a los servicios *multicast* propios del esquema IPTV.

8.9.1 Protocolos de transporte

- **TCP**

Es uno de los protocolos fundamentales en la red globaldesarrollada en la década de los 70 por VintCerf y Robert Kahn. En el nivel de aplicación, posibilita la administración de datos que vienen del nivel más bajo del modelo. TCP es un protocolo orientado a conexión, es decir, que permite que dos dispositivos que están comunicándose controlen el estado de la transmisión. TCP se caracteriza globalmente así:

- TCP permite colocar los datagramas nuevamente en orden cuando vienen del protocolo IP.

- TCP permite que el monitoreo del flujo de los datos y así evitar la saturación de la red.
- TCP permite que los datos se formen en segmentos de longitud variada para entregarlos al protocolo IP.
- TCP permite multiplexar los datos.

- **UDP**

El protocolo UDP proporciona una comunicación muy sencilla entre las aplicaciones de dos dispositivos. Al igual que el protocolo IP, UDP es no orientado a conexión: puesto que no se establece una conexión previa con el otro extremo para transmitir un mensaje UDP. Los mensajes se envían sin más y éstos pueden duplicarse o llegar desordenados al destino. Quizá se señale como no fiable: pues los mensajes UDP se pueden perder o llegar dañados. UDP utiliza el protocolo IP para transportar sus mensajes. No añade ninguna mejora en la calidad de la transferencia, aunque sí incorpora los puertos origen y destino en su formato de mensaje.

Contextualizando UDP es un protocolo, que pertenece a la pila de protocolos de Internet de que permiten a los servidores de *streaming* conectados a una red banda ancha enviar los suscriptores una calidad aceptable de servicios de televisión a sus respectivos IPTVCDs. Es similar a TCP pero una versión más simplificada, ofreciendo el mínimo de servicios de transporte. UDP (Arquitectura, n.d.)es un protocolo no orientado a la conexión, lo que significa que una conexión entre el servidor de vídeo y el IPTVCD no es necesaria que sea establecida antes que la transferencia de vídeo a través de la red se lleve a cabo. El servidor de vídeo simplemente agrega la dirección IP de destino y el número de puerto al datagrama y lo pasa a sobre de la infraestructura de red para la entrega a la dirección IP de destino. Una vez en la red, UDP utiliza un estrategia *best-effort* para obtener los datos de su destino.

Veamos ahora algunas consideraciones propias del desempeño UDP frente a TCP en IPTV:

La entrega del contenido IPTV no es retrasado incluso si hay un retardo o daño en paquetes del tráfico de red, mientras que en el uso de TCP, la reproducción del contenido audiovisual se enfrenta a una pausa mientras espera un paquete retrasado hasta que llegue o hasta que se reemplace el paquete que se dañó.

El tamaño de la cabecera es de sólo 8 bytes cuando se compara con la Cabecera TCP, que ocupa 20 bytes de datos, adicionalmente el establecimiento y desmontaje de las conexiones entre IPTVCDs y el *data center* de IPTV se lleva a

cabo en un período de tiempo muy corto. Por lo tanto, la entrega de paquetes de vídeo usando el protocolo UDP es generalmente más rápido en comparación con el uso del protocolo TCP.

Soporta transmisión unidireccional: UDP no requiere una vía de retorno por lo tanto aventaja a TCP permitiendo a las empresas como los operadores de satélites, aprovechar la funcionalidad *multicast* para servicios IPTV.

Fácil aplicación: Desde un punto de vista técnico UDP es bastante fácil de implementar, ya que no se requiere para realizar un seguimiento de los paquetes de vídeo una vez que se envían a la red IP.

8.9.2 Protocolos de Sesión.

- **RTP**

Es un protocolo de nivel de sesión utilizado para la transmisión de información en tiempo real, no garantiza la entrega de todos los paquetes, ni la llegada de estos en el instante adecuado. Laaplicación superior debe encargarse de subsanar los fallos. El protocolo de transporte utilizado por RTP es UDP.El objetivo de RTP(VELASQUEZ, 2010) es brindar un medio uniforme de transmisión sobre IP de datosque estén sujetos a las limitaciones de tiempo real (audio, video, etc.). La funciónprincipal de RTP es implementar los números de secuencia de paquetes IP pararearmar la información de voz o devideo, incluso cuando la red subyacentecambie el orden de los paquetes.

De manera más general, RTP permite identificar el tipo de información transmitida, agregarlemarcadores temporales y números de secuencia a la informacióntransmitida; controlar la llegada de los paquetes a destino y además que los paquetes de difusión múltiple pueden utilizar RTP para enrutar conversaciones a múltiples destinatarios.

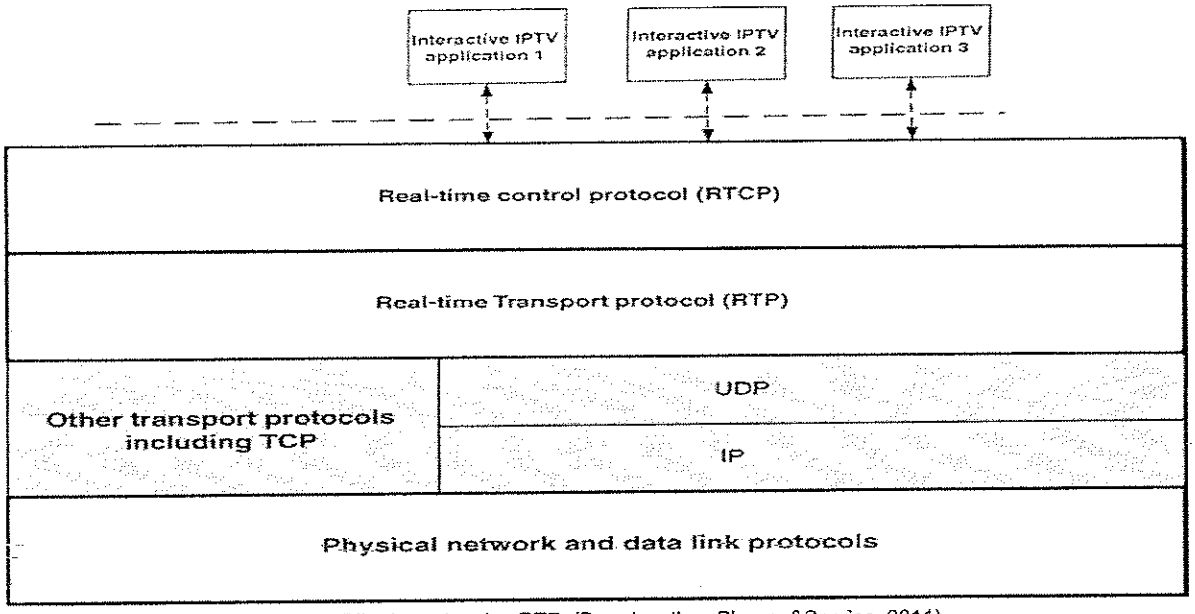


Figura 29. Pila de protocolos RTP. (Broadcasting, Phase, &Service, 2011)

El protocolo funciona bien para el continuo *streaming* de medios y soporta una amplia gama de formatos de vídeo y audio. Cuando el audio y el vídeo se utilizan en un *stream* de IPTV, RTP transmite esta información como dos corrientes separadas. Cuando esto se produce una marca de tiempo se aplica normalmente a cada *stream* de RTP para asegurar que el IPTVCD es capaz de sincronizar múltiples flujos desde el servidor de IPTV de origen, en otras palabras, las señales de reloj de los diversos *streams* son alineados para asegurar que el suscriptor IPTVrecibe una buena imagen y que el audio está en sincronía conla imagen.

