

# MPLS.

**MPLS, EL PRESENTE DE LAS REDES IP.**

**MARTHA ODILIA TAPASCO GARCIA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, FÍSICA Y SISTEMAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN  
PEREIRA  
2008**

**MPLS, EL PRESENTE DE LAS REDES IP.**

**MARTHA ODILIA TAPASCO GARCIA**

**Proyecto propuesto como requisito parcial para obtener el pregrado en  
Ingeniería de Sistemas y Computación**

**DIRECTOR DE TESIS  
ING. ANA MARIA LÓPEZ ECHEVERY  
DIRECTORA DEL PROGRAMA DE INGENIERIA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERIAS ELECTRICA, ELECTRONICA, FISICA Y DE  
SISTEMAS  
PROGRAMA DE INGERIERIA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN  
PEREIRA  
2008**

## GLOSARIO

**ADSL:** (Línea de Abonado Digital Asimétrica). Tecnología que emita efectuar transmisiones con gran ancho de Banda por líneas telefónicas convencionales para el acceso de los abonados a aplicaciones basadas en multimedia.

**ANCHO DE BANDA:** Técnicamente es la diferencia en hertzios (Hz) entre la frecuencia mas alta y la mas baja de un canal de transmisión.

**APPLE TALK:** Protocolo propietario que se utiliza para conectar ordenadores Macintosh de Apple en redes locales. Admite las tecnologías Ethernet y Token Ring.

**ATM:** El modo de Transferencia Asíncrona Asynchronous Transfer Mode (ATM) es una tecnología de comunicaciones desarrollada para hacer frente a la gran demanda de capacidad de transmisión para servicios y aplicaciones.

**BACKBONE:** Arteria principal o red principal que refiere a las redes de transporte de tráfico.

**BGP:** ("Border Gateway Protocol", Protocolo de Compuerta de Frontera). 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 que cada uno conozca, se trata del protocolo mas utilizado para redes con intención de configurar un EGP (External Gateway Protocol).

**CoS:** ("Class of Service", Clase de Servicio). 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.

**CARRIER:** Operador de Telecomunicaciones que se dedica al transporte de tráfico ya sea nacional o internacional.

**CBR:** ("Constant Bit Rate", Razón de Bit Constante). Se refiere a una de las categorías del servicio ATM, la cual garantiza al usuario una velocidad constante de transmisión. Esta categoría es ideal para algunas aplicaciones tales como video o voz, así como para la emulación de circuitos que transporten información de aplicaciones que rigurosamente requieran del control del tiempo de transferencia de los datos y de los parámetros de desempeño.

**CDMA:** ("Code Division Multiple Access", Acceso Múltiple por División de Código). Tipo de modulación usado principalmente en sistemas de telefonía móvil.

**CIR:** Velocidad de Información Suscrita. La velocidad a la que una Red Frame Relay acepta transferir información bajo condiciones normales, con un promedio sobre un incremento de tiempo mínimo, es una de las más importantes métricas de tarifa negociada.

**CONGESTION:** Evento que se produce cuando todo el equipo que provee facilidades para llamadas simultaneas esta ocupado, es decir en ese momento el abonado no puede efectuar una llamada.

**CONMUTACION DE PAQUETES:** Método de Comunicación de datos en el que los mensajes se dividen en unidades llamadas paquetes que se encaminan por la red en forma individual.

**CR-LDP:** (LDP de Ruta Restringida). Ofrece en adición a LDP características de Ingeniería de Trafico, de manera que sea posible negociar con anticipación una ruta en especial. Esto permite establecer LSPs punto a punto con calidad de servicio en MPLS.

**DIRECCION IP:** Dirección definida por el Protocolo Internet.

**DNS:** ("Domain Name System", Sistema de Nombre de Dominio). Es una base de datos distribuida y jerárquica que almacena información asociada a nombres de dominio en redes como Internet, el DNS como base de datos es capaz de asociar diferentes tipos de información a cada nombre, los usos mas comunes son la asignación de nombres de dominio a direcciones IP y la localización de los servidores de correo electrónico de cada dominio.

**DOMINIO MPLS:** Es el conjunto de encaminadores contiguos capaces de trabajar para enlutar y/o conmutar y que se encuentran dentro de un mismo ámbito administrativo.

**DWDM:** ("Dense Wavelength Division Multiplexing", Multiplexación por División en Longitudes de Onda Densas). Es una técnica de transmisión de señales a través de fibra óptica.

**E1:** Sistema de transmisión digital de área amplia, utilizado predominantemente en Europa que transporta datos a una velocidad de 2.048 Mbps.

**EGP:** Protocolo de Pasarela Exterior, es un protocolo que emplea vecinos exteriores para difundir la información de accesibilidad a otros sistemas autónomos.

**ENRUTAMIENTO:** Es el mecanismo por el cual los paquetes de información viajan desde su origen hasta su destino, siguiendo un camino o ruta a través de la red.

**FEC:** ("Forwarding equivalence Class", Clase de Envío Equivalente). Es el conjunto de paquetes o flujos de información a los cuales tras ingresar a la red MPLS se le añade una cabecera que hace que todos sean tratados de la misma forma, independiente de que sean paquetes de distinto tipo de tráfico.

**FRAME RELAY:** Técnica de Comutación de Paquetes que aprovecha los avances de X25 pero que da un mejor aprovechamiento a la Banda transmitida al soportar transmisión de Paquetes de longitud variable sobre medios digitales sumamente confiables como la fibra óptica.

**GATEWAY:** (Puerta de Enlace). Es un dispositivo que permite interconectar redes con protocolos y arquitecturas diferentes a todos los niveles de comunicación, tiene como propósito traducir información del protocolo utilizado en una red al protocolo usado en la red destino.

**GPRS:** ("General Packet Radio Service", Servicio General de Paquetes por Radio). Servicio de Comunicación de Telefonía Móvil basado en la transmisión de Paquetes con velocidades hasta de 114 Kbit/s y conexión a Internet.

**GSM:** (Global System for Mobile Communication, Sistema Global para Comunicaciones Móviles). Sistema de Telefonía celular digital para comunicaciones móviles.

**IETF:** ("Internet Engineering Task Force", Grupo de trabajo en Ingeniería de Internet). Es una organización internacional abierta a la normalización, que tiene como objetivos el contribuir a la ingeniería de Internet actuando en diversas áreas, tales como transporte, encaminamiento, seguridad, entre otras. Es una institución formada básicamente por técnicos en Internet e Informática cuya misión es velar porque la arquitectura de la red y los protocolos técnicos que unen a millones de usuarios de todo el mundo funcionen correctamente.

**IGP:** ("Interior Gateway Protocol", Protocolo de Pasarela Interno). Es un protocolo que genera tablas de enrutamiento dentro de un sistema autónomo.

**INTERNET2:** Es una herramienta telemática construida en fibra óptica y permitirá altas velocidades y una gran fiabilidad. Algunas de las tecnologías que se han desarrollado son IPv6, IP multicast y Calidad del Servicio (QoS). Las velocidades mínimas esperadas son: 622 Mbps para un miembro de 12 (Universidades y Socios), 50 Mbps para un usuario particular.

**IPv6:** Nomenclatura de la nueva generación de Internet, aporta mas velocidad, mayor facilidad de uso y mejora la seguridad de acceso a la información.

**IPX:** ("Internet Packet Exchange", Intercambio de Paquetes Interred). Se utiliza para transferir datos entre el servidor y los programas de las estaciones de trabajo, estos datos se transmiten en data gramas.

**ISO:** ("International Organization for Standardization", Organización Internacional para la normalización).

**ISP:** ("Internet Service Provider", Proveedor de Servicios de Internet). Es una empresa dedicada en conectar a Internet a los usuarios o a las distintas redes que tengan y dar el mantenimiento necesario para que el acceso funcione correctamente.

**LABEL o ETIQUETA:** 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:** (“Label Distribution Protocol”, Protocolo de distribución de Etiquetas). Es uno de los protocolos de enrutamiento implícito que se utiliza con frecuencia. LDP define el conjunto de procedimientos y mensajes a través de los cuales los LSRs establecen LSPs en una red MPLS.

**LER:** (“Layer Edge Router”, Router frontera entre capas). Es el encaminador 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:** (“Label Switched Path”, Camino conmutado de etiquetas). Es el camino que describen el conjunto de encaminadores 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:** (“Label Switch Router”, Conmutador de Etiquetas). 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:** (Multiprotocol Label Switching). Tecnología que permite conectividad de todas las sedes de un cliente entre sí y que proporciona mayor eficiencia en las comunicaciones (menos retardo).

**MULTICAST:** (Multidifusión). Se trata del 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.

**MULTIMEDIA:** Información digitalizada que combina varios tipos de información como texto, gráficos, imágenes fijas o en movimiento, sonido, entre otras.

**NODO:** Punto final de una conexión en la red o unión común a dos o más líneas en una red.



**OSPF:** (“Open Shortest Path First”). Es un protocolo de Encaminamiento jerárquico de pasarela interior o IGP (Interior Gateway Protocol), que usa el algoritmo Dijkstra enlace-estado (LSA – Link State Algorithm) para calcular la ruta mas corta posible.

**PAQUETE:** Agrupamiento lógico de Información que incluye un encabezado que contiene información de Control y usualmente datos del usuario.

**PDU:** Unidad de Datos de Protocolo de la capa de Red. Las PDU tienen encapsuladas en sus aéreas de datos otras PDUs.

**QoS:** (“Service Quality”, Calidad de Servicio). Medida de rendimiento de un sistema de transmisión que refleja su calidad de transmisión y disponibilidad del servicio. El objetivo de QoS es proveer de garantías de Calidad en la red y ofrecer los resultados previstos.

**RDSI:** (Red Digital de Servicios Integrados). Red que integra servicios de voz, datos, video, etc. por medio de dos canales de 64 Kbit/s.

**RFC:** Serie de documentos empleado como medio de comunicación primaria para transmitir información acerca de Internet.

**RFP:** Es un documento que una empresa emite para solicitar propuestas de posibles proveedores de productos o servicios.

**RIP:** (Routing Information Protocol, Protocolo de Información de Encaminamiento). Es un protocolo de pasarela interior o IGP (Internet Gateway Protocol) utilizado por Routers aunque también pueden actuar en equipos para intercambiar información acerca de Redes IP.

**RPV:** Es una tecnología de Red que permite una extensión de Red local sobre una Red publica no controlada, como por ejemplo Internet.

**RSVP:** (“Resource Reservation Protocol”, Protocolo de Reserva de Recursos). Este protocolo permite reservar los canales o rutas en Redes Internet para la transmisión por uní difusión y multidifusion.

**RSVP-TE:** (“Resource Reservation Protocol – Trafic Extension”, Protocolo de Reservación de Recursos con Ingeniería de Trafico). Opera de manera similar a CR-LDP, pues permite negociar un LSP punto a punto que garantice un nivel de

servicio de extremo a extremo. Este protocolo es una extensión de la versión original RSVP ya que permite negociar una ruta para la transmisión de información.

**RUTEADOR:** Dispositivo de Capa de Red que utiliza una o más métricas para determinar la ruta optima por la cual se enviara el tráfico por la red.

**SNA:** (System Network Architecture). Es una arquitectura de Red diseñada y utilizada por IBM para la conectividad con sus hosts o mainframes (grandes ordenadores y servidores muy robustos) que soportan millones de transacciones que por lo general son utilizados en bancos.

**TCP/IP:** (Transmisión Control Protocol / Internet Protocol). Familia de Protocolos definidos en los que se basa Internet.

**TDMA:** (Time Division Multiple Access). Acceso múltiple por división de tiempo, es una técnica de asignación de Ancho de Banda en el que cada canal puede acceder al ancho de Banda durante un periodo de tiempo determinado.

**TLV:** (Type-Length-Value: Tipo-Longitud-Valor). Esquema de codificación de mensajes.

**UNICAST:** Es la comunicación establecida entre un solo emisor y un solo receptor en una Red.

**VLAN:** Área de Red Local Virtual, es una conexión lógica de un grupo de dispositivos que están ubicados en la misma subred, siendo posible la configuración de varias VLAN con un único Switch.

**VoIP:** (Voz sobre IP), es una tecnología sobre Red privada IP, este tipo de tecnología IP esta definida como cualquier aplicación de telefonía que puede ser enviada como paquete de información en la Red a través del protocolo de Internet IP.

**VPI/VCI:** ("Virtual Path Identifier/Virtual Channel Identifier", Identificador de Ruta Virtual/Identificador de Circuito Virtual). Se utiliza para identificar el próximo destino de una celda a medida que atraviesa una serie de switches ATM hasta llegar a su destino. Los switches ATM utilizan los campos VPI/VCI para

identificar el próximo VCL que una celda necesita para transitar hasta su destino final.

**VPN:** Red Privada Virtual, retrata de una o mas WAN entrelazadas sobre una Red Publica compartida normalmente en Internet o en un núcleo estructural de Red IP desde un servicio proveedor de Redes (WSP) que simula el comportamiento de las dedicadas WAN enlazadas sobre líneas.

**XDSL:** ("Digital Subscriber Line", Línea de Abono Digital), es una tecnología que ofrece un amplio Ancho de Banda a través del par de Cobre convencional desplegado inicialmente para el servicio telefónico.

## **INTRODUCCION.**

La disponibilidad de ofrecer diferentes niveles de calidad de servicio, la gran demanda de aplicaciones en tiempo real, la priorización de paquetes, los cambios tecnológicos actuales en avalancha y la fusión de los servicios prestados, han propiciado la investigación, el estudio y el desarrollo de nuevas tecnologías con capacidades superiores a las actuales. Se ha adoptado para ello el estándar MPLS (MultiProtocol Label Switching) como solución a este tipo de situaciones; y aunque ya implementado en algunos países, es necesaria la profundidad del tema y sobre todo de la posibilidad de la adaptación e implementación en las redes de comunicaciones Colombianas, teniendo muy en cuenta las arquitecturas que actualmente se encuentran funcionando.

En el presente trabajo “MPLS, el presente de las Redes IP” estudiaremos uno de los más recientes avances tecnológicos que ha permitido el rápido crecimiento de Internet, hablamos del protocolo MPLS, que aunque no muy conocido es uno de los nuevos protocolos que han hecho posible la mejor conformación de las Redes para los proveedores de servicios y a su vez un mejor y óptimo servicio para los usuarios finales.

La implementación de redes MPLS en empresas es más frecuente y necesaria, por eso he desarrollado un trabajo que puede brindar a cualquier persona con conocimientos básicos, entender y comprender dicha arquitectura. En este documento trataremos temas como una pequeña reseña histórica de las arquitecturas anteriores a ésta, una amplia explicación de qué es MPLS, sus conceptos, componentes y funcionamiento, continuando encontraremos los beneficios que esta arquitectura ofrece tanto al proveedor de servicio, como a los usuarios finales, haciendo énfasis en éste último y cuáles son las recomendaciones a tener en cuenta para la implementación de una Red MPLS.

## TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO .....	IV
INTRODUCCION. ....	XII
TABLA DE CONTENIDO.....	XIII
INDICE DE FIGURAS .....	XVIII
INDICE DE TABLAS .....	XX
1 OBJETIVOS.....	1
2 MPLS.....	2
2.1 ANTECEDENTES HISTORICOS.....	2
2.1.1 CELL SWITCHING ROUTER (CSR).....	3
2.1.2 IP SWITCHING.....	3
2.1.3 TAG SWITCHING.....	4
2.1.4 AGGREGATE ROUTE-BASED IP SWITCHING (ARIS).....	6
2.2 QUE ES MPLS? .....	7
2.2.1 CONVERGENCIA REAL: MPLS.....	10
2.2.2 IDEAS PRECONCEBIDAS SOBRE MPLS.....	10
2.3 APLICACIONES DE MPLS.....	12
2.3.1 INGENIERIA DE TRÁFICO.....	12
2.3.1.1 APLICACIONES DE INGENIERIA DE TRÁFICO.....	14
2.3.2 SOPORTE A LAS CLASES DE SERVICIO (CoS).....	16
2.3.3 SERVICIO DE REDES PRIVADAS VIRTUALES (VPN).....	17

3	COMPARACIÓN ENTRE ENRUTAMIENTO CONVENCIONAL Y CONMUTACIÓN DE ETIQUETAS.....	23
3.1	ENRUTAMIENTO CONVENCIONAL.....	23
3.1.1	DIFERENCIACIÓN DE PAQUETES POR SERVICIO.....	24
3.1.2	INDEPENDENCIA Y CONTROL DEL REENVIO. ....	25
3.1.3	PROPAGACION DE INFORMACION EXTRA DE ENRUTAMIENTO. ....	26
3.2	MPLS (CONMUTACION DE ETIQUETAS).....	26
3.2.1	MECANISMO DE IMPOSICIÓN DE ETIQUETAS EN MPLS. ....	27
3.2.2	REENVIO DE PAQUETES MPLS.....	28
3.3	COMPARACION ENTRE TECNOLOGIAS. ....	30
3.3.1	COMPARACION ENTRE REDES ACTUALES DE TRANSPORTE QUE UTILIZAN SWITCHING Y ROUTING PARA CONMUTACION DE PAQUETES.....	32
3.3.2	NUEVOS PROTOCOLOS.....	36
3.4	IMPORTANCIA DE MPLS. ....	37
3.5	ETIQUETACION FRENTE A ENCAPSULAMIENTO .....	38
4	COMPONENTES DE UNA RED MPLS.....	39
4.1	COMPONENTE DE CONTROL.....	49
4.2	COMPONENTE DE ENVÍO.....	49
4.3	ROUTING EN LOS BORDES Y SWITCHING EN EL NÚCLEO.....	51
4.4	DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE MPLS.....	52
4.4.1	FUNCIONAMIENTO DEL ENVÍO DE PAQUETES EN MPLS.....	52
4.4.2	DISTRIBUCION DE ETIQUETAS. ....	54
4.4.2.1	CONTROL DE DISTRIBUCIÓN DE ETIQUETAS. ....	56
4.4.2.2	FUSION DE ETIQUETAS .....	56
4.4.2.3	CLASIFICACIÓN DE ETIQUETAS.....	56
4.4.3	MECANISMOS DE SEÑALIZACIÓN.....	57

4.4.4	CONTROL DE INFORMACIÓN EN MPLS.....	58
4.5	PROTOCOLOS PARA DISTRIBUCIÓN DE ETIQUETAS.....	60
4.5.1	PROTOCOLO RSVP (PROTOCOLO DE RESERVA DE RECURSOS).....	60
4.5.1.1	FUNCIONAMIENTO DEL PROTOCOLO RSVP. ....	62
4.5.2	CR-LDP ENRUTAMIENTO BASADO EN RESTRICCIONES LDP (CONSTRAINT – BASED ROUTING LDP).....	63
4.5.2.2	FUNCIONAMIENTO DEL PROTOCOLO CR-LDP.....	64
4.5.3	LDP – LABEL DISTRIBUTION PROTOCOL.....	65
4.6	FUNCIONAMIENTO GLOBAL.....	69
4.6.1	CONSTRUCCIÓN DE TABLAS DE ENCAMINAMIENTO.....	71
4.6.2	CREACIÓN DE RUTAS LSP'S.....	71
4.6.3	CONSTRUCCIÓN DE LSP'S.....	72
4.6.4	INSERCIÓN DE ETIQUETAS.....	73
4.6.5	ENVÍO DE PAQUETES.....	73
4.7	¿COMO Y POR QUE SURGE MPLS?.....	74
4.7.1	MPLS ELIMINA EL ENRUTAMIENTO?.....	76
5	MPLS EN COLOMBIA.....	77
5.1	ENTORNO MACROECONÓMICO.....	77
6	FACTORES QUE BENEFICIAN EL USO DE MPLS.....	83
6.1	FACTORES QUE BENEFICIAN AL PROVEEDOR DE SERVICIOS.....	84
6.1.1	BENEFICIOS Y VENTAJAS DE UNA RED BASADA EN MPLS PARA EL PROVEEDOR DE SERVICIOS.....	84
6.2	FACTORES QUE BENEFICIAN AL USUARIO FINAL.....	87
6.2.1	CALIDAD DE SERVICIO (QUALITY OF SERVICE).....	87
6.2.2	MEJORAMIENTO DEL ANCHO DE BANDA.....	88
6.2.3	BAJA LATENCIA (LOW LATENCY).....	88

7	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROTOCOLO MPLS.....	89
7.1	VENTAJAS.....	89
7.2	DESVENTAJAS.....	92
7.3	VENTAJAS CON RESPECTO A OTRAS TECNOLOGIAS.....	94
7.4	VENTAJAS SOBRE LA PRESTACION DE MPLS EN SERVICIOS MULTIMEDIAS.....	95
8	ARQUITECTURA DE UNA RED MPLS.....	96
8.1	PARÁMETROS DE DISEÑO DE UNA RED MPLS.....	96
8.2	ESPECIFICACIONES.....	97
9	RECOMENDACIONES PARA IMPLEMENTAR UNA RED MPLS.....	101
9.1	PROCESO DE MIGRACION.....	102
9.1.1	PASO 1 ANALISIS DE NECESIDADES.....	103
9.1.2	PASO 2 SOLICITUD DE PROPUESTAS (RFP – REQUEST FOR PROPOSAL).....	104
9.1.3	PASO 3 IMPLEMENTACION.....	106
9.1.3.1	NO SÓLO VELOCIDAD.....	108
9.1.3.2	GESTION INTELIGENTE DE TRÁFICO.....	108
9.2	BENEFICIOS DE MPLS.....	109
9.3	CONSIDERACIONES PARA MIGRAR HACIA MPLS.....	109
9.4	FACTORES CLAVE PARA ELEGIR OPERADOR MPLS.....	114
9.5	IMPLEMENTACIONES DE MPLS.....	118
9.5.1	IMPLEMENTACIÓN DE MPLS COMO UNA SOLUCIÓN IP SOBRE ETHERNET.....	118
9.5.2	IMPLEMENTACIÓN DE MPLS COMO UNA SOLUCIÓN IP SOBRE ATM.....	119
9.6	PROBLEMÁTICA DE MPLS.....	120
9.6.1	TENDENCIAS.....	120
10	CONCLUSIONES.....	122



11	ANEXO 1. ESPECIFICACIONES EQUIPOS JUNIPER SERIE E. ....	124
12	ANEXO 2. ESPECIFICACIONES EQUIPOS JUNIPER SERIE M.....	126
13	BIBLIOGRAFIA.....	128

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. COMPONENTES DE IP SWITCHING.....	4
FIGURA 2. COMPONENTES DE LA TECNOLOGIA DE CONMUTACION DE ETIQUETAS DESARROLLADA POR CISCO SYSTEM "TAG SWITCHING". .....	5
FIGURA 3. MODELO OSI CON MPLS.....	7
FIGURA 4. EJEMPLO DE UNA RED MPLS.....	9
FIGURA 5. COMPARACIÓN ENTRE EL CAMINO MAS CORTO IGP CON INGENIERÍA DE TRÁFICO. ....	13
FIGURA 6. EJEMPLO DE INGENIRÍA DE TRÁFICO PARA CAMBIOS DE TOPOLOGÍA. ....	15
FIGURA 7. EJEMPLO DE INGENIERÍA DE TRÁFICO PARA CAMBIOS DE LOS PESOS DE LOS CAMINOS PARA EL ROUTING. ....	15
FIGURA 8. EJEMPLO DE INGENIERÍA DE TRÁFICO PARA SELECCIONAR LSP POR CALIDAD DEL CAMINO. ....	16
FIGURA 9. MODELO SUPERPUESTO.....	21
FIGURA 10. MODELO ACOPLADO.....	21
FIGURA 11. APLICACIONES DE MPLS. ....	23
FIGURA 12. BACKBONE IP SIN POLITICAS DE CONTROL DE TRÁFICO.....	24
FIGURA 13. MECANISMOS DE IMPOSICION Y EXTRACCION DE ETIQUETAS MPLS Y REENVIO DE PAQUETES ETIQUETADOS. ....	29
FIGURA 14. ETIQUETACIÓN FRENTE A ENCAPSULAMIENTO.....	39
FIGURA 15. COMPONENTES DEL DOMINIO MPLS. ....	41
FIGURA 16. ENVÍO DE UN LSR.....	42
FIGURA 17. EJEMPLO DE ENVÍO DE UN PAQUETE POR UN LSP. ....	44
FIGURA 18. FEC (FORWARD EQUIVALENT CLASS) DE UNA RED. ....	46

FIGURA 19. ETIQUETA MPLS. ....	47
FIGURA 20. ARQUITECTURA DE UN NODO MPLS.....	50
FIGURA 21. EJEMPLO CONCRETO DE UN DOMINIO.....	52
FIGURA 22. ESQUEMA FUNCIONAL DE MPLS. ....	53
FIGURA 23. DOWNSTREAM ON DEMAND. ....	54
FIGURA 24. UNSOLICITED DOWNSTREAM.....	55
FIGURA 25. MAPEO DE ETIQUETAS. ....	58
FIGURA 26. PROTOCOLO RSVP PARA ESTABLECIMIENTO DE TÚNELES.....	63
FIGURA 27. ESTRUCTURA DE UNA PDU.....	67
FIGURA 28. IDENTIFICADOR LDP. ....	68
FIGURA 29. FUNCIONAMIENTO DE UNA RED MPLS. ....	70
FIGURA 30. PROCESO DE ENÍO DE PAQUETES. ....	74
FIGURA 31 CRECIMIENTO DEL PIB DE LAS TELECOMUNICACIONES VS PIB DEL PAÍS.....	78
FIGURA 32. CONVERGENCIA DE DATOS, VOZ Y VIDEO EN LA RED IFX NETWORKS. ....	82
FIGURA 33. MECANISMO DE PROTECCIÓN Y RESTAURACIÓN. ....	86
FIGURA 34. INTERCONEXIÓN DE EQUIPOS EN BOGOTÁ Y A NIVEL NACIONAL.....	99
FIGURA 35. EJEMPLO DE INTERCONEXIÓN EQUIPOS JUNIPER.....	100
FIGURA 36. EQUIPOS JUNIPER. ....	101
FIGURA 37. TENDENCIAS DE LA RED MPLS.....	121

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1. COMPARACIÓN ENTRE ENRUTAMIENTO CONVENCIONAL Y CONMUTACIÓN DE ETIQUETAS.....	31
TABLA 2. COMPARACION ENTRE TECNOLOGIAS.....	35
TABLA 3. GESTIÓN DE TRÁFICO .....	59
TABLA 4. COMPARACIÓN ENTRE VPNs BASADAS EN MPLS y VPNs BASADAS EN FRAME RELAY O ATM.....	93
TABLA 5. SERVICIOS BASADOS EN MPLS. ....	114

## **1 OBJETIVOS.**

1. Describir los conceptos fundamentales que abarcan la Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo (MPLS).
2. Presentar los servicios Integrados no como soluciones alternativas sino como soluciones complementarias.
3. Describir el proceso de Implementación de MPLS en las instalaciones del Cliente.
4. Analizar los factores que benefician a los Proveedores de Servicios (SP's) al migrar a una red MPLS en el núcleo de su infraestructura, además analizar los beneficios en cuanto a Calidad de Servicio (QoS) se refiere que se ofrecen al usuario final (cliente) teniendo en cuenta dicha tecnología.
5. Describir las ventajas que obtiene el usuario final (Cliente) cuando hace uso de una Red MPLS.
6. Describir a profundidad los factores motivadores de cambio a la tecnología (MPLS).

## 2 MPLS.

### 2.1 ANTECEDENTES HISTORICOS.

Cuando se comenzó a utilizar Internet, los Backbones IP de los proveedores estaban contruidos por enrutadores conectados entre sí, lo cual generó saturación de las redes y provocó congestión en las transmisiones. Entonces, lo más lógico fue aumentar el rendimiento de los enrutadores, dándose a conocer los conmutadores ATM con ciertas capacidades de control IP.

Se generaron entonces varios tipos de problemas que tenían que ver con el rendimiento óptimo y para lo cual se implementaron soluciones de integración de niveles que fueron conocidos como **Conmutación IP**, sin embargo, estas soluciones causaban congestionamiento y no eran operativas entre las distintas tecnologías de capa 2 y 3 que se conocían.

Es por ésto que para los administradores de red el buen desempeño de las redes siempre ha sido un reto, generando un contínuo surgimiento de protocolos de enrutamiento teniendo siempre como objetivo principal diseñar el camino más corto para la ruta que un paquete debe seguir por la red, sin embargo no se habían tenido en cuenta los parámetros que afectan el desempeño de la red como lo son retardos, QoS, congestión de tráfico, entre otros.

En los últimos años se han desarrollado diferentes tecnologías y se han puesto al servicio de las empresas para que éstas puedan mezclar la alta velocidad de operación de ATM basada en Conmutación con el proceso de enrutamiento IP de Internet de la capa de Red. Estas tecnologías son:

### **2.1.1 CELL SWITCHING ROUTER (CSR).**

Fue desarrollado por Toshiba y presentado a la **IETF (Internet Engineering Task Force)**<sup>1</sup> en 1994. “Esta tecnología se fundamenta en la utilización de los protocolos de encaminamiento IP para controlar infraestructura ATM. CSR se ha desarrollado en redes comerciales y académicas en Japón”.<sup>2</sup>

El enrutador CSR puede realizar tanto Cell Switching como envío de paquetes IP, se caracteriza por ser muy similar a IP Switching cuando se habla de envío de paquetes IP y procedimientos de establecimiento de conexión ATM.

### **2.1.2 IP SWITCHING.**

“Desarrollado por Ípsilon Networks en 1996, 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”<sup>3</sup>.

Un Switch IP es simplemente un enrutador IP encadenado con un Switch ATM, un software IP de ruteo, 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.

---

<sup>1</sup> RFC 3031, “ Multiprotocol Label Switching Architecture”, 2001

<sup>2</sup> OROZCO JIMENEZ, Leonardo. MPLS: Una nueva tecnología aplicada a Internet 2.Tesis de Grado. Universidad Autónoma de Baja California. Diciembre de 2000, paginas 18-19.

<sup>3</sup> OROZCO JIMENEZ, Leonardo. MPLS: Una nueva tecnología aplicada a Internet 2.Tesis de Grado. Universidad Autónoma de Baja California. Diciembre de 2000, paginas 18-19.

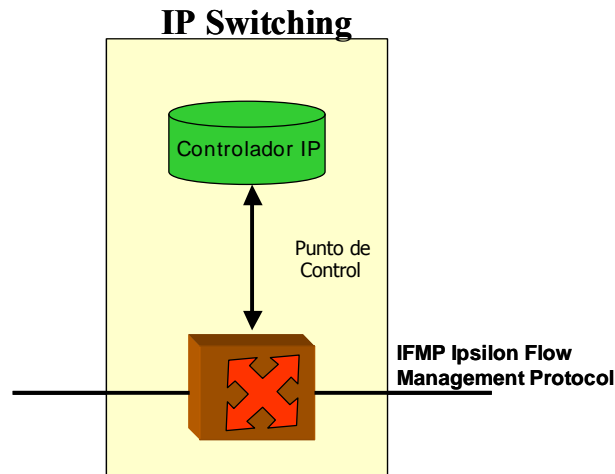


FIGURA 1. COMPONENTES DE IP SWITCHING.<sup>4</sup>

### 2.1.3 TAG SWITCHING.<sup>5</sup>

Es la tecnología de conmutación de etiquetas desarrollada por Cisco System. A diferencia de las dos soluciones anteriores, Tag Switching es una técnica que no requiere de flujo de tráfico para la creación de tablas de etiqueta en un enrutador, en lugar de esto utiliza protocolos de enrutamiento IP para determinar el siguiente salto.

Para Cisco el termino etiqueta es identificado como Tag, es decir, no se utiliza el termino Label. Este tipo de tecnología cuenta con los siguientes elementos:

---

<sup>4</sup> Referenciado de Alta Velocidad y Calidad de Servicio en Redes IP  
García Tomas Jesús, Raya Cabrera José Luís, Raya Víctor Rodrigo  
Alfaomega, 2002

<sup>5</sup> <http://cursos.itam.mx/licenciatura/uciel/material/Switches/swl3.pdf>  
Fecha visita: 5 de Noviembre de 2007



- Tag Edge Routers: Estos enrutadores son los que aplican los “Tag” (Etiquetas) a los paquetes en el borde de la Red.
- Tag Switches: Conmutan paquetes o celdas basados en “Tags” (Etiquetas).
- Tag Distribution Protocol (TDP): Éste es el protocolo encargado de la distribución de la información de etiquetas en la red.

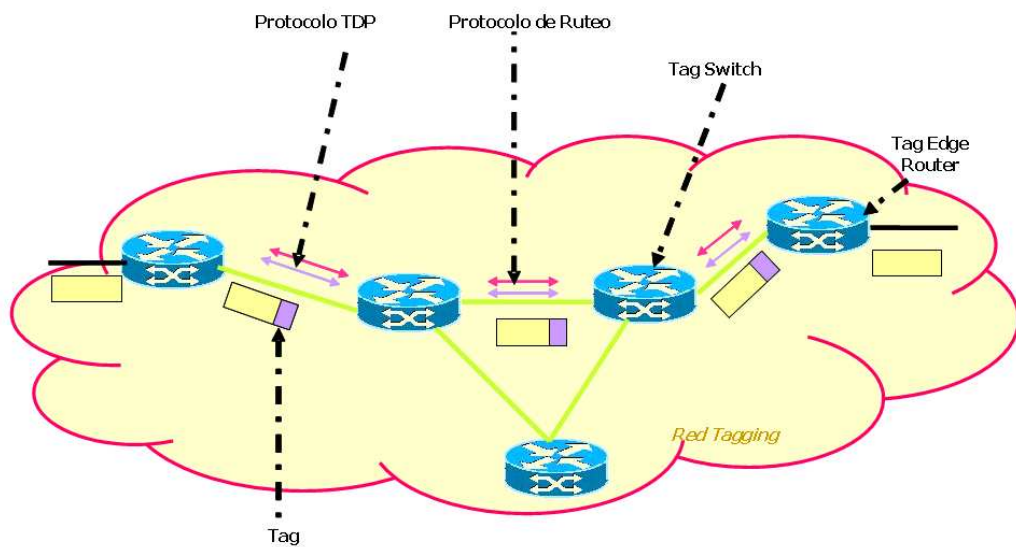


FIGURA 2. COMPONENTES DE LA TECNOLOGÍA DE CONMUTACION DE ETIQUETAS DESARROLLADA POR CISCO SYSTEM “TAG SWITCHING”.<sup>6</sup>

Esta tecnología basa su enrutamiento en protocolos de ruteo estándares como lo son OSPF, IS-IS, para indicar las rutas de red, las cuales al ser encontradas se les asigna una etiqueta igual que al paquete y se distribuye a todos los nodos con el protocolo de distribución TDP. Cuando un paquete llega a un Tag Edge Router se analiza el encabezado de la capa de red, aplica los servicios de red (seguridad, QoS), selecciona una ruta de sus tablas y aplica una etiqueta al paquete para ser enviado al siguiente Tag

<sup>6</sup> <http://cursos.itam.mx/licenciatura/uciel/material/Switches/swl3.pdf>  
Fecha visita: 10 Octubre de 2007

Switch, este Tag Switch recibe el paquete y lo conmuta en función de la etiqueta sin analizar el encabezado de capa 3, finalmente el paquete llega al Tag Router de salida, donde se elimina la etiqueta y se envía el paquete a su destino final.

#### **2.1.4 AGGREGATE ROUTE-BASED IP SWITCHING (ARIS).<sup>7</sup>**

“Fue desarrollado por IBM y es muy similar a Tag Switching de Cisco, en ARIS la distribución de etiquetas comienza en el enrutador de salida y se propaga de forma ordenada hacia el enrutador de entrada”<sup>8</sup>.

Se trata de una solución que está orientada para ser usada con tecnologías que empleen la conmutación (Switching) como es ATM, conmutadores que lleven Frame Switching o conmutadores LAN. ARIS permite que la conmutación (Switching (en la capa 2)) sea empleada para el envío de datagramas IP, aumentando el nivel de uso de los conmutadores ATM que hayan sido diseñados específicamente para mezclar circuitos virtuales (aunque no es un requisito obligatorio).

Junto a los últimos avances tecnológicos en transmisión por Fibra Óptica (principalmente **DWDM - Dense Wavelength Division Multiplexing**), se han conseguido Anchos de Banda de magnitudes muy superiores y en tecnología de Integración de Circuitos **ASIC (Application Specific Integrated Circuits)** que permiten aumentar enormemente la velocidad de proceso de información en la red, razón por la cual se debe considerar la arquitectura MPLS para la inclusión en la red de nuevas aplicaciones y poder así ofrecer diferentes niveles de servicio en un entorno de mayor fiabilidad y con las garantías necesarias.

---

<sup>7</sup> <http://cursos.itam.mx/licenciatura/uciel/material/Switches/swl3.pdf>

Fecha visita: 5 de Noviembre de 2007

<sup>8</sup> OROZCO JIMENEZ, Leonardo. MPLS: Una nueva tecnología aplicada a Internet 2. Tesis de Grado. Universidad Autónoma de Baja California. Diciembre de 2000, paginas 18-19.

## 2.2 QUE ES MPLS?



FIGURA 3. MODELO OSI CON MPLS<sup>9</sup>

MPLS se encuentra situado entre las capas de enlace de datos y de red del modelo OSI, como se muestra en la figura # 3 se podría decir que es un protocolo de unión entre la capa de enlace y la capa de red.

MPLS quiere decir Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo (**Multiprotocol Label Switching**), es una tecnología relativamente nueva que se desarrolló para solucionar la mayoría de los problemas que existen en la técnica actual de reenvío de paquetes. La IETF cuenta con un grupo de trabajo MPLS que ha unido esfuerzos para estandarizar esta tecnología.<sup>10</sup>

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

<sup>9</sup> <http://ManoloDominguez.com>

Soporte de Garantía de Servicio (GoS) sobre MPLS mediante Técnicas Activas  
Manolo Domínguez Dorado  
España, 2.004

<sup>10</sup> <http://ietf.org/html.chapters/mpls-charter.html>

Fecha visita: 10 Octubre de 2007

transportar diferentes tipos de tráfico incluyendo tráfico de voz y de paquetes IP.

MPLS es un estándar emergente del IETF que surgió para consensuar diferentes soluciones de conmutación multinivel propuesto por diferentes fabricantes a mitad de los años noventa. Como concepto, MPLS es a veces un tanto difícil de explicar, como protocolo es bastante sencillo, 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, también como un protocolo para hacer túneles (sustituyendo a las técnicas habituales de "tunneling"), o bien, como una técnica para acelerar el encaminamiento de paquetes. En realidad MPLS realiza un poco de todo ya que integra sin discontinuidades los niveles 2 (conmutación) y 3 (red) combinando eficazmente las funciones de control del Routing con la simplicidad y rapidez de la conmutación de Nivel 2.

No obstante, se debe considerar MPLS como el avance más reciente en la evolución de las tecnologías de Routing y Forwarding en las redes IP, lo que implica una evolución en la manera de construir y gestionar las redes que se requieren para esta época. Los problemas que presentan las soluciones actuales de IP sobre ATM, tales como la expansión sobre una topología virtual superpuesta, así como la complejidad de gestión de dos redes separadas y tecnológicamente diferentes quedan resueltos con MPLS, al combinar en uno solo lo mejor de cada nivel (la inteligencia del Routing con la rapidez del Switching), MPLS ofrece nuevas posibilidades en la gestión de Backbones, así como en la provisión de nuevos servicios de valor agregado. Para entender mejor las ventajas de la solución MPLS vale la pena revisar los esfuerzos de Integración de los niveles 2 y 3 que han llevado finalmente a la adopción del estándar MPLS.<sup>11</sup>

El objetivo primario de MPLS, es estandarizar una tecnología base que integre el intercambio de etiquetas durante el reenvío de paquetes con el

---

<sup>11</sup> MPLS "Multiprotocol Label Switching": Una Arquitectura de Backbone para la Internet del Siglo XXI.  
María Sol Canalis  
Dpto Informatica Universidad Nacional del Nordeste.  
Argentina

sistema de enrutamiento actual de redes. Se espera que esta nueva tecnología mejore la relación precio/desempeño del enrutamiento que se realiza en la capa de Red, que mejore la escalabilidad de la misma capa y que provea una gran flexibilidad en la entrega de (nuevos) servicios de enrutamiento.