- **RTCP**

Es un protocolo de comunicación que proporciona información de control que está asociado con un flujo de datos para una aplicación multimedia (flujo RTP). Trabaja junto con RTP en el transporte y empaquetado de datos multimedia, pero no transporta ningún dato por sí mismo. Se usa habitualmente para transmitir paquetes de control a los participantes de una sesión multimedia de *streaming*. (Arberg, Cagenius, Tidblad, Ullerstig, &Winterbottom, n.d.)La función principal de RTCP es informar de la calidad de servicio proporcionada por RTP. Este protocolo recoge estadísticas de la conexión y también información como: bytes enviados, paquetes enviados, paquetes perdidos o*jitter* entre otros. Una aplicación puede usar esta información para incrementar la calidad de servicio (QoS), ya sea limitando el flujo o usando un códec de compresión más baja.

Si la retroalimentación del protocolo RTCP indica que se está presentando problemas, entonces la aplicación interactiva IPTV harán los ajustes apropiados para mejorar la calidad de la señal. Así que a diferencia de TCP, RTP no reduce

automáticamente la velocidad de transmisión a través de la red una vez que un problema se ha informado. En su lugar, pasa el reporte a las capas superiores de la pila de protocolos y permite que la aplicación interactiva de IPTV para decidir sobre la mejor manera de lidiar con el problema.

- **IGMP**

En una red típica, los hosts no están conectados directamente a los enrutadores ya que se conectan a un *switch* de Capa 2, el cual es luego conectado al enrutador. IGMP es un protocolo de la capa de red (Capa 3). Consecuentemente, los *switches*de capa 2 no participan en IGMP y por lo tanto no están al tanto de que hosts que están pegados a ellos puedan ser parte de cierto grupo *multicast* en particular. Por defecto, los *switches*de Capa 2 inundan a todos los puertos de tramas *multicast* (excepto al puerto por el cual entro la trama), lo que significa que todo el tráfico *multicast* que recibe por un *switch* sería enviado a todos los puertos del equipo, inclusive si solamente un dispositivo en un puerto requiere la cadena de datos.

La versión 2 de IGMP mejora la versión original y se describe en RFC 2236. Es el valor por defecto versión del protocolo en la actualidad para la selección para recibir un determinado canal de difusión IPTV. Las características claves de IGMPv2 incluyen

Mejora de latencia baja. IGMPv2 reduce el tiempo necesario para que un router *multicast* al saber que ya no hay más suscriptores de IPTV para acceder o visualizar unacanal de difusión particular. Esta función elimina todas los *streams* no deseadas, que a su vez reduce la posibilidad de congestión de la red y la entrega de vídeo de baja calidad para los usuarios finales.

Ampliamente compatible. Es apoyado por todas las versiones modernas de sistemas operativos Microsoft. Versiones modernas de Linux y Unix también proporcionan un fuerte apoyo paraIGMPv2.

Compatible hacia atrás con IGMPv1. Además de proporcionar funcionalidad adicional, IGMPv2 también es compatible con la versión 1 del protocolo. IGMPv2 añade nuevos tipos de mensajes que no estaban disponibles en IGMPv1

Soporte a IPTV. A diferencia de su predecesor, IGMPv2 apoya la multidifusión de tráfico IPTV. Esto es debido al hecho de que IGMPv2 explícitamente puede ejecutar lainstrucción que quiere salir de un canal particular.

Parte integral de IPv6. La funcionalidad de *multicast* de IGMPv2 ha sido fuertementeintegrado con Protocolo de Internet versión 6.

Formato de Mensajes. Todos los mensajes IGMPv2 se encapsulan dentrodatagramas IP. Unidentificador de equivalente a 2 se utiliza en uno de los campos de cabecera IPpara indicar que el datagrama contiene un mensaje IGMPv2.

Con el fin de recibir datagramas de *multicast*, un host se debe unir a un grupo. Cuando un host es *multi-homed* (multipuerto), puede unirse a cualquier grupo por una o más de sus interfaces (redes a las que está conectado). Los mensajes *multicast* que recibe el host del mismo grupo en dos subredes distintas pueden ser distintos también. Pueden existir múltiples procesos en un host a la escucha de mensajes para un grupo de *multicast*. Si es este el caso, los host se unen sólo una vez al grupo, y llevan la cuenta internamente de qué procesos están interesados en ese grupo.

Para unirse a un grupo, el host envía un informe acerca de una interfaz. El informe se dirige al grupo *multicast* interesado. Los routers *multicast* de la misma red reciben el informe y activan un *flag* para indicar que al menos un host de esa red es miembro de ese grupo. Los routers *multicast* tienen que escuchar a todas las direcciones de *multicast* (todos los grupos) con el fin de detectar tales informes. Las alternativas serían el uso del *broadcast* para los informes o para configurar host con direcciones *unicast* para routers *multicast*. Los routers *multicast* envían regularmente una consulta a la dirección de *multicast* "todos los hosts". Cada host que aún desee ser miembro de uno o más grupo replica una vez por cada grupo en el que esté interesado. Cada respuesta se envía tras un intervalo de tiempo aleatorio para evitar aglomeraciones en el tráfico. Como a los routers no les importa cuántos hosts son miembro de un grupo y como todos los miembros de ese grupo pueden oír las respuestas de cada uno de los demás hosts, cualquier host que escuche a otro host proclamar su pertenencia a su mismo grupo cancelará su respuesta para ahorrar recursos. Si ningún host responde dentro de un intervalo de tiempo dado, el router *multicast*decide que ningún host pertenece a ese grupo. Cuando un host o un router *multicast*reciben un datagrama *multicast*, su acción depende del valor TTL y de la dirección IP de destino.La figura 30 resume de manera sintética el proceso de registro en un grupo *multicast*.

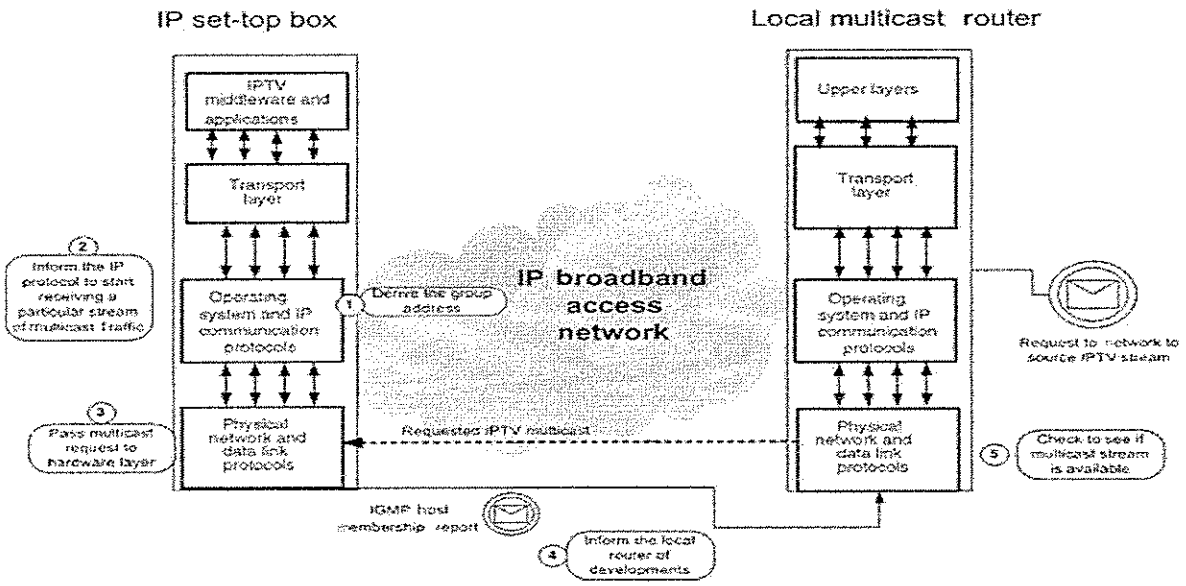


Figura 30. Modelo jerárquico de operación delGMPv2. (De, 2006)