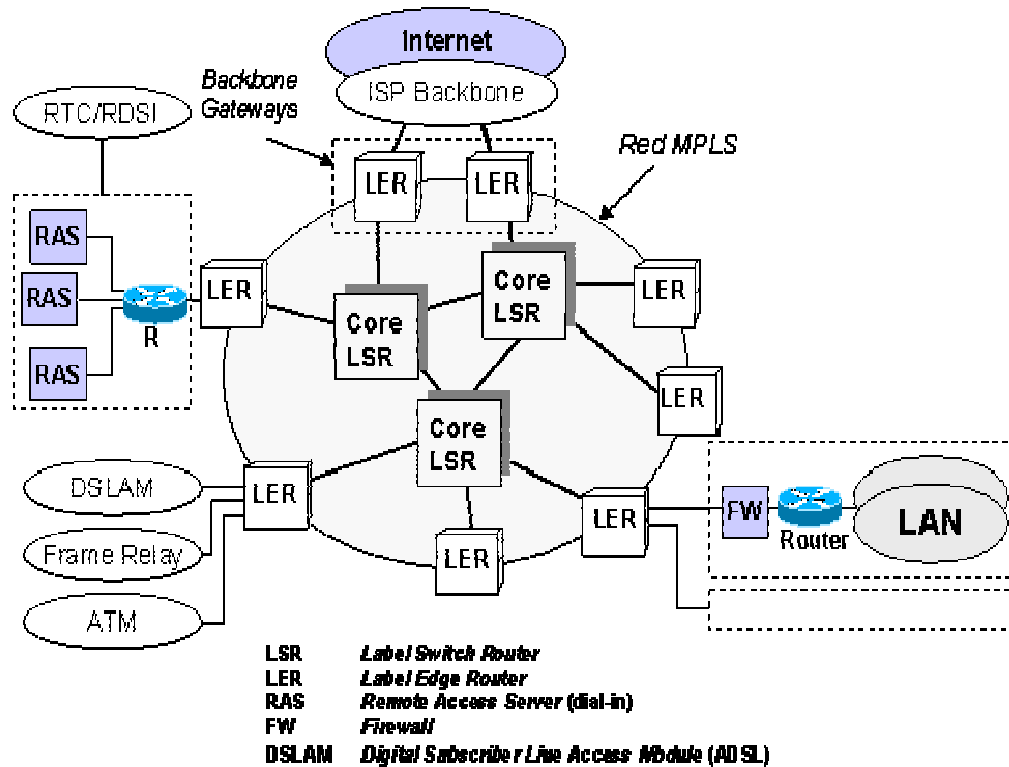


FIGURA 4. EJEMPLO DE UNA RED MPLS<sup>12</sup>

<sup>12</sup> <http://www.ramonmillan.com/index.htm>  
 Ramon J. Millan Tejedor, José M. Huidobro Moya  
 Septiembre – Octubre 2002  
 Fecha visita: 15 Julio de 2008

### **2.2.1 CONVERGENCIA REAL: MPLS.**

El problema principal que presentaban las diversas soluciones de Conmutación multinivel era la falta de interoperatividad entre los productos privados de diferentes fabricantes. Además de ello, la mayoría de esas soluciones necesitaban ATM como transporte, pues no podían operar sobre infraestructuras de transmisión mixtas (Frame Relay, PPP, SONET/SDH y LANs), se quería obtener un estándar que pudiera funcionar sobre cualquier tecnología de transporte de datos en el nivel de enlace, de aquí que el grupo de trabajo de MPLS que se estableció en la IETF en 1977 tuviera como objetivo la adopción de un estándar unificado e interoperativo.

### **2.2.2 IDEAS PRECONCEBIDAS SOBRE MPLS.**

Durante el tiempo en que se ha desarrollado el estándar, se han extendido algunas ideas falsas o inexactas sobre el alcance y objetivos de MPLS, hay quienes piensan que MPLS se ha desarrollado para ofrecer un estándar a los proveedores que les permitirá evolucionar de los Conmutadores ATM a Routers de Backbone de altas prestaciones, aunque ésta puede haber sido la finalidad original de los desarrollos de conmutación multinivel, los recientes avances en tecnologías de Silicio ASIC permite a los Routers funcionar con una rapidez similar para la consulta de tablas a las de los conmutadores ATM. Si bien es cierto que MPLS mejora notablemente el rendimiento del mecanismo de envío de paquetes éste no era el principal objetivo del grupo. Los objetivos establecidos por este grupo en la elaboración del estándar son:

- MPLS debía funcionar sobre cualquier tecnología de transporte, no solo ATM.
- MPLS debía soportar el envío de paquetes tanto Unicast como Multicast.
- MPLS debía ser compatible en el modelo de Servicios Integrados de la IETF incluyendo el protocolo **RSVP (Resource Reservation Protocol)**.
- MPLS debía permitir el crecimiento constante de la Internet.

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

También hubo quien pensó que MPLS perseguía eliminar totalmente el encaminamiento convencional por prefijos de red, ésta es otra idea falsa y nunca se planteó como objetivo del grupo ya que el encaminamiento tradicional de nivel 3 siempre sería un requisito en Internet por los siguientes motivos:

- El filtrado de paquetes en los cortafuegos (FW) de acceso a las LAN corporativas y en límites de las redes de los NSPs es un requisito fundamental para poder gestionar la red y los servicios con las necesarias garantías de seguridad. Para ello se requiere examinar la información de la cabecera de los paquetes, lo que impide prescindir del uso del nivel 3 en ese tipo de aplicaciones.
- No es probable que los sistemas finales (host) implementen MPLS. Necesitan enviar los paquetes a un primer dispositivo de red (nivel 3) que pueda examinar la cabecera del paquete para tomar luego las correspondientes decisiones sobre su envío hasta su destino final. En este primer salto se puede decidir enviarlo por Routing convencional o asignar una etiqueta y enviarlo por su **LSP (Label Switched Path)**.
- Las etiquetas MPLS tienen solamente significado local (es imposible mantener vínculos globales entre etiquetas y host en toda la Internet). Esto implica que en algún punto del camino algún dispositivo de nivel 3 debe examinar la cabecera del paquete para determinar con exactitud por donde lo envía: por routing convencional o entregándolo a un LSR que lo expedirá por un nuevo LSP.
- Del mismo modo, el último **LSR (Label Switch Router)** de un LSP debe usar encaminamiento de nivel 3 para entregar el paquete al destino, una vez suprimida la etiqueta, como se verá seguidamente al describir la funcionalidad MPLS.

El aspecto fundamental de MPLS consiste en la separación entre las funciones de routing (el control de la información sobre la topología y tráfico en la red), de las funciones de forwarding (envío en sí de los datos entre los elementos de red).

## **2.3 APLICACIONES DE MPLS.**

### **2.3.1 INGENIERIA DE TRÁFICO.**

El objetivo de la ingeniería de tráfico es adaptar los flujos de tráfico a los recursos físicos de la red, es decir optimizando la utilización de los recursos disponibles de manera que no haya unos sobreutilizados con posibles puntos calientes y cuellos de botella, mientras otros estén subutilizados. Ésto se genera debido al desperdicio de ancho de banda que se presenta cuando se utiliza algún algoritmo de encaminamiento como por ejemplo IGP, el cual escoge el camino más corto para el envío de paquetes, sin tener en cuenta que este método puede congestionar algunos enlaces de la red, mientras que otros pueden estar subutilizados.

A comienzos de los años noventa los esquemas para adaptar de forma efectiva los flujos de tráfico a la topología física de las redes IP eran bastantes rudimentarios, los flujos de tráfico siguen el camino más corto calculado por el algoritmo IGP correspondiente, en casos de congestión de algunos enlaces, el problema se resolvía a base de añadir más capacidad a los enlaces.

Con Ingeniería de Tráfico se pretende prever calidad de servicio garantizada, buen uso de los recursos de la red distribuyendo el tráfico de forma equitativa entre los enlaces y facilidad de recuperación dinámica ante fallas en enlaces o nodos. 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 (con menos saltos).



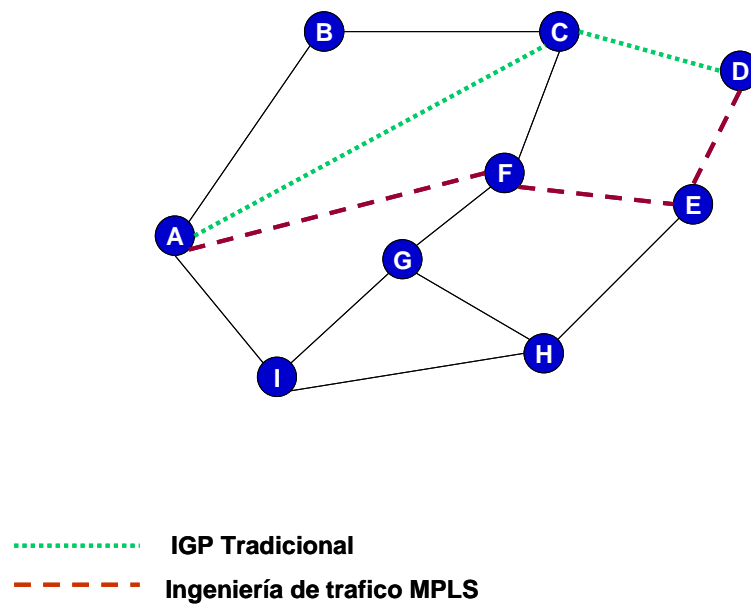


FIGURA 5. COMPARACIÓN ENTRE EL CAMINO MAS CORTO IGP CON INGENIERÍA DE TRÁFICO.<sup>13</sup>

El camino más corto entre A y D según el algoritmo IGP podría ser el que tiene sólo dos saltos, pero puede que el exceso de tráfico sobre esos enlaces o el esfuerzo de los routers correspondientes hagan aconsejable la utilización del camino alternativo indicado con un salto más.

MPLS es una herramienta efectiva para ser aplicada en grandes Backbones, ya que:

- Permite obtener estadísticas de uso LSP, que se pueden utilizar en la planificación de la red y como herramienta de análisis de cuellos de botella y carga en los enlaces, lo que resulta bastante útil para planes de expansión futura.
- MPLS permite hacer Encaminamiento Restringido **CBR** (**Constraint Based Routing**) de modo que el administrador de la

<sup>13</sup> Referenciado de Alta Velocidad y Calidad de Servicio en Redes IP  
García Tomas Jesús, Raya Cabrera José Luís, Raya Víctor Rodrigo  
Alfa omega, 2002

red pueda seleccionar determinadas rutas para servicios especiales como por ejemplo: Garantías explícitas de Retardo, Ancho de Banda, Perdida de Paquetes, etc.

MPLS tiene en cuenta el tamaño del paquete de datos a enviar y el ancho de banda requerido para así lograr establecer rutas explícitas a lo largo de la red, donde el administrador de la red puede establecer dichas rutas, especificando el camino exacto de un LSP, adicional a ésto con ingeniería de tráfico en MPLS es posible evitar una pre-configuración manual de los dispositivos de red ya que MPLS identifica la topología del núcleo y señalización automática.

La ventaja de la ingeniería de tráfico MPLS es que se puede hacer directamente sobre una red IP, al margen de que haya o no una infraestructura ATM por debajo, todo ello de manera más flexible y con menos costes de planificación y gestión para el administrador y con mayor calidad de servicio para los clientes. Los protocolos de señalización son los encargados de establecer y mantener túneles a lo largo de la red en el dominio MPLS basándose en los recursos requeridos y ésto se logra con dos protocolos conocidos como **CR-LDP (LDP de Ruta Restringido)** y **RSVP-TE (Resource Reservation Protocol – Traffic Extension)**.

### **2.3.1.1 APLICACIONES DE INGENIERÍA DE TRÁFICO.**

La ingeniería de tráfico tiene muchas aplicaciones, por ejemplo podría utilizarse ingeniería de tráfico cuando:

- Se presente algún problema con los enlaces ya que ésto hace que un LSP no funcione, en este momento se puede habilitar un camino o varios alternativos para evitar que la comunicación se interrumpa.



FIGURA 6. EJEMPLO DE INGENIERÍA DE TRÁFICO PARA CAMBIOS DE TOPOLOGÍA.<sup>14</sup>

- Los protocolos de encaminamiento que eligen el camino más corto de los posibles pueden provocar que, pese a existir caminos alternativos, sólo se utilice uno y por tanto se sature, con ingeniería de tráfico se puede desviar parte de este tráfico por otro camino posible.

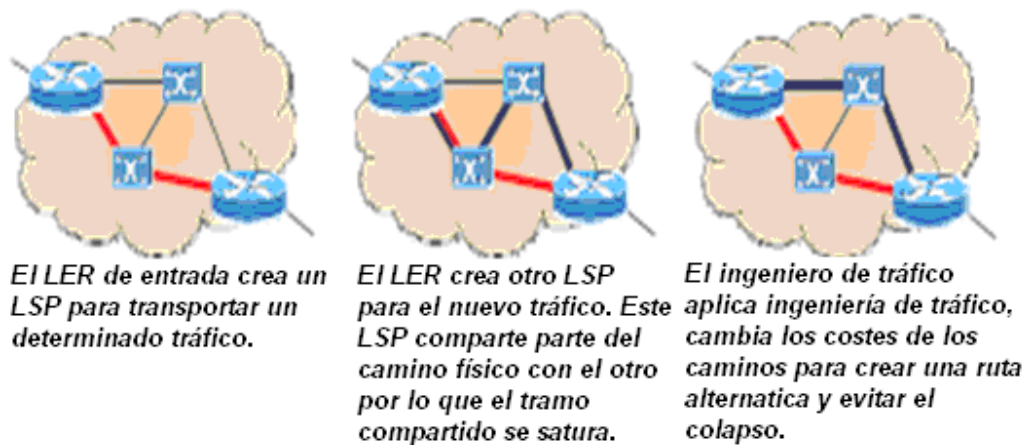


FIGURA 7. EJEMPLO DE INGENIERÍA DE TRÁFICO PARA CAMBIOS DE LOS PESOS DE LOS CAMINOS PARA EL ROUTING.<sup>15</sup>

<sup>14, 7</sup> <http://ManoloDominguez.com>  
 Soporte de Garantía de Servicio (GoS) sobre MPLS mediante Técnicas Activas  
 Manolo Domínguez Dorado  
 España, 2.004  
 Fecha visita: 21 Agosto de 2008

- Cuando se requiere que cierto tráfico fluya por un LSP concreto

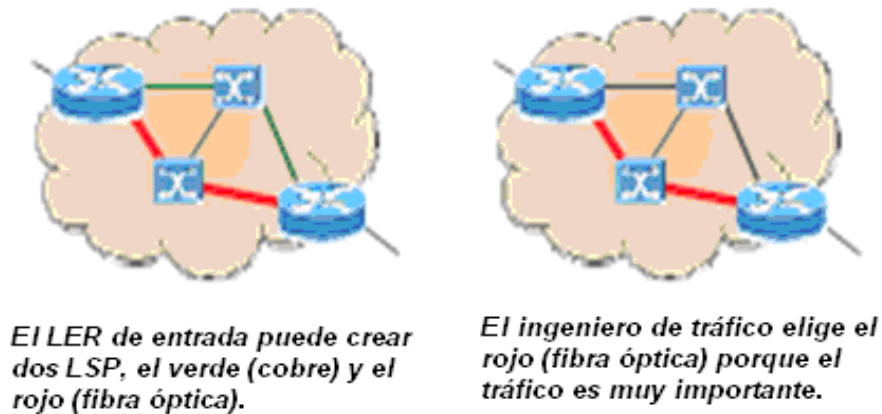


FIGURA 8. EJEMPLO DE INGENIERÍA DE TRÁFICO PARA SELECCIONAR LSP POR CALIDAD DEL CAMINO.<sup>16</sup>

### 2.3.2 SOPORTE A LAS CLASES DE SERVICIO (CoS).

Anteriormente 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 pensado que MPLS es la solución a todos estos inconvenientes, ya que con el Modelo DiffServ (Servicios Diferenciados) se puede clasificar el tráfico con diferentes prioridades según las necesidades del usuario.

Este modelo (DiffServ) 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, DiffServ emplea un campo llamado ToS (Type of Service) que permite

<sup>16</sup> <http://ManoloDominguez.com>

Soporte de Garantía de Servicio (GoS) sobre MPLS mediante Técnicas Activas  
Manolo Domínguez Dorado  
España, 2.004  
Fecha visita: 21 de Agosto de 2008

diferenciar servicios tradicionales tales como el WWW, 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 son video y voz.

Para MPLS este modelo aplica perfectamente debido a que las etiquetas MPLS tienen 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 (voz, datos, video, etc.) utilizando el enrutamiento restringido **CBR (Constant Bit Rate)**. De 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 los diferentes saltos LSR, de acuerdo con la información contenida en los bits del campo EXP.
- Entre cada par de **LSR (Label Switch Router)** exteriores se pueden aprovisionar múltiples LSP's, cada uno de ellos con distintas prestaciones y con diferentes garantías 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.

### **2.3.3 SERVICIO DE REDES PRIVADAS VIRTUALES (VPN).**

“Una Red Privada Virtual (VPN) se construye basada en conexiones realizadas sobre una infraestructura compartida, con funcionalidades de red y de seguridad equivalentes a las que se obtienen con una red privada”<sup>17</sup>. El objetivo de las VPNs es el soporte de aplicaciones intra/extranet, donde se integran aplicaciones multimedia de voz, datos y video sobre infraestructuras de comunicaciones eficientes y rentables. Estas redes se caracterizan por su privacidad (el usuario asume que los enlaces son suyos) y seguridad (supone aislamiento, es decir los datos no son accesibles a los externos), las VPNs son soluciones de comunicación VPN basada en el protocolo de red IP de la Internet.

---

<sup>17</sup> SERRANO GOMEZ, Maria Isabel; Calidad de Servicio En Redes MPLS con VPN's. Tesis de Grado. Universidad de Los Andes. Abril de 2003.

Las 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 Frame Relay, 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 tráfico por PVC y el caudal asegurado **CIR (Comited Information Rate)**. 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 costes asociados), si se quiere tener conectados a todos con todos, en una topología totalmente mallada, añadir un nuevo emplazamiento supone retocar todos los **CPEs (Customer Premises Equipment)** y restablecer todos los PVCs.

Además, la popularización de las aplicaciones TCP/IP, así como la expansión de las redes de los NSPs han llevado a tratar de utilizar estas infraestructuras IP para el soporte de VPNs, buscando 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 una estructura no conectiva como IP para simular esas conexiones: una especie de tuberías privadas por las que no puede entrar nadie a menos que sea miembro de esa VPN IP. Los túneles IP en conexiones dedicadas se pueden establecer de dos maneras:

- En el nivel 3, mediante el protocolo IPSec de IETF.
- En el nivel 2, mediante el encapsulamiento de paquetes privados (IP u otros) sobre una red IP pública de un NSP.

En las VPNs basadas en túneles IPSec, la seguridad requerida se garantiza mediante el cifrado de la información de los datos y de la cabecera de los paquetes IP, que se encapsulan con una nueva cabecera IP para su transporte por la red del proveedor. Es relativamente sencillo de

implementar, bien sea en dispositivos especializados tales como cortafuegos, como en los propios routers de acceso de NSP. Además, como es un estándar, IPSec permite crear VPNs a través de redes de distintos NSPs que sigan el estándar IPSec, pero como el cifrado IPSec oculta las cabeceras de los paquetes originales, las opciones QoS son bastantes limitadas, ya que la red no puede distinguir flujos por aplicaciones para asignarles diferentes niveles de servicio.

En los túneles de nivel 2 se encapsulan paquetes multiprotocolo (no necesariamente IP), sobre los datagramas IP de la red del NSP, de este modo, la red del proveedor no pierde la visibilidad IP, por lo que hay mayores posibilidades de **QoS (Service Quality)** para priorizar el tráfico por tipo de aplicación IP. Los clientes VPN pueden mantener su esquema privado de direcciones, estableciendo grupos cerrados de usuarios, si así lo desean (además de encapsular los paquetes, se puede cifrar la información por mayor seguridad, pero en este caso limitando las opciones QoS). A diferencia de la opción anterior, la operación de túneles de nivel 2 está condicionada a un único proveedor.

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 nuevo 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.

Realmente, el problema que plantean estas VPNs IP, es que están basadas en un *modelo topológico superpuesto* sobre la topología física existente, basados en túneles extremo a extremo (o circuitos virtuales) entre cada par de routers de clientes en cada VPN. 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 emplazamientos. Con una arquitectura MPLS se evitan 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 emplazamientos de una VPN, lo que hay son conexiones IP a una “nube común” en la que solamente pueden entrar los miembros de la misma VPN, las “nubes” que representan las distintas VPNs se implementan mediante los caminos LSPs creados por el mecanismo de intercambio de etiquetas MPLS, los LSPs son similares a los túneles en cuanto a que la red transporta los paquetes del usuario (incluyendo las cabeceras) sin examinar el contenido, a base de encapsularlos sobre otro protocolo.

Aquí está la diferencia: en los túneles se utiliza el encaminamiento convencional IP para transportar la información del usuario, mientras que en MPLS esta información se transporta sobre el mecanismo de intercambio de etiquetas, que no ve para nada el proceso de *Routing* IP. Sin embargo, sí se mantiene en todo momento la visibilidad IP hacia el usuario, que no sabe nada de rutas MPLS sino que ve un internet privado (intranet) entre los miembros de su VPN. De este modo, se pueden aplicar técnicas QoS basadas en el examen de la cabecera IP, que la red MPLS podrá propagar hasta el destino, pudiendo así reservar ancho de banda, priorizar aplicaciones, establecer CoS y optimizar los recursos de la red con técnicas de ingeniería de tráfico.



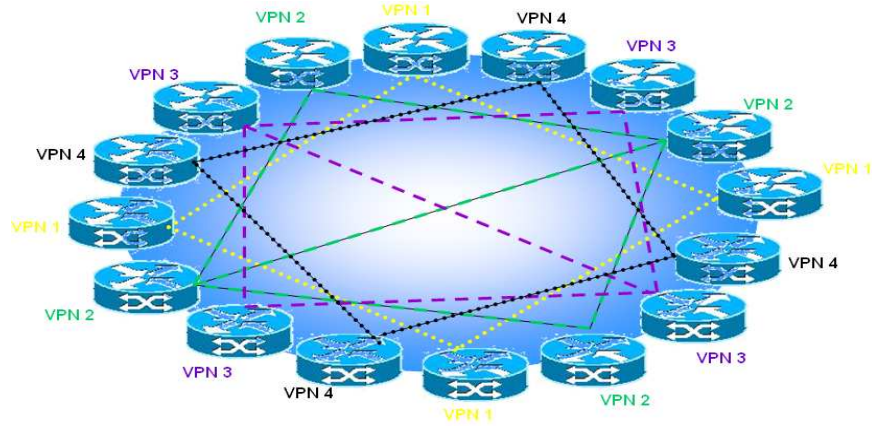


FIGURA 9. MODELO SUPERPUESTO.<sup>18</sup>

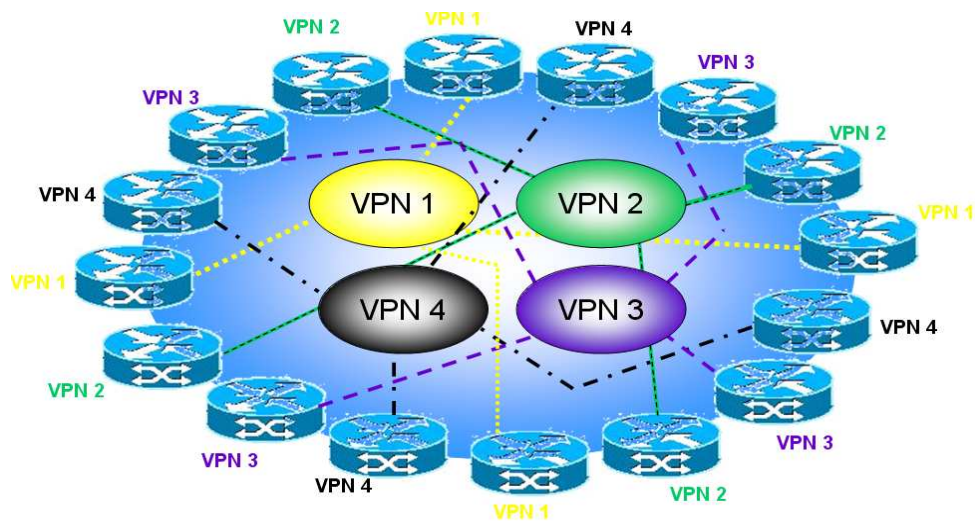


FIGURA 10. MODELO ACOPLADO<sup>19</sup>

<sup>18</sup> Referenciado de <http://www.bcenexxia.com/wholesale/network/index.html>  
Fecha Visita: 3 de Marzo de 2008

<sup>19</sup> Referenciado de <http://www.bcenexxia.com/wholesale/network/index.html>  
Fecha Visita: 3 de Marzo de 2008

En la figura # 9 se representa una comparación entre ambos modelos, la diferencia entre los túneles IP convencionales (o los circuitos virtuales) y los “túneles MPLS” (LSPs) está en que éstos se crean *dentro de la red*, basados en LSPs y no de extremo a extremo *a través de la red*.

Como conclusión, las ventajas que MPLS ofrece para VPNs IP son:

- Proporcionan un modelo “Acoplado” o “Inteligente”, ya que la red MPLS “sabe” de la existencia de VPNs (lo que no ocurre con túneles ni PVCs).
- Evita la complejidad de los túneles y PVCs.
- La provisión de servicio es sencilla: una nueva conexión afecta a un solo router, tiene mayores opciones de crecimiento modular.
- Permite mantener garantías QoS extremo a extremo, pudiendo separar flujos de tráfico por aplicaciones en diferentes clases, gracias al vínculo que mantienen el campo EXP de las etiquetas MPLS con las clases definidas a la entrada.
- Permite aprovechar las posibilidades de Ingeniería de tráfico para poder garantizar los parámetros críticos y la respuesta global de la red (Ancho de Banda, Retardo, fluctuación...), lo que es necesario para un servicio completo VPN.

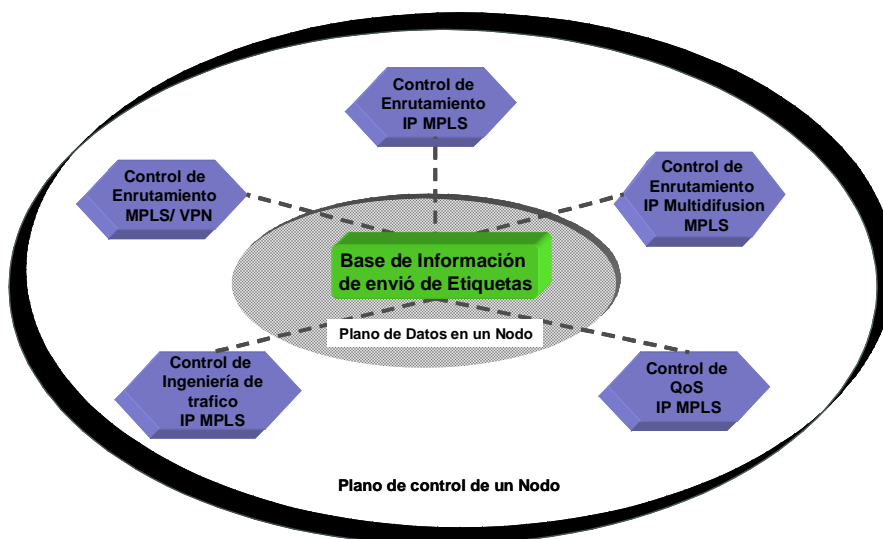


FIGURA 11. APLICACIONES DE MPLS.<sup>20</sup>

### 3 COMPARACIÓN ENTRE ENRUTAMIENTO CONVENCIONAL Y CONMUTACIÓN DE ETIQUETAS.

#### 3.1 ENRUTAMIENTO CONVENCIONAL.<sup>21</sup>

El reenvío tradicional de paquetes que realiza la Capa de Red, confía en la información que le proveen los protocolos de enrutamiento tales como **OSPF (Open Shortest Path First)** o **BGP (Border Gateway Protocol)** o a las rutas estáticas configuradas en cada router, para tomar la decisión de reenvío entre los mismos, es decir, que la decisión de reenvío está basada

<sup>20</sup> Referenciada de PEPELNJAK, Iván; GUICHARD, Jim  
Arquitectura MPLS y VPN  
Cisco System  
Pearson Educación

<sup>21</sup> <http://www.univalle.edu.co/~telecomunicaciones/tg-FernandoArevalo.pdf> - pag151  
Fecha visita: 15 de Noviembre de 2007

única y exclusivamente en la dirección IP de destino. Todos los paquetes para el mismo destino siguen el mismo camino a través de la red si no existen otros caminos de igual costo hacia un mismo destino, los paquetes podrían tomar uno solo o ambos pero este último traerá como consecuencia la degradación en la velocidad debido al proceso de balanceo de cargas entre los caminos.

### 3.1.1 DIFERENCIACIÓN DE PAQUETES POR SERVICIO.

El reenvío de paquetes convencional usa solamente la dirección IP de destino contenida dentro de la cabecera de Capa 3 del paquete sobre el cual se está tomando la decisión de reenvío. En la figura # 12, el enlace entre el router de Cali y el router de Bogotá transporta todo el tráfico de las ciudades de Pereira, Armenia y Manizales hasta el router de borde en la ciudad de Cartagena, esto lo hace sin importar qué tan cargado se encuentra el enlace Cali-Bogotá comparado con el trayecto Cali-Medellín-Bogotá que podría no estar saturado.

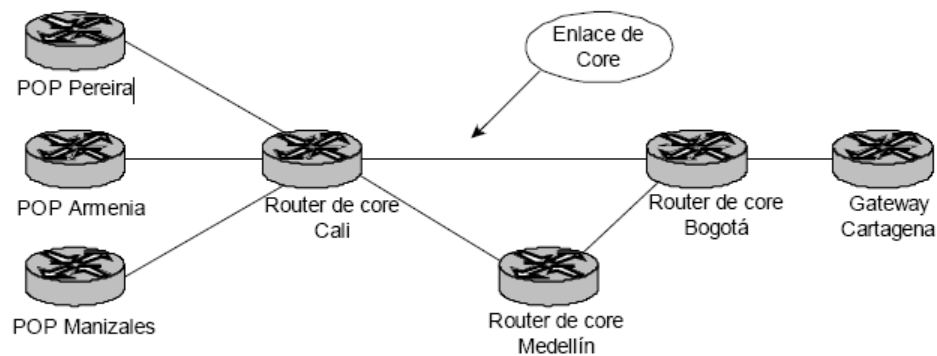


FIGURA 12. BACKBONE IP SIN POLITICAS DE CONTROL DE TRÁFICO.<sup>22</sup>

<sup>22</sup> [http://www.univalle.edu.co/~telecomunicaciones/tg\\_FernandoArevalo.pdf](http://www.univalle.edu.co/~telecomunicaciones/tg_FernandoArevalo.pdf)  
Fecha visita; 15 de Noviembre de 2007

Aunque existen varias técnicas para modificar el enrutamiento, éstas tienen que ser implementadas en todos los enrutadores del Backbone. Estas técnicas llamadas **PBR (Policy Based Routing)** pueden reducir considerablemente el desempeño de los enrutadores sobre los cuales se aplica ya que éstos deben analizar cada uno de los paquetes entrantes y con base en parámetros tales como la ocupación de sus posibles enlaces para reenvío tomar la decisión de la mejor ruta para enviar el paquete por este.

Por lo tanto podremos optimizar la red implementada en la figura # 12, si el router de Manizales pudiera especificar por cual enlace dentro del Backbone debiera pasar sus paquetes para así garantizar el nivel de servicio de todos o de algunos de sus paquetes.

### **3.1.2 INDEPENDENCIA Y CONTROL DEL REENVIO.**

En el reenvío de paquetes IP convencional, cualquier cambio en la información que controla el reenvío de paquetes es comunicado a todos los dispositivos que controlan el dominio de enrutamiento. Este cambio, siempre lleva consigo un periodo de convergencia mientras que la información es actualizada en toda la red.

De lo anterior es claramente deseable, 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.

### **3.1.3 PROPAGACION DE INFORMACION EXTRA DE ENRUTAMIENTO.**

En una red que trabaja con el mecanismo de reenvío convencional de paquetes, todos los dispositivos de enrutamiento, conocen la información de enrutamiento para alcanzar determinado destino. Esto es necesario, dado que cada paquete es enrutado basado en la dirección destino que está contenida en su cabecera de capa de Red, en el ejemplo de la figura # 12, tanto el router de Bogotá como el router de Medellín y Cali tienen que conocer información de enrutamiento para que los paquetes que hacen tránsito entre los routers de Pereira, Armenia o Manizales a Cartagena lleguen correctamente.

Este método tiene implicación de escalabilidad en términos de propagación de rutas y de memoria y CPU utilizadas en los enrutadores del Backbone, teniendo en cuenta que la única acción que se necesitaría sería reenviar un paquete desde el router Cartagena hasta los routers del otro extremo sin involucrar de manera alguna la toma de decisiones a nivel 3 en los routers del Backbone. Un mecanismo que permita a los dispositivos de enrutamiento conmutar los paquetes a través de la red, desde un router destino hasta un router final, sin analizar la dirección destino sería un objetivo a perseguir.

## **3.2 MPLS (CONMUTACION DE ETIQUETAS).**

MPLS es una tecnología que modifica el reenvío tradicional de paquetes que analiza la dirección IP de destino contenida en la cabecera de Capa de Red de cada paquete y por medio de la cual un paquete viaja desde la fuente hasta su destino final. Los protocolos de enrutamiento dinámicos o estáticos construyen una base de datos necesaria la cual se analiza para tomar una decisión hacia dónde va el paquete IP según la dirección de destino, dicha tabla se conoce como tabla de enrutamiento.

En el reenvío de paquetes usado por MPLS se puede apreciar una diferencia drástica con el reenvío original de paquetes dado que en éste

último entorno cada paquete es analizado en cada uno de los saltos de la red donde se chequea la cabecera Capa 3, y con base en la información de la misma se toma una decisión conforme a la tabla de enrutamiento de cada dispositivo de Capa 3.

### **3.2.1 MECANISMO DE IMPOSICIÓN DE ETIQUETAS EN MPLS.**

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 **FEC (Forwarding Equivalent Classes)**, 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 llamado 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 **LIB (Label Information Base)**. 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.

### **3.2.2 REENVIO DE PAQUETES MPLS.**

Los paquetes MPLS entran en la red a través de un LSR de entrada (Ingress LSR) y salen de ella a través de un LSR de salida (Egress LSR). El camino que toma un paquete de un lado a otro se denomina **LSP (Label Switched Path)**, éste path es construido a partir de la información que se toma de una FEC.

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 el mecanismo usado por ATM donde los **VPI/VCI (Virtual Path Identifier/Virtual Channel Identifier)** son cambiados por un par diferente cuando salen del Switch ATM, este proceso continúa hasta que el último LSR ha sido alcanzado.

Cada LSR mantiene dos tablas que soportan toda la información relevante al componente de reenvío MPLS. La primera conocida como **LIB (Label Information Base)** ó Base de datos de información de etiquetas, donde se guardan todas las etiquetas asignadas por este LSR y las correspondencias de esas etiquetas a otras recibidas desde algún LSR vecino. Las correspondencias de estas etiquetas son distribuidas por medio de protocolos para este uso específico.

La segunda tabla conocida como **LFIB (Label Forwarding Information Base)** y en la cual son mantenidas únicamente las etiquetas que están



siendo actualmente usadas por el componente de reenvío. Las LFIB son el equivalente MPLS de una matriz de conmutación en un Switch ATM.

La figura # 13 muestra cómo actúa el mecanismo de reenvío en una red MPLS desde que entra al dominio hasta que sale del mismo, se puede apreciar claramente cómo las etiquetas cambian entre los distintos LSRs, a la salida del último LSR se obtiene el paquete IP original de entrada.

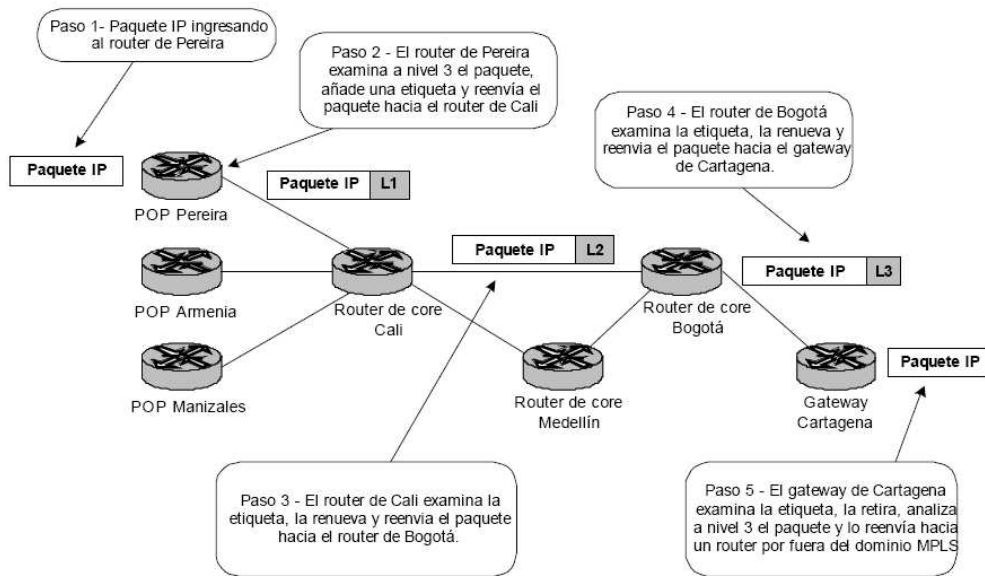


FIGURA 13. MECANISMOS DE IMPOSICION Y EXTRACCION DE ETIQUETAS MPLS Y REENVIO DE PAQUETES ETIQUETADOS.<sup>23</sup>

<sup>23</sup> [http://www.univalle.edu.co/~telecomunicaciones/tg\\_FernandoArevalo.pdf](http://www.univalle.edu.co/~telecomunicaciones/tg_FernandoArevalo.pdf) - pag164

Fecha visita: 15 de Noviembre de 2007

### **3.3 COMPARACION ENTRE TECNOLOGIAS.**

El surgimiento de MPLS ha sido un gran avance cuando hablamos de eficiencia en la toma de decisiones de enrutamiento y conmutación por parte de un enrutador. En la tecnología IP convencional, cuando un paquete viaja de un lugar a otro, cada enrutador analiza el encabezado capa 3 de cada paquete y se encarga de tomar la decisión de cuál será el próximo salto que el paquete realizará, asignando a éste una FEC, el cual finalmente será enviado a su destino final por medio de un algoritmo de enrutamiento; mientras que con MPLS no es necesario que el paquete sea examinado por cada enrutador debido a que cuando un paquete ingresa al dominio MPLS el primer enrutador conocido como LER asigna una etiqueta al paquete y ésta a su vez asignada a una FEC, entonces como podemos observar estos paquetes son etiquetados antes de ser enviados por el primer LER y como consecuencia de esto los siguientes enrutadores no tendrán la necesidad de examinar el encabezado de cada uno de los paquetes, sino que utilizarán la etiqueta para relacionarse con una tabla que indica cuál será el próximo enrutador al que el paquete debe ir, este enrutador se encargará de asignar una nueva etiqueta a dicho paquete, sustituyendo la que tenía anteriormente.