- **PIM**

Los protocolos PIM han sido desarrollados por el grupo de trabajo *Inter-DomainMulticastRouting* (IDMR) de la IETF. IDMR(GARCIA, 2008) se propuso desarrollar un conjunto de protocolos de routingmulticast que independientes de cualquier protocolo de routing unicast pudieran proporcionar routing multicast escalable a nivel de Internet. Desde luego, PIM precisa la existencia de un protocolo de routing unicast para actualizar la tabla de información de encaminamiento y adaptarse a los cambios de topología. La mayoría de los protocolos multicast propuestos funcionan bien si los miembros de los grupos están densamente distribuidos y el ancho de banda no es un problema. Sin embargo, el hecho de que esta idealización no se dé, hace que estos protocolos no resulten eficientes en casos donde los miembros de los grupos se distribuyen de forma dispersa en distintas regiones de la red y donde el ancho de banda no es inagotable. Para solucionar estos problemas, PIM contempla dos protocolos: PIM – Modo Denso (PIM-DM) que es más eficiente cuando los miembros están distribuidos densamente y PIM Modo Disperso (PIM-SM) que tiene mejor rendimiento en los casos en que los miembros están dispersamente distribuidos. Aunque estos dos algoritmos pertenecen a PIM o comparten mensajes de control similares, son esencialmente protocolos distintos. El modo denso se refiere a un protocolo diseñado para operar en un entorno en el que los miembros del grupo

están agrupados densamente y con un ancho de banda importante. El modo no denso se refiere a un protocolo optimizado para entornos donde los miembros de los grupos están distribuidos en muchas regiones de Internet y el ancho de banda disponible no es necesariamente muy grande. Es importante tener en cuenta que el modo disperso no implica que el número de miembros sea pequeño sino que estos se encuentren dispersos a través de Internet.(Riesgos, n.d.)

Protocolo PIM-DM *Protocol-IndependentMulticast–Dense Mode*

PIM modo denso (PIM-DM) opera sobre el principio de la inundación de paquetes *multicast* a todos los routers de la red. Routers que no tienen miembros del grupo IP *multicast* conectados a sus interfaces de enviar un mensaje de cese o abandono al origen de los paquetes. Una vez que la fuente recibe este mensaje,la transmisión de paquetes de multicast a esa parte de la red cesa. Estala saturación de tráfico multicast no deseado consume ancho de banda, por lo tanto, esta variante PIM rara vez se implementa a través de una red de IPTV yse suele utilizar para dar soporte a aplicaciones IP que operan a través de la redes corporativas y redes de área local (LAN).

PIM modo disperso PIM-SM *Protocol-IndependentMulticast–SparseMode*

La versión más reciente de la PIM-SM especificación se publicó en 1998 y se pueden encontrar en RFC 2362. Está diseñado para encaminar tráfico multicast IP por rutas que operan a través de redes área extensa (WAN). En particular, se define cómo los routers interactúan unas con otros para construir y mantener diferentes tipos de árboles de distribución multicast. Como el nombre sugiere, PIM-SM se basa en la suposición de que los espectadores de uno determinado canal están esparcidos a lo largo de una red IPTV. La entrega de los canales de TV en el marco del protocolo PIM-SM se hace utilizando el mecanismo de difusión *pull-mode* y solo a losIPTVCDs que han solicitado explícitamente ver un canal se le transmitirá el tráfico IP de vídeo asociado. Esta es una versátil técnica para la optimización de ancho de banda, sin embargo, el tiempo necesario para unirse a un *broadcaststream*puede causar un ligero retraso ya que las instrucciones IGMP que se necesitan ser enviadas al router *multicast* más cercano que está procesando el canal requerido. PIM-SM escala muy bien en las infraestructuras de redes de gran tamaño. Cuando se implementaa través de una red de IPTV en vivo, PIM-SM está habilitado en varias interfaces del router para garantizar la redundancia de la disponibilidad de contenido.

8.9.3 Protocolos de señalización MPLS.

- **LDP***LabelDsitributionProtocol*

El protocolo LDP es el protocolo más recomendado por el IETF y ha sido creado específicamente para la asignación de etiquetas a FEC dentro de una red MPLS, este protocolo se ejecuta sobre TCP, lo cual significa que éste asegura la fiabilidad en el envío de mensajes. Éste no es el único protocolo de enrutamiento capaz de llevar la información de la etiqueta, también está el BGP, sin embargo, LDP ha sido la solución más adoptada para la redes MPLS. El protocolo LDP tiene como función mapear las FECs, las cuales al ser mapeadas indican la ruta que deben seguir los paquetes para llegar a su destino final armando así los LSPs. (Perez, 2005)LDP reviste cuatro características importantes tales que:

Provee a los LSRs de un mecanismo de *discovery*, que permite a los LSR *peers*descubrirse el uno al otro y establecer comunicación entre ellos.

Define cuatro clases de mensajes:

Mensajes *Discovery*

Mensajes *Adyacency*: permiten la inicialización, keepalive, y cierre de sesiones entre LSRs.

Mensajes *LabelAdvertisement*: permiten la publicación de bindings de etiquetas, pedidos, y liberaciones.

Mensajes *Notification*: permiten enviar información de aviso de problemas y señalizar errores.

Se aplica sobre TCP, lo cual le provee confiabilidad en la entrega de la información.Es fácilmente expandible, utiliza mensajes especificados como un grupo de TLV, *TypeLengthValue*, de objetos codificados. La codificación TLV implica que cada objeto posee un campo Type que especifica que clase de objeto es, ej: binding de etiqueta, un campo Length que especifica la longitud del objeto, y un campo value que depende del campo Type.

Resumiendo, Un protocolo de distribución de etiquetas tiene como finalidad llevar a cabo ciertos procedimientos necesarios para que un LSR en el momento que asigne una etiqueta a una FEC le dé a conocer esta asignación a los LSRs vecinos. Al procedimiento que ocurre cuando dos LRS utilizan un protocolo para informarse mutuamente de las asignaciones de etiquetas que cada uno ha hecho a una FEC específica, se le conoce como Pares de Distribución de Etiqueta. El

protocolo de distribución de etiquetas como su nombre lo indica se encarga de distribuir las asignaciones de etiquetas para LSR en una red MPLS. Las sesiones de LDP se establecen entre LSRs vecinos en la red MPLS (no necesariamente adyacentes) los cuales intercambian los distintos tipos de mensajes y se realiza mediante el envío de PDUs de LDP.

- **CR-LDP**.*Constraint Route- LDP*

CR-LDP, es un protocolo de encaminamiento basado en restricciones donde las rutas que siguen los paquetes pueden ser restringidas por ancho de banda, retardo, variación de retardo), conteo de saltos o QoS que pueden aparecer a lo largo de una ruta. El despliegue de este protocolo permite tenerrestricciones diferentes (rendimiento, calidadde servicio, retardo, variación de retardo o tasa de pérdidas) en nodosdiferentes.