Entonces como es de esperarse con MPLS se generan algunas diferencias con respecto a la conmutación tradicional, las cuales son reflejadas en el siguiente cuadro:

	<b>Enrutamiento convencional</b>	<b>Conmutación de Etiquetas MPLS</b>
<b>Análisis Encabezado IP.</b>	El análisis del encabezado de los paquetes se realiza en cada uno de los Nodos.	El análisis del encabezado se hace cuando la etiqueta es asignada en el borde de la periferia de la Red.
<b>Soporte de Unicast y Multicast.</b>	Es necesaria la aplicación de diferentes algoritmos complejos para el envío.	Es necesario sólo un algoritmo de envío.
<b>Decisiones de Enrutamiento.</b>	Está basado en direcciones IP.	Se basa en parámetros como QoS.
<b>Base de Datos.</b>	La base de Datos se define con la tabla de enrutamiento IP.	La base de Datos en MPLS se define con la tabla de Clases Equivalentes de Envío FEC.
<b>Protocolos.</b>	Protocolos de enrutamiento IP.	Protocolos de Control que intercambian los contenidos de la tabla FEC entre los LSR.

**TABLA 1. COMPARACIÓN ENTRE ENRUTAMIENTO CONVENCIONAL Y CONMUTACIÓN DE ETIQUETAS.<sup>24</sup>**

<sup>24</sup> MPLS: Una Nueva Tecnología Aplicada a Internet 2  
Leonardo Jiménez Orozco  
Diciembre de 2000

### 3.3.1 COMPARACION ENTRE REDES ACTUALES DE TRANSPORTE QUE UTILIZAN SWITCHING Y ROUTING PARA CONMUTACION DE PAQUETES.

X.25	Frame Relay	ATM	MPLS
<b>Auge:</b> 1985 - 1996	<b>1992</b>	<b>1996</b>	<b>2003 - ACTUAL</b>
<b>Definición:</b> Envío y recepción de paquetes de datos. Conmutación de paquetes.	Retransmisión de Tramas	Conmutación de celdas y Circuitos.	Conmutación de Etiquetas
<b>Tamaño del Paquete Máximo:</b> 128 Octetos variable.	Paquetes de tamaño variable (4Kbs - 8Kbs)	Celdas de tamaño fijo 53 Bytes.	Etiquetas de tamaño fijo 32Bytes
<b>Rango de Caudal:</b> de 1,2 a 64Kbps y hasta 2Mbps (Problemas de congestión)	64Kbps a 2 Mbps	34Mbps Hasta 155.52 Mbps (SONET) y hasta 622 Mbps y más elevadas. La opción de celdas, permite el uso de nodos de conmutación a velocidades muy altas	Velocidades de Backbone F.O, 155.52 Mbps, 622 Mbps, Gbps
<b>Control de Errores:</b> El Control de Errores y control de flujo se hace tanto a nivel 2 como a nivel 3, en cada nodo se verifica el paquete para saber si ha llegado de forma correcta por intermedio de un identificador secuencial fijo (campo de control).	El control de errores y el control de flujo, pasan a ser responsabilidad de la terminal (a un nivel 2 superior), dejando a la red para transmisión y conmutación de dato solamente. Además, se implementan mecanismos de detección de errores (CRC y/o paridad) dentro del paquete.	No control de errores ni control de flujo. Para CBR y VBR control preventivo, para UBR descartar celdas cuando hay congestión y para ABR con la información de las RM's se ajusta la tasa continuamente. Sólo se hace CRC de cabecera.	
<b>Señalización:</b> Se define un canal lógico y utilizando el protocolo LAP B donde las tramas de información pueden ser de señalización.	La señalización se realiza en una conexión lógica separada de la conexión de datos del usuario (DLCI 0). Señalización explícita utilizando los bits de notificación BECN y FECN.	Se crean SVC's, para lo cual se usan los campos VPI/VCI.	Como se debe soportar Ingeniería de tráfico se definen dos protocolos de señalización: Reservation Protocol (RSVP) y Constraint-Based Routed Label Distribution Protocol.
<b>Conexión:</b> Previamente antes de usar el servicio es necesario realizar una conexión y liberarla cuando se deja de utilizar dicho servicio. No conexiones Multipunto, sólo punto a punto (DTE - DTE).	La Multiplexación y conmutación de conexiones lógicas tiene lugar a nivel 2 en vez de nivel 3, eliminando de esta manera un nivel entero de procesamiento.	Multiplexación estadística, Orientado a conexión, partición de red entre capa 2/capa 3; utilización optimización del ancho de banda de la red; balanceo de carga punto a punto.	Soporte a diferentes servicios y SLA's; Semejante a convertir a IP en orientado a conexión

X.25	Frame Relay	ATM	MPLS
<b>Auge: 1985 - 1996</b>	<b>1992</b>	<b>1996</b>	<b>2003 - ACTUAL</b>
<p><u>Parámetro de QoS:</u> Esta tecnología no ofrece ni garantiza ningún tipo de Calidad de Servicio</p>	<p>QoS se comienza a implementar en esta tecnología, donde para cada conexión es posible un nivel de calidad de servicio distinto, definido por ciertos parámetros: los parámetros CIR (Committed Information Rate) y EIR (Variación Máxima Permitida), donde al menos se garantiza el caudal. Redes donde se ofrece un servicio de mejor esfuerzo (<i>Best Effort</i>).</p>	<p>Se especifican cierto tipo de parámetros como Max. CTD (Máximo Retardo que puede sufrir una Celda), Peak to Peak CDV (Máxima fluctuación que puede sufrir el retardo en el envío de una celda = jitter) y CLR (Tasa Máxima aceptable de celdas perdidas). Se especifican también parámetros de tráfico como son PCR y CDVT (Máximo Caudal que Permite el VC y Tolerancia (pequeña) respecto a este caudal), SCR y BT (Caudal Medio Máximo permitido y Tolerancia a Ráfagas (grande) respecto a ese caudal y MCR (Caudal Mínimo que la red considera que puede asegurar en ese VC).</p>	<p>Reserva de Recursos (RSVP) y Retardo Máximo para un flujo de Información, Ruteo Basado en Restricciones (CBR), Soporte de Clases de Servicio (Priorización de Tráfico). Además, se aplican LSA's (Acuerdos de Nivel de Servicio). Servicios Diferenciados (DiffServ). Recuperación de la red MPLS para impedir caídas por fallos de conectividad.</p>
<p><u>Asociación lógica entre usuarios:</u> Se hace estableciendo Circuitos Virtuales Permanentes (CVP) y/o CV's Conmutados.</p>	<p>Se configuran también Circuitos Virtuales Permanentes (CVP) y/o CV's Conmutados, donde se pueden añadir circuitos sin establecer nuevas líneas ni modificar el número de interfaces en los routers y los caudales se pueden modificar por configuración de los conmutadores.</p>	<p>Se hace utilizando la interfaz UNI (conmutador - host) donde se crean Trayectos Virtuales (VP's) y Canales Virtuales (VC's) que son asignados durante la conexión. Para las conexiones internas se usa NNI (entre dos conmutadores). Un VC si lo crea el operador es un PVC y si lo crea un protocolo de señalización es un SVC.</p>	<p>Dentro del core, que es donde se implementa MPLS, son creados LSP's que pueden ser de tipo automáticos o explícito. (Definidos por el operador). Además se pueden crear túneles (VPN's) LSP's.</p>
<p><u>Costo:</u> relativamente bajo comparada con sus predecesores, el valor subía al aumentar las velocidades de los sistemas intermedios.</p>	<p>Costos dependen de CIR, velocidad de línea y distancia (provincial, nacional, internacional), Costo de infraestructura y puesta en marcha relativamente bajos. En contrapartida, el costo de un circuito virtual es inferior al de un enlace dedicado. La mayoría de las implementaciones de FR son de bajo costo para conexiones de líneas alquiladas y otras redes de datos. Al permitir el servicio acceso por demanda, reduce la transmisión de ráfagas de datos.</p>	<p>Costo de despliegue y mantenimiento de equipamiento elevado.</p>	<p>Relativamente bajo, ya que el valor sube al aumentar capacidad de equipos (mejoras) o al realizar algún cambio dentro de la red.</p>

X.25	Frame Relay	ATM	MPLS
<b>Auge: 1985 - 1996</b>	<b>1992</b>	<b>1996</b>	<b>2003 - ACTUAL</b>
<p><b>Aplicaciones:</b> Es una tecnología que sirve para datos de información, teleproceso y para mainframe en terminales remotos (redes de cajeros automáticos). Transaccionales de baja y media velocidad, en particular para redes centralizadas en las que muchos puntos se comunican con una instalación central.</p>	<p>Se desarrolló para proporcionar un servicio de calidad en RDSI. Para tráfico de datos que no necesite comunicación en tiempo real. Aplicaciones interactivas y transferencia de aplicaciones masivas de datos (Audio y Videoconferencias). Interconexión de oficinas, Consultas a bases de datos y Consultas de inventarios.</p>	<p>Redes troncales, tráfico de datos que soliciten comunicación en tiempo real no tan exigente, dentro del ámbito empresarial, Interconexión de Redes de Área Local (LAN) que requieran un gran ancho de banda, Interconexión de PABX, Acceso a Internet e InfoVía de alta velocidad, Videoconferencia, Voz en entorno corporativo con compresión y supresión de silencios, Distribución de Audio/Vídeo.</p>	<p>Tráfico de datos en tiempo real. (Datos Multimedia)</p>
<p><b>Control de Congestión:</b> Se realiza por medio del control de flujo, donde si se detectaba exceso de tráfico en algún nodo, se detenía la fuente. (Notificación y Descarte) Aumentar la velocidad de transmisión generaría congestión en las troncales. Los procedimientos de usuario y datos utilizan los mismos medios y se producían problemas de congestión.</p>	<p>Se usan técnicas estadísticas nunca determinísticas de Notificación y Descarte mediante los identificadores FECN, BECN Y DE. Traffic Shapig y Traffic Policing. (Plano del Usuario) UIT-T Serie 1.3xx. Plano de datos de control y planos de datos del usuario están separados, luego la congestión disminuye.</p>	<p>Dentro de la cabecera de una celda ATM se dispone del campo PTI (Identificar de Tipo de Carga) que, según la configuración de sus bits, se encarga de indicar situaciones de congestión. Además se utiliza el bit CLP (Cell Loss Priority), para marcar las celdas que pueden ser descartadas en caso de congestión. También se utilizan alertas de las características de la red (Traffic Shapig y Traffic Policing).</p>	<p>Ingeniería de Tráfico (Centralizada y Distribuida), Orientar el tráfico hacia donde hay más recursos, Balance de carga, Obtener estadísticas del uso de un determinado LSP, Análisis de los "cuellos de botella" y Proyectar la futura expansión de la red.</p>
<p><b>Servicios Ofrecidos:</b> Establecimiento de conexiones (reinicio, liberación y re arranque de las conexiones), intercambio de datos, intercambio de datos acelerados.</p>	<p>El servicio que suelen ofrecer los operadores con esta tecnología es Permanent Virtual Circuits (PVC's), utilizado típicamente para dar servicios de comunicaciones dentro de una corporación.</p>	<p>CBR (Constant Bit Rate), VBR (Variable Bit Rate), UBR (Unspecified Bit Rate), ABR (Available Bit Rate)</p>	<p>Flexibilidad, Escalabilidad, Accesibilidad, Eficiencia, QoS y ToS, Monitoreo y SLA's. Uno de los puntos más interesantes es su fusión con Ipsec. No restringido a ninguna tecnología de capa 2 (PPP, LAN's, ATM o FR).</p>
<p><b>Topología:</b> Punto a Punto (Tráfico Unidireccional o Bidireccional)</p>	<p>Punto a Punto (Tráfico Unidireccional o Bidireccional).</p>	<p>Punto a Punto, Multipunto (Punto a Multipunto -simplex- y Multipunto a Punto). Conmutadores VP's y VC's</p>	<p>Punto a Punto, Multipunto (Punto a Multipunto -simplex- y Multipunto a Punto). Para VPN's Hubs and Spoke o Full Mesh. Conmutadores LER,'s LSR's</p>

X.25	Frame Relay	ATM	MPLS
<b>Auge: 1985 - 1996</b>	<b>1992</b>	<b>1996</b>	<b>2003 - ACTUAL</b>
<p><u>Seguridad:</u> Todos los recursos son compartidos (No hay seguridad). Implementación de protocolos de Cifrado.</p>	<p>Enrutamiento y separación de tráfico. Ocultación del núcleo de la estructura. Resistencia ante ataques. Cifrado de datos convencional. Servicios como Únicamente líneas privadas pueden acceder a la red. Se requieren contraseñas para acceder a la red. Una utilidad de exceso de tiempo desconecta estaciones inactivas.</p>	<p>Enrutamiento y separación de tráfico. Ocultación del núcleo de la estructura. Resistencia ante ataques. Cifrado de datos robusto.</p>	<p>Resistentes al Spoofing, a los ataques de Denegación del Servicio (DoS). Se puede implementar MPLS con Ipsec. Separa el routing del forwarding</p>
<p><u>Como Migrar a MPLS</u></p>	<p>Etiqueta contenida en el Campo DLCI</p>	<p>Etiqueta en el Campo VPI/VCI.</p>	<p>Se insertan etiquetas a los paquetes y se agrupan en FEC's.</p>
<p><u>Gestión de Red:</u> Proveedor</p>	<p>Cliente</p>	<p>Cliente</p>	<p>Cliente</p>
<p><u>Desventajas:</u> Esta tecnología impone limitaciones de velocidad y sobrecarga de procesamiento, no se puede predecir el estado de la red.</p>	<p>Se usa como tecnología de acceso e interconexión de LAN's a alta velocidad y es necesaria la disponibilidad de redes de alta calidad. Posee problemas de broadcast en la conexión de redes locales con conexiones a redes WAN Extensas. Interoperabilidad y congestión siguen latentes en esta tecnología. Es necesaria la disponibilidad de redes de alta calidad, líneas digitales.</p>	<p>Dificultad para escalar la red a nuevas interconexiones, lo que las hace costosas de implementar.</p>	<p>Al utilizar nuevos protocolos de distribución de etiquetas la probabilidad de presentarse asociación de etiqueta sin información de encaminamiento es muy probable. Añadir más mensajes dentro del sistema aumenta la complejidad.</p>

TABLA 2. COMPARACION ENTRE TECNOLOGIAS.<sup>25</sup>

<sup>25</sup> Referenciado de Tesis de Grado "investigación de la Arquitectura MPLS, ventajas y servicios".  
Gina Marcela Pubiano Laiton; Humberto David Urbano González  
Universidad de los Andes  
Bogotá, 2006

### 3.3.2 NUEVOS PROTOCOLOS.<sup>26</sup>

Para que MPLS pueda desempeñar mejor su función se han definido un conjunto de Protocolos que lo apoyan, **RSVP (Resource Reservation Protocol)** y **LDP (Label Distribution Protocol)**. El primer protocolo RSVP está orientado al control de la red, permitiendo que los programas que se han de ejecutar en Internet puedan obtener el nivel de calidad de servicio que sus flujos de datos requieran, caracterizando esos flujos de datos mediante sesiones que se procesarán de forma independiente. Los paquetes son intercambiados entre los dispositivos que soportan este protocolo con la información propia del programa que los genera junto con la información sobre la reserva de recursos que ha de realizarse durante toda la trayectoria que han de seguir, los dispositivos que ejecutan el proceso de RSVP utilizan un conjunto de mensajes con lo que logran su propósito.

LDP, es también uno de los principales componentes de MPLS ya que le proporciona los mecanismos adecuados para que los routers de conmutación de etiquetas puedan localizar a sus homólogos y establecer la comunicación con ellos, este protocolo contiene los procedimientos con los que se establecen las rutas virtuales usadas en la conmutación de etiquetas, es decir, es el método que se utiliza para distribuir la información con la que se pueden establecer los circuitos virtuales ya que caracteriza el enlace de los conmutadores, para conseguirlo utiliza una serie de mensajes que habilita a estos dispositivos a descubrirse inicialmente y mantener el contacto posteriormente en una comunicación orientada a la conexión utilizando normalmente TCP.

Como complemento a estos protocolos, existen actualmente extensiones desarrolladas que se utilizan como mecanismos de señalización para el tráfico de núcleo en la conmutación de etiquetas. Protocolos como CR-LDP y RSVP-TE son dos medios diferentes para alcanzar el mismo fin, si RSVP-TE propone como extensión del protocolo RSVP para soportar distribución de etiquetas y rutas explícitas, CR-LDP es una ampliación de LDP para que soporte QoS y rutas explícitas.

---

<sup>26</sup> [www.danysoft.com](http://www.danysoft.com)  
Juan Blázquez Martín  
Diciembre de 2005  
Fecha visita: 10 de Mayo de 2008



La necesidad de protocolos de señalización surge cuando se requiere en MPLS la configuración de rutas explícitas o túneles virtuales que tengan similitud entre ambos protocolos, debido a esta necesidad se han generado dos bandos diferentes en los fabricantes de tecnologías en cuanto a conectividad ya que se apoya a uno u otro dispositivo de interconexión como soporte MPLS, si bien el grupo de trabajo MPLS de IETF está sopesando ambas alternativas, parece que el protocolo de señalización RSVP-TE está tomando preferencia entre los fabricantes y aquellos que apostaron inicialmente por el protocolo CR-LDP están incorporando RSVP-TE ya que se acomoda mejor a la "Ingeniería de tráfico", es decir, a los mecanismos que permiten seleccionar una u otra ruta en función de obtener el mejor aprovechamiento del ancho de banda y recursos de conexión disponibles.

### **3.4 IMPORTANCIA DE MPLS.**

MPLS ha sido una verdadera revolución ya que se presenta como la evolución de la arquitectura IP sobre ATM, es decir, reduce significativamente el procesamiento de paquetes que se requiere cada vez que un paquete ingresa a un enrutador en la red, ésto mejora el desempeño de los dispositivos y el desempeño de la red en general, y por esto se dice que es la solución definitiva al encaminamiento rápido de paquetes. El modo de trabajar de este estándar asimila uniformemente las funciones del nivel de enlace y de red. Sin embargo, hay que encuadrar este protocolo en donde realmente va a marcar el hito y es en la manera de construir redes y administrarlas, lo que abre nuevas expectativas en la obtención de estos servicios.

Su implementación más inmediata está en la gestión del tráfico de red de enlaces troncales, ya que las resuelve de forma más eficiente por velocidad y posibilidades de administración, así es capaz de desviar por iniciativa propia el tráfico de rutas congestionadas por otros caminos más despejados, aunque estos no sean la trayectoria más corta, teniendo el administrador del sistema siempre la posibilidad de establecer rutas obligatorias o restringidas, que proporcionan, a esas últimas la posibilidad de dedicar determinados enlaces de forma exclusiva para servicios o clientes especiales a los que se

les puede garantizar la calidad de la conexión en cuanto a fluctuación, ancho de banda o retardo, por ejemplo, los informes estadísticos sobre tráfico se convierten en una poderosa herramienta para el análisis de la distribución de los recursos de red desplegados y en la anticipación de necesidades para su adecuada planificación.

Los administradores de red saben que las redes basadas en enrutamiento TCP/IP no pueden ofrecer las garantías adecuadas para la calidad de servicio que se demanda, con MPLS el reto de los proveedores de servicios será la de convencer a los clientes de que tienen la oportunidad de conectarse como si trabajaran sobre redes con enrutamiento IP convencional pero que no están construidas sobre routers y que pueden obtener garantías plenas de disponer del nivel de calidad de servicio que requieran a precios muy competitivos.

Por definición MPLS tiene que soportar varios protocolos además de IP, tanto en su versión 4 como en la denominada versión 6, así que tiene que dar soporte a IPX y AppleTalk, y en lo que se refiere a la capa de enlace tendrá que ser capaz de trabajar sobre Ethernet, Token Ring, FDDI, ATM, Frame Relay y PPP, igualmente resulta esencial que pueda trabajar con cualquier protocolo de control de capas superiores.

### **3.5 ETIQUETACION FRENTE A ENCAPSULAMIENTO<sup>27</sup>**

MPLS no encapsula la información sino que la etiqueta, cuando se encapsula un protocolo en otro se construye una  $PDU_{N-1}$  del protocolo que encapsula utilizando la información de la  $PDU_N$  del protocolo encapsulado, es decir, se adapta al tamaño de la  $PDU_N$  de la capa superior y se prepara para ser enviada como una  $PDU_{N-1}$ . MPLS toma la PDU de red y la transmite intacta, únicamente coloca una redundancia MPLS entre esta cabecera y la cabecera de enlace; esto significa que si el protocolo de red

---

<sup>27</sup> <http://ManoloDominguez.com>

Soporte de Garantía de Servicio (GoS) sobre MPLS mediante Técnicas Activas  
Manolo Domínguez Dorado  
España, 2.004  
Fecha visita: 5 de Septiembre de 2008

tiene unas tramas de tamaño fijo y pequeño, MPLS transmitirá con esas características; si la capa de red es IP, por ejemplo, las tramas serán variables y potencialmente grandes y así serán transmitidas por MPLS.

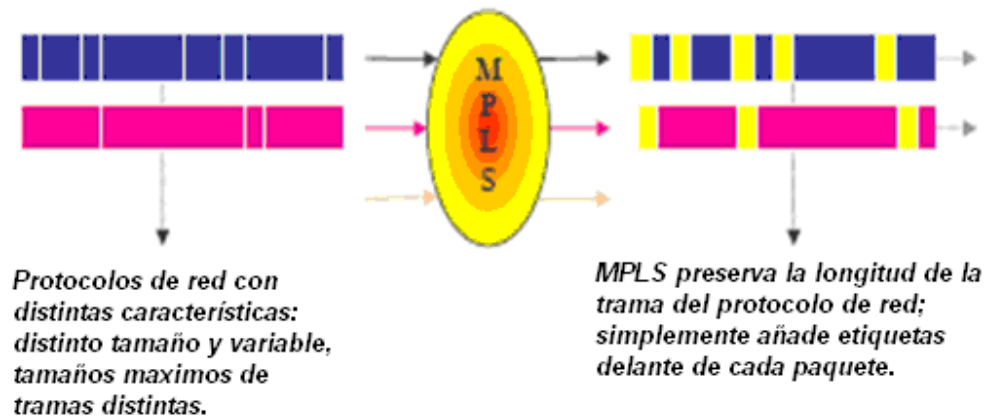


FIGURA 14. ETIQUETACIÓN FRENTE A ENCAPSULAMIENTO.<sup>28</sup>

## 4 COMPONENTES DE UNA RED MPLS.

Se le llaman enrutadores de conmutación de etiquetas o LSR (Label Switch Router) a cualquier dispositivo que esté involucrado en el proceso de distribución de etiquetas y que pueda reenviar paquetes. La función básica del proceso de distribución de etiquetas es poder permitir a cada LSR que distribuya sus vínculos de etiquetas a otros LSRs dentro de la red MPLS.

Existen varios tipos de LSRs que se diferencian por las funciones que cada uno de ellos desempeña, entre ellos están el Edge-LSR, ATM-LSR y ATM

<sup>28</sup> <http://ManoloDominguez.com>

Soporte de Garantía de Servicio (GoS) sobre MPLS mediante Técnicas Activas  
Manolo Domínguez Dorado  
España, 2.004  
Fecha visita: 5 de Septiembre de 2008

Edge-LSR, la diferencia entre ellos es puramente a nivel de arquitectura, es decir el mismo dispositivo puede ejercer cualquiera de los roles descritos.

El Edge-LSR es un router que realiza la imposición o la remoción de las etiquetas en los límites de la red MPLS, la labor de imposición consiste en añadir al paquete original una etiqueta o un conjunto de etiquetas en el punto de ingreso a la red (en el sentido fuente - destino). La función de extracción es lo contrario y consiste en quitar la última etiqueta del paquete en el punto de egreso antes de ser reenviada al siguiente host externo a la red MPLS.

Cualquier LSR que esté contiguo a un nodo no MPLS es considerado un Edge-LSR. Sin embargo, si ese LSR tiene alguna interfaz conectada a un ATM-LSR, entonces toma el nombre de ATM Edge-LSR. Los Edge-LSR usan la tabla de reenvío IP tradicional para etiquetar paquetes IP o para remover las etiquetas de los mismos antes de ser enviados a un nodo no MPLS.

Un ATM-LSR es un switch ATM que puede actuar como un LSR, es decir, es un dispositivo que realiza enrutamiento IP y asignación de etiquetas en el componente de control, y reenvío de paquetes de datos usando los mecanismos de conmutación de paquetes propios de ATM, para ésto usa su matriz de conmutación ATM como su **LFT (Label Forwarding Table)**.

A continuación se explican algunos términos que hacen parte de los componentes de una Red MPLS que serán indispensables para su entendimiento.

**Dominio MPLS:** Conjunto de Nodos con funcionalidad MPLS y que pertenecen a un mismo Dominio de Encaminamiento IP, nodos adyacentes.

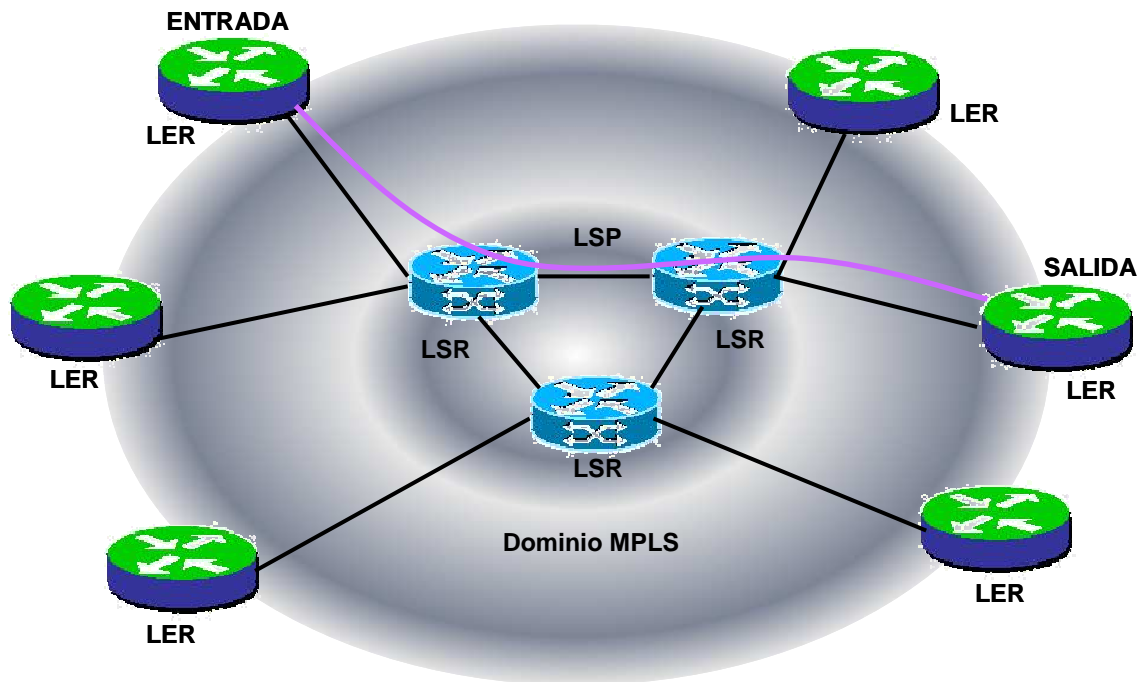


FIGURA 15. COMPONENTES DEL DOMINIO MPLS.<sup>29</sup>

**LSR (Label Switched Router):** Un LSR es un enrutador especializado en el envío de paquetes etiquetados por MPLS. Es un enrutador de alta velocidad en el corazón de la red MPLS, el cual debe soportar los protocolos de enrutamiento IP y participa en el establecimiento de los LSP (Label Switched Paths) utilizando el protocolo de señalización de etiquetas adecuado, permite conmutación de tráfico de datos a alta velocidad basado en los caminos establecidos.

Un LSR es como un router (enrutador) que funciona a base de intercambiar etiquetas según la tabla de envío. Esta tabla se construye a partir de la información que proporciona la componente de control, cada entrada de la

<sup>29</sup> Referenciado de Alta Velocidad y Calidad de Servicio en Redes IP  
García Tomas Jesús, Raya Cabrera Jose Luis, Raya Víctor Rodrigo  
Alfa omega, 2002  
Fecha visita: 15 de Enero de 2008

tabla contiene un par de etiquetas entrada/salida correspondientes a cada interfaz de entrada que se utiliza para acompañar a cada paquete que llega por esa interfaz y con la misma etiqueta (en los LSR exteriores sólo hay una (1) etiqueta, de salida en el de cabecera y de entrada en la cola). En la figura # 16 se observa el funcionamiento de un LSR del núcleo MPLS, donde un paquete llega al LSR por la interfaz 3 de entrada con la etiqueta 51, el LSR le asigna la etiqueta 25 y lo envía por la interfaz 5 de salida al siguiente LSR, de acuerdo con la información de la LIB.

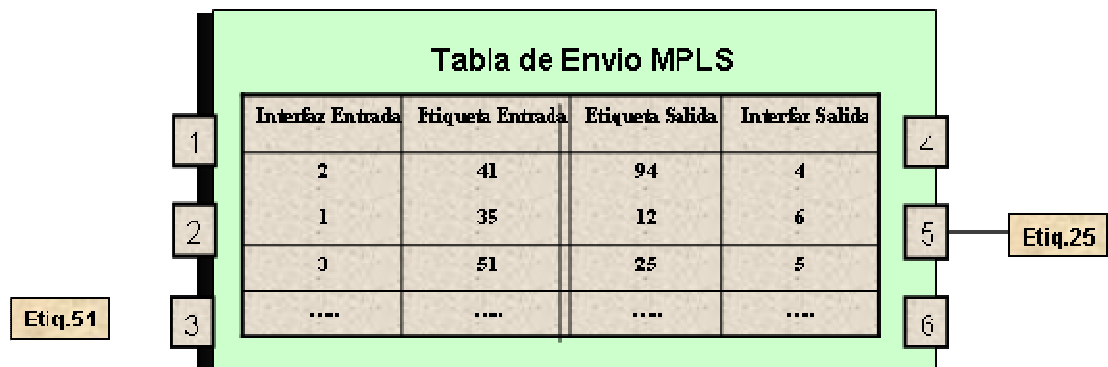


FIGURA 16. ENVÍO DE UN LSR.<sup>30</sup>

A medida que el paquete pasa por cada LSR a través de la red MPLS, estos LSR intercambian la etiqueta entrante por otra de salida, este mecanismo es muy similar al de ATM cuando el VPI/VCI se intercambia por un par de VPI/VCI diferente cuando sale del switch ATM.

El algoritmo de intercambio de etiquetas requiere la clasificación de los paquetes a la entrada del dominio MPLS para poder hacer la asignación por el LSR de cabecera. En la figura # 17 el LSR de entrada recibe un paquete normal (sin etiquetar) cuya dirección de destino es 212.95.193.1. El LSR consulta la tabla de encaminamiento y asigna el paquete a la clase FEC definida por el grupo 212.95/16. Así mismo, este LSR le asigna una etiqueta

<sup>30</sup> Referenciado de Alta Velocidad y Calidad de Servicio en Redes IP  
 García Tomas Jesús, Raya Cabrera José Luis, Raya Víctor Rodrigo  
 Alfa omega, 2002

(con valor 5 en el ejemplo) y envía el paquete al siguiente LSR del LSP. Dentro del dominio MPLS los LSR ignoran la cabecera IP; solamente analizan la etiqueta de entrada, consultan la tabla correspondiente (tabla de Conmutación de Etiquetas) y la reemplazan por otra nueva, de acuerdo con el algoritmo de intercambio de etiquetas. Al llegar el paquete al LSR de cola (salida), ve que el siguiente salto lo saca de la Red MPLS; al consultar ahora la tabla de conmutación de etiquetas quita ésta y envía el paquete por *routing* convencional.

Como se ve, la identidad del paquete original IP queda enmascarada durante el transporte por la Red MPLS, que no “mira” sino las etiquetas que necesita para su envío por los diferentes saltos LSR que configuran los caminos LSP. Las etiquetas se insertan en cabeceras MPLS, entre los niveles 2 y 3. Según las especificaciones de la IETF, MPLS debía funcionar sobre cualquier tipo de transporte: PPP, LAN, ATM, Frame Relay, etc. Por ello, si el protocolo de transporte de datos contiene ya un campo para etiquetas (como ocurre con los campos VPI/VCI de ATM y DLCI de Frame Relay), se utilizan esos campos nativo para etiquetas. Sin embargo, si la tecnología de nivel 2 empleada no soporta un campo para etiquetas, (por ejemplo, enlaces PPP o LAN), entonces se emplea una cabecera genérica MPLS de 4 octetos, que contiene un campo específico para la etiqueta y que se inserta entre la cabecera del nivel 2 y la del paquete (nivel 3).

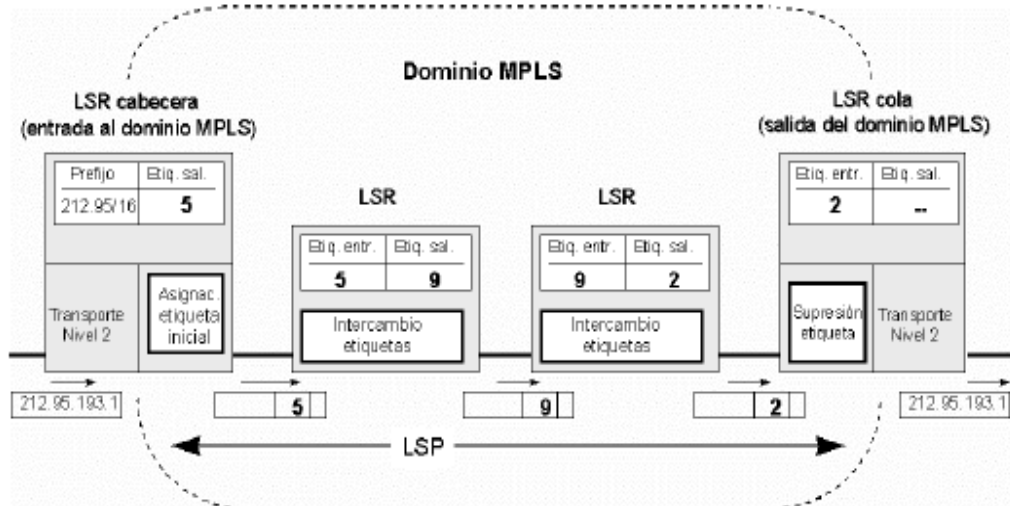


FIGURA 17. EJEMPLO DE ENVÍO DE UN PAQUETE POR UN LSP.<sup>31</sup>

**LER (Label Edge Router):** Es un dispositivo que opera en el borde de la red de acceso y el dominio MPLS, el cual se encarga de insertar las etiquetas basándose en la información de enrutamiento.

Un LER soporta múltiples puertos conectados a redes distintas (como pueden ser ATM, Frame Relay y Ethernet) y envía este tráfico a través de la red MPLS después de haber establecido un LSP (camino) utilizando un protocolo de distribución de etiquetas, también se encarga de retirar las etiquetas y distribuir el tráfico a las redes de salida.

<sup>31</sup> MPLS "Multiprotocol Label Switching": Una Arquitectura de Backbone para la Internet del Siglo XXI.  
 María Sol Canalis  
 Dpto Informática Universidad Nacional del Nordeste.  
 Argentina



**LSP (Label Switched Path):** Se llama así a cada uno de los caminos unidireccionales que un paquete toma para ir desde un LER de entrada a un LER de salida, pasando por uno o varios LSRs, es decir es un circuito virtual que siguen por la red todos los paquetes asignados a la misma **FEC** ("Forwarding Equivalent Class", Clase de Envío Equivalente). 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 LER de entrada y cola se encuentran en el exterior del dominio MPLS, el resto de dispositivos entre ambos son LSRs interiores del dominio MPLS.

**FEC (Forward Equivalent Class):** Conjunto de paquetes que tienen los mismos requerimientos para su transporte y son transmitidos por una misma ruta, estos paquetes reciben un mismo trato en MPLS, un FEC está formado por todos los paquetes a los que se le puede aplicar una etiqueta específica y sólo se hace cuando un paquete ingresa a la red. Los FEC se basan en requerimientos de servicio para un conjunto dado de paquetes o simplemente para un prefijo de dirección.

Cada LSR construye una tabla que especifica como será enviado cada paquete, esta tabla se llama **LIB (Label Information Base)**. Algunos paquetes pueden pertenecer a los mismos puntos finales pero también pueden pertenecer a diferentes FECs.

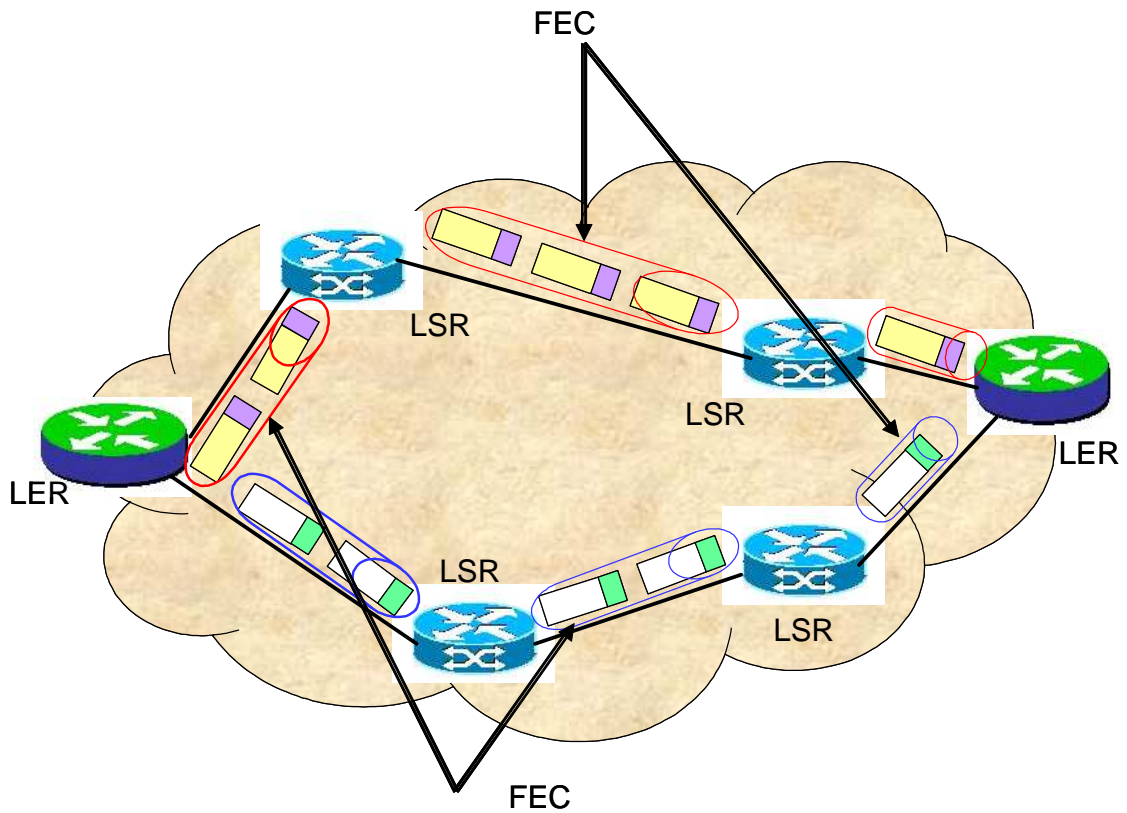


FIGURA 18. FEC (FORWARD EQUIVALENT CLASS) DE UNA RED.<sup>32</sup>

El FEC de los paquetes se puede especificar por varios parámetros, tales como:

- Dirección IP destino o Fuente.
- ID de Protocolo.
- Etiqueta de Flujo IPv6.
- Puerto Destino o Fuente
- Punto de código de servicios diferenciados.