Ahora bien, en términos funcionales cuando el LSR ingresa al dominio MPLS usa un caminoexplícito,adiciona un objeto llamado TLV ER *Explicit Router TLV*, elcual es agregado al mensaje LDP de petición de etiquetas. Esnecesario tener en cuenta que para la creación de un LSP serequiere distribución de etiquetas *DownstreamonDemand* y de modo control ordenado, acto seguido el mensaje de petición de etiquetas, cuando llega a cada LSRintermedio, es enviado al siguiente nodo el cual está especificado en TLV *Type-Length-Value.* Una vez el mensaje llega a su destino final, es decir al LSR desalida, éste inicia el proceso de restricciones de recursos,respondiendo con un mensaje de asociación de etiquetas al cualse asocia una etiqueta, la cual es enviada a través de la red a losLSR anteriores por medio de un mensaje de asociación de paquetes; cuando ésta llega a los LSR intermedios éstos realizan susrespectivas restricciones interiores y realiza el mismoprocedimiento hasta llegar al LSR de origen, el cual al recibir elmensaje de asociación de etiquetas para una etiqueta pedida,deberá realizar la restricción de recursos en él y es así como seestablece el LSP.

No obstante algunas de las limitaciones que tiene este protocolo hablan de que sólo soporta LSP punto a punto sumado al hecho que soporta el establecimiento únicamente unidireccional de LSP.

- **RSVP**. *ResourceReservationProtocol*

Este protocolo se basa en la conservación de recursos para una sesión en una red IP, además se caracteriza por proporcionar calidad de servicio de acuerdo a los requerimientos necesarios para un flujo de tráfico determinado, es decir que este protocolo en pocas palabras reserva recursos para proporcionar una buena calidad de servicio. (GARCIA, 2008)Éste no es un protocolo de encaminamiento ni de transporte, es sólo un protocolo que trabaja y funciona sobre Unicast y Multicast. El protocolo de encaminamiento envía el paquete y enseguida el

protocolo RSVP hace las reservas necesarias para obtener un buen servicio a lo largo de la ruta, en pocas palabras el protocolo de encaminamiento indica para dónde va el paquete y el protocolo RSVP determina la QoS con que éste viaja, estas reservas son necesarias en cada uno de los nodos. Éste es un protocolo simplex, es decir que trabaja en un sólo sentido y se pueden hacer como receptor o como emisor.

RSVP y su interacción en MPLS se puede sintetizar en los siguientes pasos:

El LSE de origen identifica cual debe ser la ruta (LSP) que debe seguir para llegar al LSE de salida, para esto es necesario establecer un LSP mediante un mensaje *path*, esta ruta es determinada por el administrador de la red y puede ser una ruta explícita la cual no tiene que ser necesariamente la calculada por los algoritmos de enrutamiento.

En suegundo lugar, el mensaje *path* llega al LSR intermedio el cual primero compara las especificaciones del protocolo y se cerciora que no sea extremo de la FEC, de ser así éste procede a enviar el mensaje al siguiente salto.

Posteriormente, el mensaje llega a su destino final, es decir al LSE de salida éste inicia el proceso de reserva de recurso para el cual selecciona una etiqueta y la envía a través de la red a los LSR anteriores por medio de un mensaje de reserva *resv*, cuando éste llega a los LSR intermedios reserva los recursos interiores y realiza el mismo procedimiento de seleccionar una etiqueta para enviarla a través de la red por medio de un mensaje *resv*, hasta llegar al LSE de origen el cual también debe realizar la reserva de recursos internos.

8.10 Observaciones y Resultados del Análisis

En este punto de la investigación es tiempo de integrar las observaciones y apropiaciones hechas partir del análisis de los diferentes conceptos en torno al desarrollo del objetivo general. A *MultiProtocolLabelSwitching* se le ha querido presentar como el paradigma de la tecnologíadel futuro presente de Internet. Si bien su modo de funcionamiento asemeja algunas de las funciones de la capa detransporte y de red, no podrá hacer que el enrutamiento IP clásico desaparezca, como seapuntaba enla etapa de evaluación de la tecnología. Existen diversos motivos para que sea así.En una primera instancia, se ha explicado ampliamente que es una tecnología a implementar sobre equipos intermedios y es pocofactible que los equipos finales lo lleguen a implementar, estos últimos dispositivos seguirán enviando suspaquetes a otros dispositivos que serán los encargados de decidir si son enviados mediante su *enrutado* convencional o por medio de *paths*

Conmutados de Etiqueta, LSP. Si se optó por ésta última opciónen el envío, en el destino, tendrá que haber algún dispositivo que sea capaz de quitar la cabecera deetiqueta y entregar la comunicación a la dirección IP especificada en el origen.Además como se consideró en Consideraciones previas para el análisis de MPLS, resultamaterialmente imposible el mantenimiento de una relación de etiquetas ymáquinas en un mundo tan amplio y cambiante como es Internet, por lo que las etiquetas que manejanlos dispositivos de MPLS sólo pueden tener una consideración local. Son los dispositivos intermediosquienes tienen que tomar decisiones sobre el *hopping*y para ello tendrán que seguir basándose en el prefijo IP.

Pero como quiera que sea ha podido observarse que esta tecnología de *backbone*permite ofrecer arbitramentos ostensiblemente mejorados sobre el encaminamiento clásico IGP sobre todo sobre los protocolos de estado de enlace que por lo general se despliegan sobre una red de *core*. En contraste la red MPLS tiene la capacidad de manejar paquetes con características particulares (tales como procedentes de puertos particulares o transportar el tráfico de con determinada prioridad particular de la aplicación) de una manera consistente. Los paquetes que transportan tráfico en tiempo real, tales como voz o video, fácilmente se pueden asignar a las rutas de baja latencia a través de la red, algo que es un reto con el enrutamiento convencional. El punto clave arquitectónica con todo esto es que las etiquetas proporcionan una forma de adjuntar, apilar, embeber, anidar o el término de preferencia, información adicional a cada paquete, más allá de lo que los routers manejaban.

Integrando entonces, si MPLS no es una tecnología de capa de red netamente porque efectivamente conmuta etiquetas, pero tampoco se localiza en capa 2 dado que cumple funciones de capa de red cuando se asegura que el paquete llegue desde el origen hasta el destino, entonces ¿dónde se localiza en el modelo de referencia? MPLS no encaja perfectamente en el modelo OSI de jerarquía de siete capas. De hecho, uno de los principales beneficios de MPLS es que separa los mecanismos de transmisión desde los servicios subyacentes de enlace de datos. MPLS puede utilizarse para crear tablas de envío para conmutadores ATM *o FrameRelay* o routers IP convencionales, añadiendo etiquetas MPLS al paquete IP.

MPLS como tecnología de *backbone*para IPTV se presenta como la respuesta a los requerimientos de las garantías de servicio propios de la distribución de este tipo de tráfico. El hecho de poder ofertar un tratamiento particular tanto a las peticiones como a las respuestas de los suscriptores enmarca ese eslabón de la cadena de valor como un real factor diferenciador con la televisión digital convencional. Y yendo más al fondo, las proyecciones seguramente no quedan en

el mero tráfico IPTV, al estar soportado el *core* por una plataforma que cosecha las mejores frutas de capa 2 y capa 3 y además no es excluyente con las tecnologías maduras, el portafolio de aplicaciones puede equipararse con lo que se mueve actualmente por la red global pero con una connotación privada. Al tener mejor desempeño en velocidad de enrutamiento y reducción del costo computacional de la parte activa del *backbone* es factible introducir aplicaciones que complementen el servicio base, implicando por supuesto una ventaja frente a los SP que aún no migran.