<sup>32</sup> Referenciado de Alta Velocidad y Calidad de Servicio en Redes IP  
García Tomas Jesús, Raya Cabrera José Luís, Raya Víctor Rodrigo  
Alfa omega, 2002

**Label (Etiqueta):** Identificador corto de longitud fija el cual es utilizado para identificar un FEC, una etiqueta identifica la trayectoria que un paquete debe seguir, sólo mantiene significado local en cada interfaz.

Para MPLS en modo trama, las etiquetas se insertan antes de la cabecera IP, mientras que para ATM es en modo Celda, donde la etiqueta es la misma dirección VPI/VCI y para Frame Relay la etiqueta es el DLCI. En la figura # 19 se representa el esquema de los campos de la cabecera genérica MPLS y su relación con las cabeceras de los otros niveles.

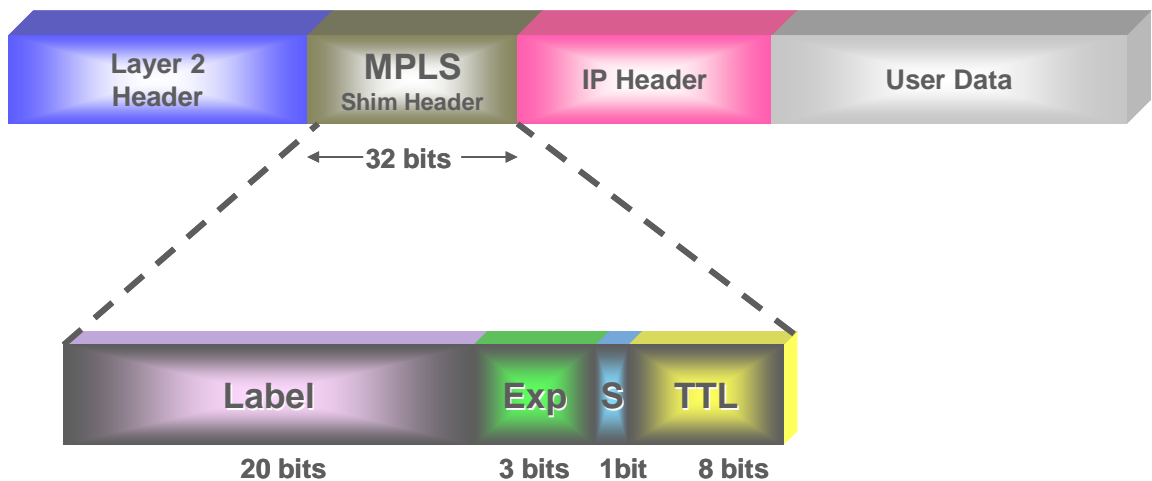


FIGURA 19. ETIQUETA MPLS.<sup>33</sup>

**Shim Header MPLS:** Es el campo que se interpone entre los encabezados de Capa 2 y el encabezado IP (capa 3), este campo es de 32 bits y se divide de la siguiente manera:

- **Label:** Es la etiqueta MPLS, la que da el nombre al protocolo. Cuando un paquete ingresa al dominio MPLS se le asigna una

<sup>33</sup> Referenciado de Fundamental of Multiprotocol Label Switching MPLS  
Siemens, 2002  
Fecha visita: 15 de Enero de 2008

etiqueta que marcará el resto de su viaje a través de la red MPLS, este campo consta de 20 bits que es el valor de la etiqueta MPLS.

- **EXP (3):** Este campo consta de 3 bits, se conoce como CoS (Class of Service) y se usa para identificar la clase de servicio.
- **S (Bottom of Stack):** Este campo consta de 1 bit y se usa para indicar si existe una pila de etiquetas (Label Stack) lo cual será indicado con un valor de uno (1). Si la etiqueta es la única que está en la pila entonces indicará un valor de Cero (0).
- **Label Stack (Pila de Etiquetas):** MPLS soporta la colocación de varias etiquetas a un sólo paquete. Estas etiquetas se organizan en una pila de etiquetas o Label Stack y su principal aplicación es cuando se puede controlar la trayectoria de un paquete sin que sea necesario especificar los enrutadores intermedios, ésto se logra con la realización de túneles por los cuales estos paquetes viajan a través de enrutadores intermedios que permiten avanzar múltiples segmentos, este proceso es conocido como tunneling.
- **TTL (Time TO Live):** Este campo consta de 8 bits e indica el número de nodos recorridos por los que el paquete ha pasado hasta llegar hasta su destino. Este valor es tomado del encabezado IP a la entrada del LSP y a la salida de éste mismo.

Las cabeceras MPLS permiten cualquier tecnología o combinación de tecnologías de transporte, con la flexibilidad que ésto supone para un proveedor IP a la hora de extender su red. Con las etiquetas se pueden realizar dos tipos de operaciones: Una es el cambio del valor de la etiqueta en cada uno de los nodos (Label Swap) y la otra es el cambio de varias etiquetas que identifican el mismo FEC por una única (Label Merging).

La arquitectura MPLS se divide en dos componentes: El componente de Reenvío (también llamado Data Plane (Plano de Datos)) y el componente de control (también llamado Control Plane (Plano de Control)).

## **4.1 COMPONENTE DE CONTROL.**

El componente de Control es el que se encarga de crear y mantener la información de etiquetas asignadas entre un grupo de LSR interconectados, por ésto cada nodo de MPLS utiliza los protocolos de encaminamiento como lo son: OSPF, IS-IS y BGP-4, realizando un intercambio de información con los enrutadores para la construcción y mantenimiento de las tablas de encaminamiento. El componente de control es responsable de configurar los LSP entre rutas IP y de mantener actualizado el sistema cuando existe algún cambio en la topología de la red.

La idea es separar estos dos componentes, es que cada uno de éstos se puede implementar y modificar independientemente, teniendo en cuenta que el componente de control debe mantener la comunicación con el componente de envío mediante el envío de paquetes y la actualización de información.

## **4.2 COMPONENTE DE ENVÍO.**

Este componente es el encargado del transporte de paquetes entre dos LSR o entre un enrutador que se encuentra fuera del dominio MPLS y que no posee etiquetas (LER). En este componente se manejan dos tipos de bases de datos de etiquetas (Label Forwarding Table) y en el caso de los Enrutadores de Borde (LER) está la tabla de conmutación IP tradicional de todo enrutador (Forwarding Information Base), donde la primera se utiliza para el transporte de paquetes que contiene etiquetas y la segunda lo que permite es transportar paquetes de datos desde o hacia dispositivos que no manejan etiquetas.

Así que el componente de envío se basa en el intercambio de etiquetas, es decir cuando un paquete llega al Componente de Envío, éste se encarga de examinar la información que la etiqueta del paquete contiene y busca en la tabla de envío para tomar la decisión de encaminamiento, es decir, busca para cada paquete la entrada y dirige el paquete desde la interfaz de entrada a la de salida a través del correspondiente hardware de conmutación.

La figura # 20 muestra en un esquema la arquitectura de un nodo MPLS realizando el enrutamiento de un paquete IP, y en ésta se detalla la relación entre cada uno de los bloques dentro del mismo nodo y también con nodos adyacentes.

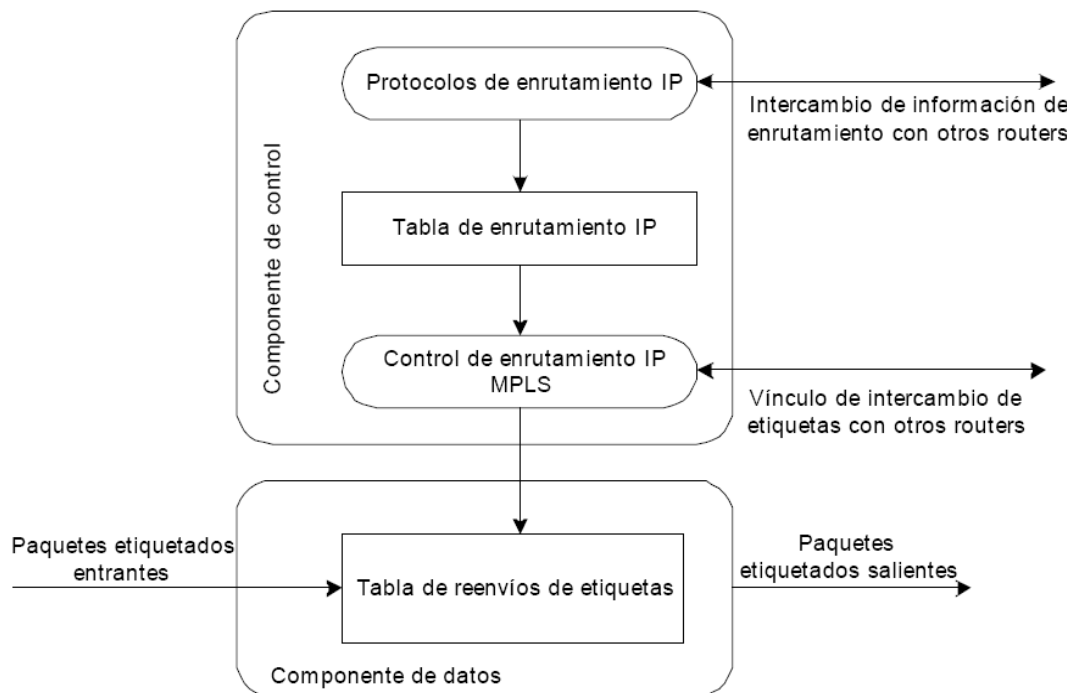


FIGURA 20. ARQUITECTURA DE UN NODO MPLS.<sup>34</sup>

Como se observa en la figura # 20, cada nodo MPLS también es router IP en la componente de control, ya que ejecuta uno o varios protocolos de enrutamiento (o depende de rutas estáticas) para intercambiar información de enrutamiento con otros nodos MPLS en la red.

Tal como en los routers tradicionales, los protocolos de enrutamiento IP son los encargados de mantener la tabla de enrutamiento, en la cual se basan los dispositivos de capa 3 para tomar la decisión de reenvío del paquete.

<sup>34</sup> Referenciado de Fundamental of Multiprotocol Label Switching MPLS  
Siemens, 2002  
Fecha visita: 3 de Marzo de 2008

En un nodo MPLS, la tabla de enrutamiento es usada para determinar el intercambio de vínculos de etiquetas (Reenvío de Etiquetas), dicho intercambio es realizado por el Protocolo de Distribución de Etiquetas o **LDP (Label Distribution Protocol)**.

El componente de control usa las etiquetas intercambiadas con los nodos MPLS adyacentes para construir la tabla de reenvío de etiquetas o **LFT (Label Forwarding Table)**, la cual usa el componente de reenvío para reenviar los paquetes etiquetados a través de la red MPLS.

### **4.3 ROUTING EN LOS BORDES Y SWITCHING EN EL NÚCLEO.<sup>35</sup>**

La estructura general de un dominio MPLS se basa en el concepto de que los LER del borde del dominio son los que realizan labores de enrutamiento de paquetes con funciones de decisión del encaminamiento que pueden llegar a ser extremadamente complicadas y que pueden estar basadas en la interfaz por la que viene el paquete, la red a la que pertenece, los valores de la cabecera de red, etc.

Independientemente de las decisiones de los LER antes de asignar una etiqueta MPLS al paquete, los LRS del interior del dominio hacen switching de los paquetes que han ingresado en el dominio de forma veloz y eficaz sin tener en cuenta nada más que la etiqueta de la cabecera MPLS que los LER han decidido dar. Los paquetes son encaminados en los nodos frontera del dominio MPLS y son conmutados rápidamente en los nodos interiores que ya no distinguen distintos tipos de paquete al leer exclusivamente la primera etiqueta de la pila de etiquetas MPLS.

---

<sup>35</sup> <http://ManoloDominguez.com>

Soporte de Garantía de Servicio (GoS) sobre MPLS mediante Técnicas Activas  
Manolo Domínguez Dorado  
España, 2.004  
Fecha visita: 20 de Septiembre de 2008

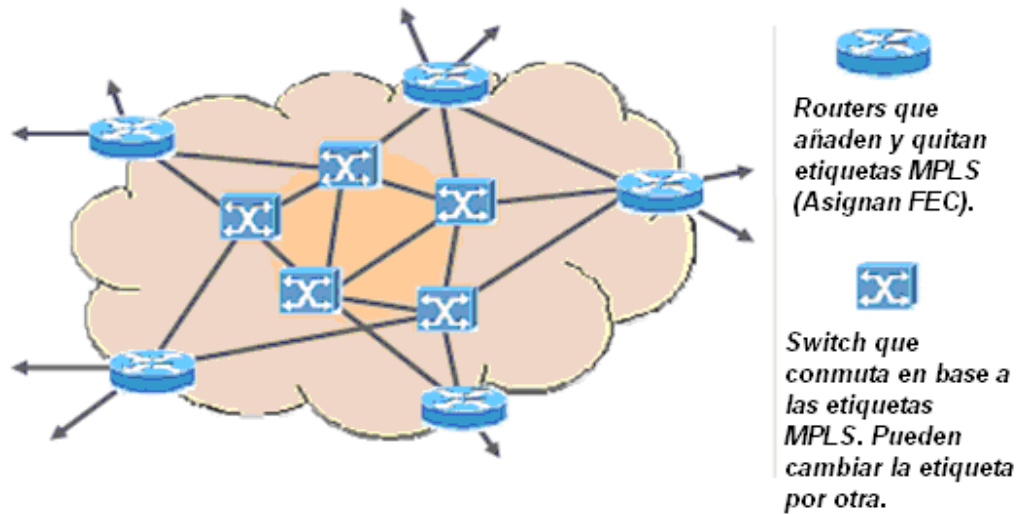


FIGURA 21. EJEMPLO CONCRETO DE UN DOMINIO.

#### 4.4 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE MPLS.

##### 4.4.1 FUNCIONAMIENTO DEL ENVÍO DE PAQUETES EN MPLS.

La base de MPLS está en la asignación e intercambio de etiquetas que permiten el establecimiento de los caminos LSP por la red. Los LSPs son simplex por naturaleza (se establecen para un sentido) del tráfico en cada punto de entrada a la red), para el tráfico duplex requiere dos LSPs, uno en cada sentido. Cada LSP se crea a base de concatenar uno o mas saltos (hops) en los que se intercambian las etiquetas, de modo que cada paquete se envía de un "Conmutador de Etiquetas" (*Label-Switching Router*) a otro, a través del dominio MPLS. Un LSR no es sino un router especializado en el envío de paquetes etiquetados por MPLS.



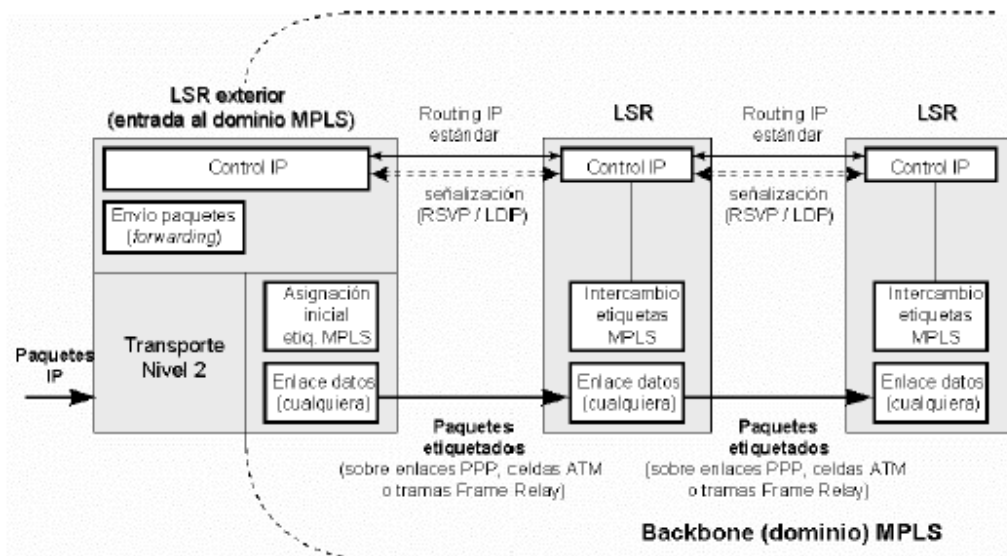


FIGURA 22. ESQUEMA FUNCIONAL DE MPLS.<sup>36</sup>

En la figura # 22 se puede ver la funcionalidad de MPLS, al igual que en las soluciones de conmutación multinivel, MPLS separa los dos componentes funcionales de control (enrutamiento - routing) y de envío (conmutación - forwarding). Del mismo modo, el envío se implementa mediante el *intercambio de etiquetas* en los LSPs. Sin embargo, MPLS no utiliza ningún protocolo de señalización ni de encaminamiento definidos por ATM Forum, en lugar de ello, en MPLS o bien se utiliza el protocolo RSVP o bien un nuevo estándar de señalización (*Label Distribution Protocol, LDP*). Pero de acuerdo con los requisitos de IETF, el transporte de datos puede ser cualquiera, si este fuera ATM, una red IP habilitada para MPLS es ahora mucho más sencilla de gestionar que la solución clásica IP/ATM. Ahora ya no hay que administrar dos arquitecturas diferentes a base de transformar las direcciones IP y las tablas de encaminamiento en las direcciones y el encaminamiento ATM: esto lo resuelve el procedimiento de intercambio de etiquetas MPLS. El papel de ATM queda restringido al mero transporte de

<sup>36</sup> MPLS "Multiprotocol Label Switching": Una Arquitectura de Backbone para la Internet del Siglo XXI.  
 Maria Sol Canalis  
 Dpto Informatica Universidad Nacional del Nordeste.  
 Argentina

datos basado en celdas. Para MPLS esto es indiferente, ya que puede utilizar otros transportes como Frame Relay, o directamente sobre líneas punto a punto.

#### **4.4.2 DISTRIBUCION DE ETIQUETAS.**

Aunque no se especifica un protocolo específico para la distribución de las etiquetas, sí se definen los modos de distribución y retención de etiquetas dentro del funcionamiento de MPLS.

- **Downstream On Demand (Tráfico de Bajada bajo Demanda)**

Permite que un enrutador upstream (Enrutador que envía paquetes) haga una petición directa de una etiqueta para un determinado grupo de paquetes (FEC) al LSR Downstream, el cual es el siguiente salto en el camino.

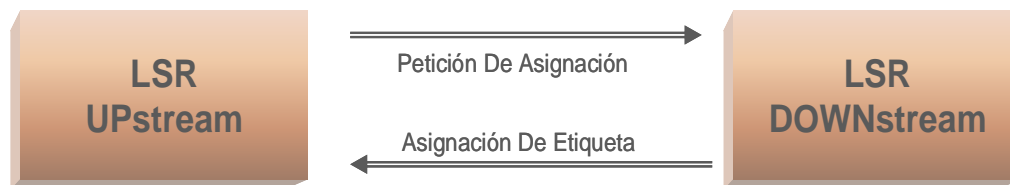


FIGURA 23. DOWNSTREAM ON DEMAND.<sup>37</sup>

---

<sup>37</sup> Referenciado de Alta Velocidad y Calidad de Servicio en Redes IP  
García Tomas Jesús, Raya Cabrera José Luís, Raya Víctor Rodrigo  
Alfa omega, 2002

- **Unsolicited Downstream (Tráfico de Bajada no Solicitado)**

Permite que un LSR Downstream asigne una etiqueta sin necesidad de recibir peticiones con anterioridad.