Este protocolo ha sido un verdadero *toolkit* en ingeniería de redes para los argumentos de mercadeo de los fabricantes especializados en *networking*, presentándolo como la evolución dela arquitectura de IP sobre ATM, como el siguiente paso en técnicas de redes privadas otunelación si se quiere y,por supuesto, la solución casi definitiva al *routing* veloz de paquetes. Como resultado de esta investigación se puede afirmar queel modo de trabajo de este patrón, fincado en la introspección uniforme entre las funciones del nivelde transporte y de red, se presta a posibilidades tanto en el plano de la escalabilidad y administración de las redes de área extensa como en el de las necesarias actualizaciones que se darán por parte de los organismos normalizadores. Sin embargo, es este último criterio observado es una de las razones de la flexibilidad que MPLS ofrece a una red de *core* de un SP de IPTV; la flexibilidad que ofrece MPLS en la manipulación del enrutamiento, es decir la caracterización de paquetes y el trazado de rutas dinámicas y fijas a conveniencia, se prestan dado que la normalización es aún muy generalizada: el RFC 3031 y el modelo de Servicios Diferenciados DiffSrv, plantean una estrategia de Ingeniería de Tráfico que puede ser modular, la diferenciación puede darse en ambientes diversos donde el criterio de priorización o determinación de *path*depende de los propios requerimientos del servicio-tráfico.

Respecto a la administración de la red de *backbone*es claro que el operador debe ser ampliamente oportuno en el dominio de las competencias que demanda en enrutamiento convencional. Eta es una cualidad inherente a cualquier administrador de red, no obstante esa proficiencia se debe traducir en el entendimiento de la tecnología de conmutación de etiquetas de MPLS en el sentido que:

- Como quiera que sea MPLS no excluye en lo absoluto la implementación de IGPs como OSPF o ISIS. De hecho los protocolos de estado de enlace son la pasarela de las redes externas a la nube MPLS y los que se encargan entre otras cosas de ensamblar tablas de enrutamiento basadas en prefijos de red.

- El mecanismo de redistribución de rutas guarda una estrecha relación conceptual con la acción mediadora de un LER. Esto porque como se anotó en el aparte Análisis del Funcionamiento general de MPLS, este router debe acceder a la relación de vecindad con los CEs para encaminar el paquete a través del *core* MPLS.
- Es imperativo la observación permanente de las condiciones del SLA para diseñar una mecánica de etiquetado que además de ser funcional se preste para identificar indicadores de desempeño del *backbone*.

En el escenario del despliegue de una red IPTV bajo la normativa de DVB-IPTV se debe considerar que es absolutamente posible que se opte por tecnologías como IP sobre ATM que sin duda es operativo y responde a la mayoría de necesidades *multicast*y de QoS. De hecho como se señaló en Análisis de las Tecnologías de *backbone* para IPTV, los niveles en que se estandarizo la sub jerarquía de capa 2 de ATM permiten hacer un diseño de Ingeniería de Tráfico básico para soportar los estratos de servicio de IPTV. No obstante, como es la intención de la investigación, IP sobre MPLS simplifica la resolución de encaminamiento en el *core* pero mantiene la robustez demandada. La tabla 6 ofrece un análisis de las observaciones que se hacen frente al desempeño y arquitectura de MPLS contrastado con sus pares en ATM.

Indicador	MPLS	ATM
Tasas definidas [Mbps]	155.52, 0C2n, en general velocidades ópticas de *backbone*.	34- 155.52 sobre redes SONET/SDH.
QoS	Reserva de recursos del recurso de ancho de banda RSVP, encaminamiento sustentado en restricciones CBR, Ingeniería de tráfico bajo el modelo de DiffSrv y aplicación modular de los SLAs	Parámetros de calidad de servicio limitados por la aplicación de técnicas asociadas al retardo CTD. Gestión del *jitter*estableciendo la máxima fluctuación que puede sufrir el retardo de una celda. SCR y BT que permite establecer la rata media máxima permitida y tolerancia a ráfagas. Entre otros.
Indicador	**MPLS**	**ATM**

Escenario de Operación	Redes de *backbone* corporativas orientadas a la concentración de tráfico con alta exigencia en calidad y priorización de aplicaciones en tiempo real. Despliegue de redes de *core* propias de proveedores de servicio multiusuario con aislamiento del tráfico de la red global.	Tráfico de datos demandantes de comunicación en tiempo real con moderada exigencia sobre redes troncales. Interconexión de LANs con ancho de banda elevado entre enlaces. Distribución de contenidos audiovisuales.
Seguridad	Revestida de mejoras contra el *spoofing,* ataques de DoS. Debido a su naturaleza modular se puede implementar una solución MPLS complementada con IPsec. Separación de la tarea de encaminamiento y la de envío.	*Hidden core.* Oculta el núcleo de la estructura. Cifrado de datos robusto.
Retos	Estratificación de los nuevos protocolos de distribución de etiquetas para menguar la posibilidad de asociar etiquetas sin información de *routing.*	Optimización del procedimiento de escalabilidad de la red a nuevas conexiones para reducir los costos de implementación.

Tabla 6. Comparación analítica MPLS vs. ATM respecto a los requerimientos de una red de *backbone*para la distribución de servicios IPTV . Fuente: el autor.

Visto desde la óptica puramente técnica del tema abordado la situación está determinada por las condiciones aplicables al tráfico IP que motiven la implementación de MPLS en el *core*. Además que geográficamente se acota el diseño en la medida en que se pretenda una red de contenidos centralizada o distribuida; nótese que no todos los tráficos *multicast*tienen como extremo del SP los servidores de VoD, cuando se registran compras de contenido PPV la gestión de la transacción es casi siempre centralizada y esto implica que los *streams*audiovisuales pueden estar alojados en servidores locales al LER del lado del cliente pero los servidores que gestionan la autenticación y/o transacción por están concentrados en el origen de la jerarquía *tree and branch:* con esta realidad se resume que no es posible llevar un modelo genérico para ahacer tallar en una

red con unas necesidades particuales, que requiere una tratamiento al tráfico indiviudal y en función del SLA, que por lo mismo no es genérico aunque se ciña por políticas internacionalmente convenidas. Vemos entonces cómo las herramientas que pone MPLS al servicio de IPTV no son condiciones suficientes para que el sistema de valor como tal funcione, es necesario articular el diseño de la arquitectura de *core* con los diseños de las redes de acceso, la cantidad de aplicativos de interacción que se ofrezcan y la infraestructura IT que el SP haya provisto para el alojamiento de contenidos, la difusión de *broadcast*TV y la eficiencia de las políticas de protección de copias y seguridad en general.

Véase también como este estudio del modelo IPTV y lo que MPLS ofrece a dicho esquema se convierte en la respuesta parcial a la asignación de prioridades en la distribución de servicios complementarios al de televisión digital. Como es frecuente y además conveniente, los SP no se limitan a ofrecer televisión porque se presupone el siguiente escenario de entidades y relaciones:

- El Proveedor de Servicio que ofrece televisión digital es siempre o casi siempre un Tier 3. Esto implica que su *core business* está en la reventa si se quiere de conectividad hacia redes más grandes y complejas.
- Teniendo que gestionar contenidos que probablemente no estén en áreas nacionales e incluso continentales habrá que acceder a un Tier 2 para que provea conexión con el *backbone* de Internet.
- Dado esto, es factible distribuir esa conectividad que del lado administrativo es un gasto pero del lado productivo es un costo a los suscriptores a quienes inicialmente se les oferta contenido audiovisual.
- Pero que para cualquiera de los casos se demanda una red física a través de la cual el SP llegue a los suscriptores y esta enmalla una ciudad, localidad o área metropolitana, y a su vez está área es la que acota la cobertura de la telefonía básica.

Pues con estas relaciones y causalidades este estudio considera que se estructura un proyecto *Triple Play* con unas condiciones operativas particulares como lo son la oferta del servicio IPTV con todos los matices de calidad, interactividad y disponibilidad que se han observado, pero con una conexión de banda ancha a Internet gestionable en términos de aplicaciones y ancho de banda contratado y el agregado de telefonía básica que complementará durante algunos años mas el esquema de voz de la oferta comercial.

Respecto al futuro presente de los hábitos de consumo de entretenimiento y en consideración de las propuestas que se han hecho ya no sobre IPTV como tal sino lo que se puede gestionar en el *backstage* del producto, es correcto afirmar que MPLS se presenta como artilugio adecuado en el respaldo de *core* para

plataformas experimentales de descargas de contenidos audiovisuales en modo *push* a partir de las estimaciones que sobre el ancho de banda remanente se hacen, (CHAPARRO, 2012) hace una análisis donde propone ubicar un mecanismo estimador de la ocupación del canal del usuario para encontrar la disponibilidad que tendría de descargar contenidos de la misma naturaleza pero en modo *push* , el mismo mecanismo PPV con la optimización propia que introduciría la gestión sobre el recurso del canal. IP/MPLS se perfila como una herramienta en conmutación de etiquetas que ajusta bastante con la pretensión de la investigación citada en cuanto es un mecanismo diferenciad por de tráfico y gestor de recursos al interior del *core*, lo que sin duda respalda la intención de exigirle a la red un trabajo silencioso pero altamente útil mientras que los suscriptores están en una condición pasiva frente al servicio.

9. CONCLUSIONES

Luego de la exploración de los referentes teóricos y documentales y la apropiación de los conceptos se pudo concretar un análisis respecto a la conveniencia de IP/MPLS como arquitectura de *backbone*para el despliegue de IPTV, estudio en el cual se obedeció una metodología de investigación que parte de un compendio teórico con fuente académico e industrial para darse a la tarea de explorar objetivamente los conceptos particulares tanto de IPTV como MPLS para llevarlos a la descripción de la integración del segundo como componente funcional del primero basada en observaciones y resultados, finalmente se busca integrar los vestigios del trabajo concentrado en la arquitectura de *backbone*soportado por la tecnología MPLS.

Los literales siguientes obedecen una secuencia analítica continua. A partir pues de lo anterior es correcto conjeturar que:

- IPTV se ha presentado como un modelo de difusión de contenidos audiovisuales de pago que hace frente a la creciente demanda de entretenimiento de calidad por parte de los usuarios.
- Los modelos precedentes a IPTV como lo pueden ser la televisión por cable o satelital son modelos de negocio maduros que fincan su estrategia de mercadeo en la oferta de contenidos de interés general y temático en una proporción de cuatro a uno respectivamente.
- IPTV se ha concebido bajo la premisa de suplir las deficiencias en términos de calidad de los modelos con los que coexiste y materializar la intención de llevar la experiencia interactiva de Internet al servicio de televisión transportado por una red privada.
- Es en el renglón de la interactividad realmente donde IPTV es capaz de proponer un modelo sostenible que no exige infraestructura de red hibrida para cumplir con el requisito; IPTV por ser un servicio basado en redes IP, puede establecer comunicación con los dispositivos finales de usuario a través del mismo *hardware* de recepción y basado en el *middleware* y los emplazamientos de distribución, enrutamiento y alojamiento asemejando la experiencia de navegar por la red global.
- Como se instó en Generalidades de IPTV y se confirmó en el capítulo 7 Internet e IPTV son relativos pero no semejantes dado el hecho que son servicios soportados por redes públicas y privadas respectivamente; esta conclusión más que confirmar un planeamiento ya sustentado, introduce un interesante grupo de posibilidades frente a

la orientación que IPTV pudiera tener como esquema de *e-commerce*, una plataforma de conectividad social basada en preferencias a nivel local y la gestión por parte del suscriptor de aplicativos que complementen la experiencia básica televisiva.

- Para que IPTV sostenga el impacto que se le ha propinado debe estar revestida de toda una estrategia consuetudinaria de diseño con base en las variables diferenciadoras que oferta; MPLS es capaz de soportar esos requerimientos porque conjuga a lo mejor de la capa IP que garantiza la entrega del paquete de origen a destino con la practicidad y eficiencia de la conmutación de capa de red.
- MPLS no descalifica las plataformas maduras de capa de enlace de datos sino hereda los principios de la caracterización de enlaces mediante identificadores de capa 2, para optar por la estrategia de etiquetado para marcar si se quiere, los paquetes que atraviesan el *core.*
- La política de conmutación de etiquetas asida su beneficio en la exclusión del procedimiento de procesamiento del prefijo de red en cada salto dentro del dominio de encaminamiento, por el contrario dado que la mecánica de etiquetas solo tiene un significado local apresura el proceso de reenvío por rutas determinadas o bien por órdenes explicitas o por el accionar del algoritmo con variables locales de QoS.
- Los protocolos convencionales de enrutamiento IP si bien son transparentes dentro de la nube MPLS son siempre necesarios en las tareas de encaminamiento desde la red de cliente hasta las vecindades de la red MPLS, además los principios de la ruta más corta como OSPF o ISIS son determinantes a la hora de construir la topología de la red en los bordes del *core* MPLS.
- Puesto que se ha mejorado el desempeño en términos de ancho de banda en los enlaces del *backbone,* es posible gestionar esos enlaces para reservar recursos a tráfico marcado con determinada preferencia. Se ha concluido que protocolos como RSVP además de confirmar el estado de la topología, gestiona en cada dispositivo del dominio determinado recursos para que un flujo goce de prelación. Este sistema probablemente retrase el reenvió de los paquetes en virtud al intervalo que requiere para notificar de la reservación de recursos y esto a cambio de garantizar un camino con determinadas condiciones de retardo, fluctuación o pérdida.
- Bajo el modelo de servicios diferenciados DiffSrv de IETF, MPLS define las técnicas de Ingeniería de Tráfico que aplica para garantizar

los SLA con base en decisiones de encaminamiento que se *añaden al* paquete en el encabezado MPLS.

- De cualquier modo son paquetes máscomplejos los que se forman con la inclusión de un encabezado MPLS pero que balancean el impacto sobre el tráfico con el desempeño de los emplazamientos locales de *core:* esto quiere decir que no obstante el tiempo que se toman los bordes para procesar el prefijo y postular una etiqueta, en la mecánica de conmutación al interior del dominio se ve catalizada por la optimización de los recursos del equipo activo.
- No quiere decir esto que con MPLS los router o conmutadores van a requerir menos procesamiento o que los algoritmos a correr son menos exigentes, de hecho MPLS exige un *firmware* de red que soporte los algoritmos propios que se concibieron en el RFC3031, la realidad es que los resultados de marcación de tráfico y de enrutamiento basado en restricciones son cualitativamente más valiosos que el costo computacional que exige MPLS.

Desde otro punto de vista en el escenario de un sistema IPTV soportado por un *backbone* MPLS se ha de considerar la metodología de asignación de etiquetas para soportar servicios *multicast* de manera apropiada. Nótese que la conmutación de etiquetas si bien no altera los planteamientos y funciones de capa de red, tampoco repara en el encaminamiento basado en prefijo de red. Esta mediación sugiere una funcionalidad adicional en los equipos de borde para que en los lados exteriores del dominio MPLS se conozcan las restricciones de tráfico bien sea de direccionamiento como NATs o de seguridad como lo haría un *firewall.*Así pues que se plantean dos situaciones a determinar que son la capacidad de filtrar tráfico no solo en función a la prioridad o demanda sino en la procedencia del propio tráfico. En el contexto IPTV, parte de los flujos son de control de sesión como PIM;en algúnmomento deberán pasar de la red de acceso al emplazamiento donde esté alojado el contenido o aplicación. Bajo estas consideraciones es correcto afirmar que la logística que implemente el SP para atender los flujos *multicast* debe además de cumplir el cometido principal, necesita poder establecer las garantías de seguridad de la información que transporta; el hecho que a un suscriptor se le asigne un espacio dentro de una subred IP obliga a que se establezca la correspondencia entre el etiquetamiento que define el camino dentro de la nube MPLS y el manejo del prefijo en los flujos *multicast.*

Finalmente este trabajo se desarrolló sobre el pilar de la metodología propuesta y en virtud a esa estrategia conviene resaltar que son varias las situaciones emergentes a partir de las observaciones hechas. Como primera medida al implementar el sistema propuesto se abren varias posibilidades para los estudios

acerca de la introducción de funcionalidades adicionales al esquema IPTV como el *Aprovechamiento Del Ancho De Banda Residual En Redes IPTV Para El Despliegue De Servicios De Descarga De Contenidos En Modopush* propuesto por (CHAPARRO, 2012), dado que al proveer a dicho estudio de una estrategia que discrimine en base a políticas el flujo de paquetes, la medición cualitativa del aprovechamiento del recurso es más simple. Téngase en cuenta que el citado trabajo intenta describir el remanente de ancho de banda en las redes de acceso y que con sustento en esa medición se gestiona una descarga de contenido en los intervalos que la red demuestre subutilización; de este modo, previa la citada medición, es posible desde el *core* MPLS de IPTV parametrizar el tráfico *push* que no solo tiene como característica el ser complementario al servicio base sino que ha sido seleccionado a partir de las preferencias de consumo del suscriptor. Entonces MPLS juega un rol importante en la manera como se marca (etiqueta, realmente) el tráfico puesto que ofrece dos funcionalidades:

- Identifica si el paquete se trata del contenido que debe ser descargado por la misma red en los momentos de baja utilización del ancho de banda.
- Lleva desde la red de acceso información relacionada con el tipo de contenido a descargar y de vuelta le asigna los parámetros de encaminamiento y QoS que corresponden frente al servicio base IPTV.

Como conclusión y motivación final, es importante estructurar y consolidar la pertinencia del presente trabajo, en el cual se ha hecho una síntesis de un estudio acerca del despliegue de IPTV en Latino América del cual se quiere resaltar el indicador de crecimiento y penetración del esquema en la región. Si esa era la proyección hecha en el año 2008, la realidad actual ha obedecido esa tendencia y lo que se apropia de esos resultados a este trabajo es el incremento de las inversiones y planes de negocio de los SP que operan en la región, en el contexto de la distribución de contenidos audiovisuales de pago con valores agregados muy definidos.

10. REFERENCIAS

ATM, T. F. (2007). TV Advertisements Detection and Clustering based on Acoustic Information. *Forum, Frame Based ATM Over SONET/SDH Transport (FAST) Fb-fbatm-0151.000.*

Arberg, P., Cagenius, T., Tidblad, O. V., Ullerstig, M., &Winterbottom, P. (n.d.).Network infrastructure for IPTV.*Ericsson Review*, 79-83.

Arquitectura, I. (n.d.). 5 5.1.

Atm, F. B., & Transport, S. D. (2000).Technical Committee.*Forum American Bar Association.*

Broadcasting, D. V., Phase, D., & Service, C. D. (2011).Etsits 102 542-5.*History, 1*, 1-26.

CASTELLA, I. (2005). MPLS al servicio de las redes privadas. *ACENS TECHNOLOGIES.*

CHAPARRO, W. F. (2012). Aprovechamiento del ancho de banda residual en redes IPTV pra el despliegue de servicios de descarga de contenidos en modo push.

Canalis, M. S. (2008). MPLS "MultiprotocolLabelSwitching": Una Arquitectura de *Backbone* para la Internet del Siglo XXI.

De, C. (2006). Analisis de los estandares de transmision de television digital terrestre y su aplicabilidad al medio nacional.

Document, D. V. (2004).Digital Video Broadcasting (DVB); Transport of DVB Services over IP, (July).

Experience, S. V. (n.d.).Cisco IPTV Video Headend.*Engineering.*

Frost&Sullivan.(2008). Internet Protocol Television Services Markets in Latin America.Palo Alto USA.

GARCIA, M. O. (2008). MPLS, El Presente de las Redes IP.

IETF.(2010). Internet Engineeringk Force Task.*MPLS, El Presente de las Redes IP.*

Kouch, E. (2010). IP Multimedia Subsystem (IMS) Architecture and Management Function for MPLS-Based QoS. *Review Literature And Arts Of The Americas*, *5* (October), 706-712.

Mart, M. S. (n.d.).Ingeniería de Tráfico en Redes MPLS.

OROZCO JIMENEZ, L. (2000). MPLS: Una nueva tecnología aplicada a Internet 2. *Universidad Autónoma de Baja California.*

Ogashiwa, N., Uda, S., Uo, Y., &Shinoda, Y. (2007). Implementation and Evaluation of MPLS Multicast Mechanism Considering Deployment in Established MPLS Networks.*Electronics and Communications*, *90* (11), 2541-2548.

O'DRISCOLL, G. (2008). *Next Generation IPTV Services and Technologies*.John Wiley&Sons, Inc.

Perez, D. A. (2005). ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS DE QoS SOBRE REDES IP MULTICAST.

Riesgos, L. D. (n.d.). Seguridad en los servicios multimedia, 69-78.

Trunking, V., Virtual, M., & Lines, L. (2002). Applications of MPLS Guaranteed Bandwidth Services. *Network*.

VELASQUEZ, J. A. (2010). Estudio De Una Red Ip/Mpls Para Agregar Servicios De Televisión Ip En Operadoras Telefónicas Fijas Tradicionales Para Usuarios Residenciales Mediante Tecnologías Xdsl Para La Ciudad De Quito.

You, W., & Learn, W. (2011). IP/MPLS Networks: Optimize Video Transport for Service Providers, 1-19.

ANEXO 2. Resumen de sintaxis de configuración MPLS en equipamiento Cisco

Habilitación de MPLS

- `MyRouter(config)# ipcef` //Se indica en trabajo CEF
- `MyRouter(config)# mplsip` //Habilita el router para trabajar en entorno MPLS

Habilitación LDP

- `MyRouter(config)# interface <nombre de la interfaz>` // Seleccionar la interfaz de salida
- `MyRouter(config-if)# mplsip`//Asignar a la interfaz la caracteristica MPLS
- `MyRouter(config-if)# mplslabelprotocolldp` //Activar en la interfaz LDP como distribución de etiquetas

Marcado y clasificación de tráfico

- `MyRouter(config)#class-map IP-AF11`// Clasificar el paquete IP dentro de las clases definidad por DiffSrv
- `MyRouter(config-cmap)#match ipprecedence 0` // Comparar la prioridad del paquete IP con el valor del campo EXP definido
- `MyRouter(config-cmap)#exit` //Terminar la configuración.

Política de Entrada

- `MyRouter(config)#policy-map -<nombre>` //Declaración de registro de política
- `MyRouter (config-pmap)#class IP-AF11` // Definición del servicio diferenciado
- `MyRouter (config-pmap-c)#police<BW>conform-action set-mpls-exp-imposition-transmit<precedence>exceed-actiondrop` // envía el tráfico a la velocidad BW y copiar el valor "precedence" al campo EXP para el siguiente salto.
- `MyRouter (config-pmap-c)#exit`// termina la configuración

PAIS	SP	Lanzamiento	Tecnología	Inversión
Colombia	EPM UNE	2 Trimestre 2008	Tandberg	USD 50 M Inicial
	ETB	3 Trimestre 2008	Siemens	USD 30 M Inicial
Brasil	OI	2008	Nokia Siemens	USD 30 M Inicial
Argentina	TELEFONICA	*	Siemens	USD 98 M Inicial
Ecuador	ANDINATEL	2009	Cisco	USD 26 M Inicial
Venezuela	CAN TV	2009	**	USD 160 M Inicial

Tabla 7. Planes de despliegue de IPTV en Latino América. Fuente: El Autor con documentación de (Frost&Sullivan, 2008)

* Para la fecha del estudio no se había determinado el lanzamiento dado restricciones de naturaleza regulatoria-

** Plataforma tecnológica no informada oficialmente. Aun así algunos foros no oficiales aseguran que *Alcatel Lucent* soporta IPTV de CAN TV en Venezuela.

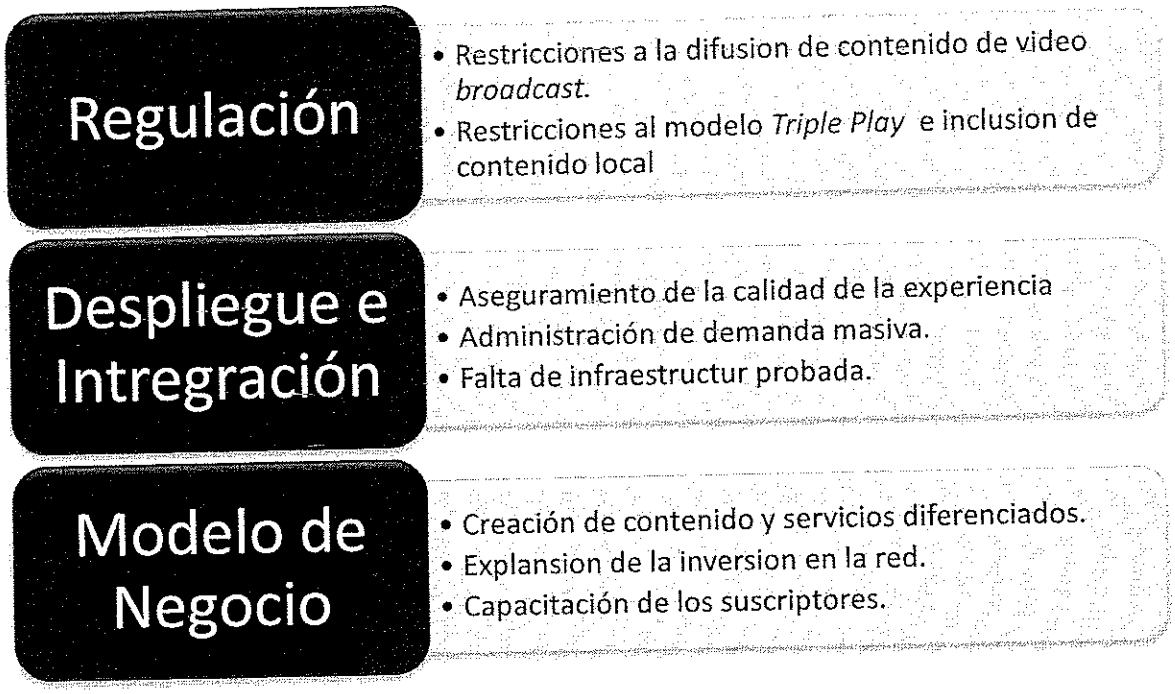


Figura 31. Retos que se planteaban en 2008 para los SP con intención de desplegar IPTV en el cono sur de América. Fuente El Autor con documentación de (Frost&Sullivan, 2008)

ANEXOS

ANEXO 1. Solución CISCO en Transporte de Video Para Proveedores de Servicio

El siguiente equipamiento puede implementarse como solución de *Provider Edge* (LER) *o Provider (LSR)* en un ambiente de *backbone*MPLS para el transporte de IPTV

Cisco 7600 Series Routers

Características Diferenciadoras

Alto rendimiento, con hasta 720 Gbps en un solo chasis, o 40 Gbps de capacidad por ranura

Construido con base en los factores críticos de una WAN especialmente diseñado para alta disponibilidad

Cisco I-Flex diseño©: Una portafolio de puertos compartidos SPAs y procesadores de interfaz SIPs) que los controla experiencias voz, video, datos

Conjunto escalable y extensible de capacidades de hardware y software para habilitar los servicios inteligentes de *Carrier Ethernet*

Control integrado en la admisión de video llamada con una innovadora calidad visual de la experiencia, tanto para *broadcast* y Vídeo en Demanda (VoD)

Gateway de servicios inteligentes., proporcionando posibilidad de suscriptores escalables y control de aplicaciones con capacidades multidimensionales de controles de identidad y controles de políticas.

Control Integrado de sesión en el borde con la calidad de la experiencia, tanto en *Session Initiated Protocol* SIP y aplicaciones no SIP

Aplicaciones:

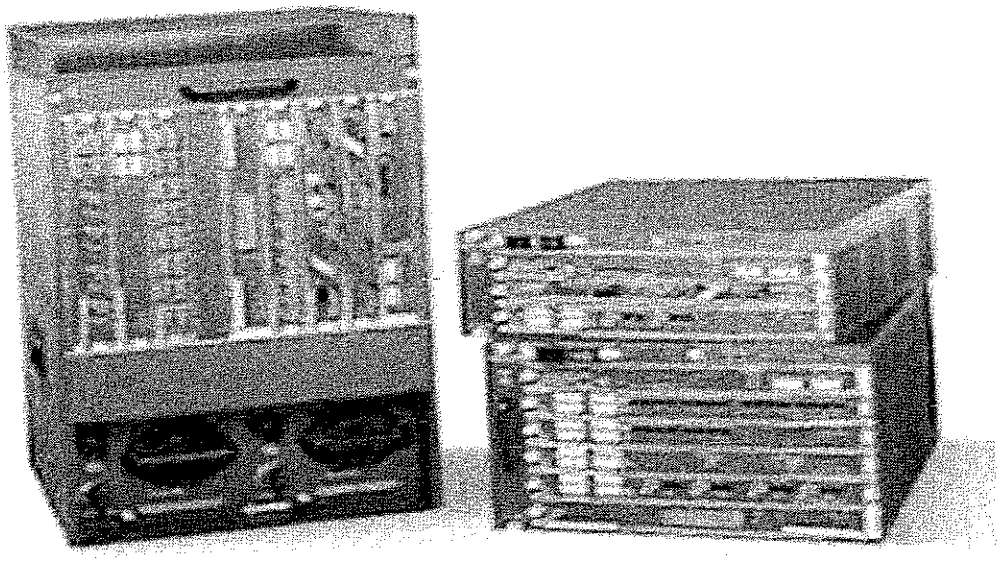
Carrier Ethernet: Agregación de servicio de clientes residenciales y corporativos

Servicios *Ethernet en* el borde del dominio: Servicios personalizados IP

IP / MPLS: Ideal para cumplir roles de LER

Aregación WAN corporativo e ISPs

Sede central de *core* de encaminamiento



Costo Estimado

A la fecha de edición del presente documento se solicitó una cotización del equipo *Cisco 7600 Series SPA Interface Processor-600 (7600-SIP-600)* que reúne las características de LER y LSR para un *core MPLS.*

Tiene un valor de COP 74´550.175 ofertado por la empresa i+Networking SAS de la ciudad de Tunja