FIGURA 24. UNSOLICITED DOWNSTREAM.<sup>38</sup>

Una vez el LSR ha recibido la asignación correspondiente a un determinado FEC éste podría conservar o desechar dicha asignación, si el LSR reconoce que dicha asignación ha dejado de ser válida entonces la desecha, esta condición se conoce como Modo de Retención Conservador de Etiquetas. Además, para no perder el vínculo entre el FEC y la etiqueta se debe repetir el procedimiento de asignación tantas veces como sea necesario, con la ventaja de sólo asignar las etiquetas que realmente están en uso.

Si el LSR ha recibido una asignación la mantiene indefinidamente, esta condición se conoce como Modo de Retención Liberal de Etiquetas, la desventaja de esta condición es que el consumo de etiquetas es excesivo aunque el procedimiento para mantener la relación entre el FEC y la etiqueta ya no es necesario, pero tiene como ventaja que permite una adaptación más rápida a los cambios en la topología y permite el envío de tráfico a diferentes LSP en caso de cambio.

---

<sup>38</sup> Referenciado de Alta Velocidad y Calidad de Servicio en Redes IP  
García Tomas Jesús, Raya Cabrera José Luís, Raya Víctor Rodrigo  
Alfa omega, 2002  
Fecha visita: 15 de Agosto de 2008

#### **4.4.2.1 CONTROL DE DISTRIBUCIÓN DE ETIQUETAS.**

Existen dos modos para el Control de Distribución de Etiquetas entre dos LSR pares.

- **Control Independiente**

Este tipo de control se da cuando un LSR reconoce una FEC y decide unir una etiqueta a esta FEC, es decir significa que cada nodo toma la decisión de cómo tratar a cada paquete que pasa por éste y distribuir esta unión a los LSR pares.

- **Control Ordenado**

Este tipo de control se da cuando un LER une una etiqueta a una FEC, el cual es responsable de la asignación y distribución de etiquetas.

#### **4.4.2.2 FUSION DE ETIQUETAS**

Si existe un flujo de tráfico que proviene de distintas interfaces y tiene un mismo destino y comparten los mismos requerimientos para transportarse, este flujo puede ser unido y realizar su conmutación con una misma etiqueta.

#### **4.4.2.3 CLASIFICACIÓN DE ETIQUETAS**

Las etiquetas utilizadas por un LSR para unir el FEC y la etiqueta se clasifican en dos formas:

- **Por Plataforma**

Los valores de las etiquetas son proporcionados por una sola fuente, es decir, los valores de etiquetas son los mismos dentro de un LSR lo que quiere decir que por cada interfaz hay una etiqueta y no existe la posibilidad que dos etiquetas distribuidas en interfaces diferentes se repitan.

- **Por Interfaz**

Las etiquetas son suministradas por diferentes fuentes, es decir que los valores de etiqueta son diferentes dentro de un LSR. Estos valores de etiqueta son asignados a diferentes interfaces y pueden existir una o mas interfaces con un mismo valor de etiqueta.

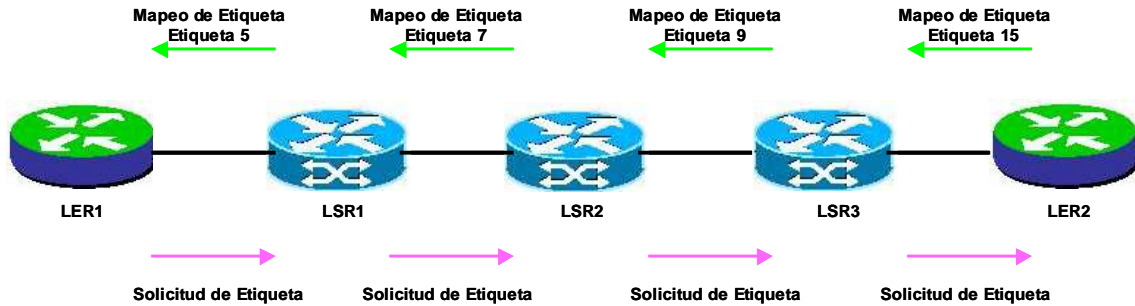
#### **4.4.3 MECANISMOS DE SEÑALIZACIÓN**

- **Solicitud de Etiqueta**

Esta solicitud es realizada por un LSP el cual le solicita a su vecino Downstream (en la ruta de bajada) una etiqueta para que sea asignada a una FEC, ésto lo realizan todos los LSRs durante la ruta hasta llegar al destino final, es decir, hasta el LER de borde.

- **Mapeo de Etiqueta**

El mapeo surge del envío de la etiqueta que el LSR Downstream envíe como respuesta a la solicitud realizada por el LSR Upstream utilizando el mecanismo de mapeo.

FIGURA 25. MAPEO DE ETIQUETAS.<sup>39</sup>

#### 4.4.4 CONTROL DE INFORMACIÓN EN MPLS.

El control de la información cuenta con dos aspectos fundamentales:

- Cómo se generan las tablas de envío que establecen los LSPs.
- Cómo se distribuye la información sobre las etiquetas a los LSRs.

El primero de ellos está relacionado con la información que se tiene sobre la red: topología, patrón de tráfico, características de los enlaces, etc. Es la información de control típica de los algoritmos de encaminamiento. MPLS necesita esta información de enrutamiento para establecer los caminos virtuales LSPs. Lo más lógico es utilizar la propia información de encaminamiento que manejan los protocolos internos IGP (OSPF, IS-IS, RIP,...) para construir las tablas de encaminamiento (cabe recordar que los routers LSR son routers con funcionalidad añadida). Esto es lo que hace MPLS precisamente: para cada "ruta IP" en la red se crea un "camino de etiquetas" a base de concatenar las de entrada/salida en cada tabla de los

<sup>39</sup> Referenciado de Alta Velocidad y Calidad de Servicio en Redes IP  
García Tomás Jesús, Raya Cabrera José Luis, Raya Víctor Rodrigo  
Alfa omega, 2002

LSRs; el producto interno correspondiente se encarga de pasar la información necesaria.

El segundo aspecto se refiere a la información de “señalización”, siempre que se quiera establecer un circuito virtual se requiere algún tipo de señalización para marcar el camino, es decir, para la distribución de etiquetas entre los nodos. Sin embargo, la arquitectura MPLS no asume un único protocolo de distribución de etiquetas; de hecho se están estandarizando algunos existentes con las correspondientes extensiones, uno de ellos es el protocolo RSVP del Modelo de Servicios Integrados de IETF.

	<b>MPLS EN ACCION</b>
1	Un Switch (LSR) adjunta una etiqueta MPLS al tráfico del cliente, con información sobre su destino, tipo de servicio o Red VPN a la que pertenece.
2	Los LSR conmutan el tráfico basándose en la información de la etiqueta introducida por el LSR de entrada, en lugar de inspeccionar el interior del paquete IP, ya que esto acelera el procesamiento del tráfico.
3	Un LSR de salida elimina las etiquetas MPLS antes de trasladar el tráfico al punto final, o las cambia para dirigirlo a otro destino o Red.

TABLA 3. GESTIÓN DE TRÁFICO

## **4.5 PROTOCOLOS PARA DISTRIBUCIÓN DE ETIQUETAS.**

El IETF nombra diferentes protocolos de distribución de etiquetas que se crean con el propósito de mantener informados a los LSR de las asignaciones de etiquetas a las FECs, entre los protocolos tenemos RSVP, CR-LDP y LDP (el cual es el más recomendado por el IETF). En MPLS no se impone ningún protocolo en particular para la distribución de etiquetas.

### **4.5.1 PROTOCOLO RSVP (PROTOCOLO DE RESERVA DE RECURSOS).**

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. 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.

Existen dos tipos de mensajes en RSVP:

- **Mensajes Path.**

Estos mensajes son generados por los emisores y son los que se encargan de describir el formato de los paquetes que el emisor enviará, además de determinar la dirección IP y su ruta de manera



opcional. Este mensaje es usado por los enrutadores para definir la ruta de una nueva sesión.

- **Mensaje Resv.**

Estos mensajes son generados por los receptores y son usados cuando se desea hacer una reserva de recursos y por lo general esta reserva se aplica en todos los nodos por los que el paquete viaja a través de la red.

Para la asignación de etiquetas en MPLS a este protocolo se aplican nuevos elementos como son los objetos, formatos de paquetes y procedimientos para establecer túneles LSP, los cuales permiten el transporte de flujo de datos por debajo de los procedimientos básicos de enrutamiento IP.

Para lograr establecer un túnel LSP es necesario utilizar un modo de señalización llamado Downstream on Demand para la distribución de etiquetas MPLS. La creación de un túnel LSP inicia por el LSE de entrada en el momento que se asocia una FEC y una etiqueta.

Para facilitar la gestión de tráfico en el dominio MPLS es necesario agregar nuevos objetos llamados EXPLICIT\_ROUTE en los mensajes Path, el cual agrupa la cantidad de nodos de manera ordenada que forma la ruta explícita que seguirán los datos, para el funcionamiento de este objeto es fundamental que el dominio MPLS soporte el encaminamiento explícito (EXPLICIT ROUTING).

También es necesario incrementar el mensaje **Resv** debido a que la asignación de etiquetas se hace desde el nodo final al nodo origen, es decir, en sentido contrario al flujo de datos y a ésto se adiciona un nuevo objeto (Label) el cual transporta la nueva información requerida para el buen funcionamiento del protocolo.

#### **4.5.1.1 FUNCIONAMIENTO DEL PROTOCOLO RSVP.**

1. El LSE de origen identifica cual debe ser la ruta (LSP) que debe seguir para llegar al LSE de salida, para ésto 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.
2. 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.
3. Una vez 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.

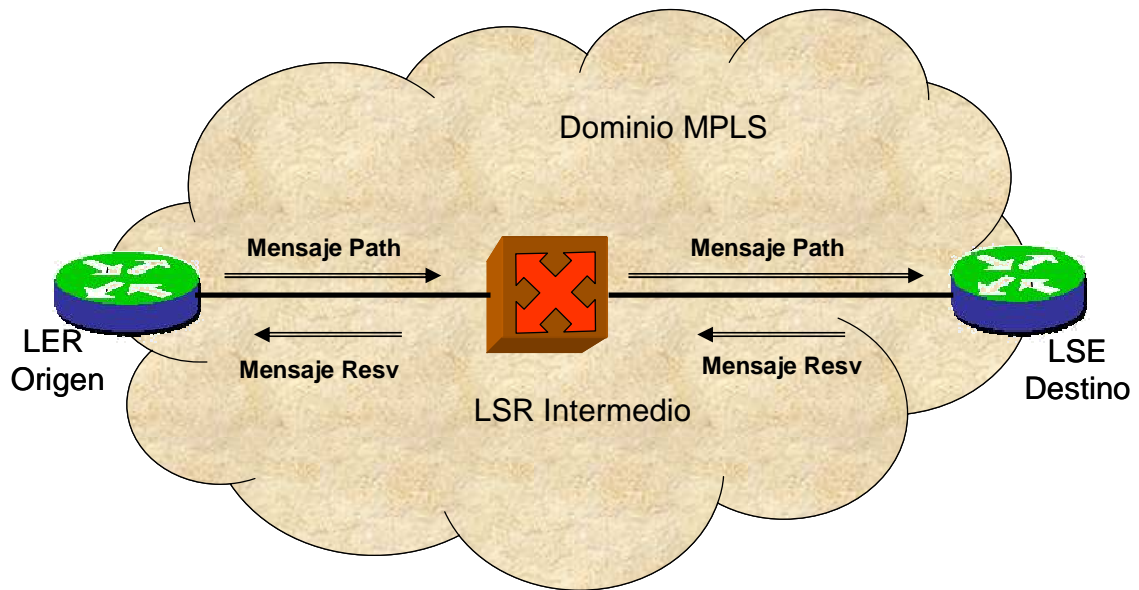


FIGURA 26. PROTOCOLO RSVP PARA ESTABLECIMIENTO DE TÚNELES.<sup>40</sup>

#### **4.5.2 CR-LDP ENRUTAMIENTO BASADO EN RESTRICCIONES LDP (CONSTRAINT – BASED ROUTING LDP).**

El protocolo 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 (delay), variación de retardo (jitter), conteo de saltos (hops), QoS (Calidad de Servicio) y muchas más restricciones que pueden aparecer a lo largo de una ruta.

Los LSP que se establecen pueden ser CR-LSP, donde las restricciones pueden ser saltos específicos que se encargan de establecer la ruta que se

<sup>40</sup> Referenciado de GARCÍA TOMAS, Jesús; RAYA CABRERA, José Luís; RAYA, Víctor Rodrigo  
Alta Velocidad y Calidad de Servicio en Redes IP  
Alfa omega, 2002

debe seguir y los requerimientos de calidad de servicio QoS, los cuales definen los mecanismos de enlace y almacenamiento para el flujo de datos.

Este protocolo permite tener restricciones diferentes (rendimiento, calidad de servicio, retardo, variación de retardo o tasa de pérdidas) en nodos diferentes.

#### **4.5.2.2 FUNCIONAMIENTO DEL PROTOCOLO CR-LDP.**

1. Cuando el LSR ingresa al dominio MPLS usa un camino explícito, adiciona un objeto llamado **TLV ER (*Explicit Router TLV*)**, el cual es agregado al mensaje LDP de petición de etiquetas. Es necesario tener en cuenta que para la creación de un LSP se requiere distribución de etiquetas Downstream on Demand y de modo control ordenado.
2. El mensaje de petición de etiquetas cuando llega a cada LSR intermedio es enviado al siguiente nodo el cual está especificado en **TLV (Type-Length-Value, Tipo-Longitud-Valor)**.
3. Una vez el mensaje llega a su destino final, es decir al LSR de salida, éste inicia el proceso de restricciones de recursos, respondiendo con un mensaje de asociación de etiquetas al cual se asocia una etiqueta, la cual es enviada a través de la red a los LSR anteriores por medio de un mensaje de asociación de paquetes.
4. Cuando ésta llega a los LSR intermedios éstos realizan sus respectivas restricciones interiores y realiza el mismo procedimiento hasta llegar al LSR de origen, el cual al recibir el mensaje de asociación de etiquetas para una etiqueta pedida, deberá realizar la restricción de recursos en él, es así como se establece el LSP.

Algunas de las limitaciones de este protocolo son:

- Sólo soporta LSP punto a punto.
- Sólo soporta el establecimiento unidireccional de LSP.
- Sólo soporta una única etiqueta por LSP.

### **4.5.3 LDP – LABEL DISTRIBUTION PROTOCOL.<sup>41</sup>**

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<sup>42</sup> (*Border Gateway Protocol*)**, 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.

#### **Mensajes LDP.**

El protocolo LDP define cuatro tipos de mensajes para su gestión:

- **Mensajes de Descubrimiento.**

Este tipo de mensajes anuncian y mantienen la presencia de un LSR en una red.

---

<sup>41</sup> RFC 3036 Especificaciones LDP, Enero 2001

<sup>42</sup> RFC 2547 BGP/MPLS VPNs Marzo 1999

- **Mensajes de Anuncio.**

Este tipo de mensajes tiene como objetivo realizar la gestión de etiquetas entre LSRs, es decir, se utiliza para crear, cambiar y borrar mapas de etiquetas para FEC (Asignación de Etiquetas).

- **Mensajes de Notificación.**

Este tipo de mensajes proveen información de consulta como son las señales de aviso y las señales de error.

- **Mensajes de Sesión.**

Este tipo de mensajes establecen, mantienen y terminan las sesiones LDP.

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. La estructura de una PDU del protocolo LDP se logra observar a continuación:

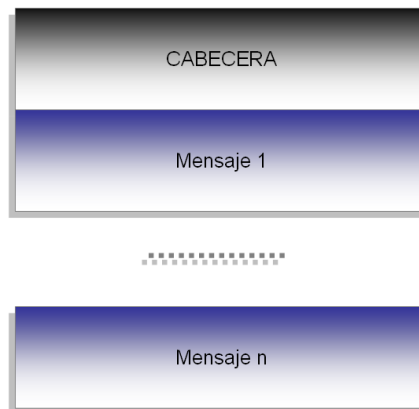


FIGURA 27. ESTRUCTURA DE UNA PDU.<sup>43</sup>

La cabecera de las PDUs de LDP tienen los siguientes campos:

- **Versión.**

El campo versión está compuesto por dos octetos que muestran la versión del protocolo.

- **Longitud de PDU.**

Este campo está compuesto de dos octetos que indican la longitud total. El valor máximo permitido es 4.096, el cual puede ser negociado durante el establecimiento de la sesión LDP entre los LSRs involucrados en dicha negociación.

- **Identificador de LDP.**

Este campo consta de 6 octetos, los cuatro primeros son los que identifican al LSR y los dos restantes indican el espacio de direccionamiento

---

<sup>43</sup> Referenciado de GARCÍA TOMAS, Jesús; RAYA CABRERA, José Luís; RAYA, Víctor Rodrigo  
Alta Velocidad y Calidad de Servicio en Redes IP  
Alfa omega, 2002



FIGURA 28. IDENTIFICADOR LDP.<sup>44</sup>

Este protocolo también maneja un sistema de codificación de mensajes, el cual se basa en tres parámetros: tipo, longitud y valor.

- **Tipo.**

Este campo consta de 14 bits que definen el tipo de mensaje, de este campo depende el mensaje en el campo valor.

Los mensajes LDP tienen la siguiente estructura:

- ❖ **U:** Este campo consta de un (1) bit e indica el comportamiento que se debe asumir en caso de que llegue un mensaje desconocido. Si U es igual a cero (0) se responde con un mensaje de notificación, si U es igual a uno (1) se ignora el mensaje y se continúa con el envío de la PDU.
- ❖ **F:** Este campo sólo se utiliza cuando U es igual a uno, cuando se recibe un mensaje desconocido y que debe ser enviado a otro LSR, F debe ser igual a uno (1), de lo contrario F debe ser igual a cero (0) y por lo tanto el mensaje no podrá ser enviado al siguiente LSR.

- **Longitud.**

Este campo consta de 16 bits y es el que especifica la longitud del campo valor.

---

<sup>44</sup> Referenciado de GARCÍA TOMAS, Jesús; RAYA CABRERA, José Luís; RAYA, Víctor Rodrigo  
Alta Velocidad y Calidad de Servicio en Redes IP  
Alfa omega, 2002



- **Valor.**

Este campo a diferencia de los otros consta de longitud variable y contiene la información del mensaje, la longitud de este campo depende del contenido del campo Tipo.

#### **4.6 FUNCIONAMIENTO GLOBAL.**

La tecnología MPLS se despliega en el núcleo de la red del proveedor de servicios, lo que le proporciona a éste un mayor control sobre la calidad del servicio, la ingeniería de tráfico y la utilización del ancho de banda, y a la vez que reduce los requisitos a los equipos de comunicación de los clientes que se conectan a un servicio sobre MPLS. Como indica su nombre, una red MPLS puede transportar múltiples protocolos distintos y de forma simultánea, entre ellos tramas Ethernet, realizando conexiones Ethernet sobre largas distancias.<sup>45</sup>

El modo de funcionamiento de MPLS es algo muy similar a las redes de capa 2 (ATM o Frame Relay), con la diferencia que MPLS lo que hace es asignar etiquetas a los paquetes que viajan a través de la red, donde cada paquete contiene una etiqueta que tiene la tarea de informar a cada nodo la forma de procesar y transportar los datos.

“La diferencia básica entre MPLS y las tecnologías WAN tradicionales es la forma como son asignadas las etiquetas y la capacidad de transportar una pila de etiquetas junto con el paquete, para el desarrollo de nuevas aplicaciones como Ingeniería de tráfico, rápido enrutamiento en caso de fallas de enlaces o nodos, entre otras”<sup>46</sup>.

Una vez vistos los componentes funcionales, el esquema global de funcionamiento es el que se muestra en la figura # 29, donde quedan

---

<sup>45</sup> La tecnología MPLS al servicio de las Redes Privadas  
Alfons Friedl  
Director Técnico de Acens  
Fecha visita: 15 de Noviembre de 2007

<sup>46</sup> Documento, Fundamental of Multiprotocol Label Switching MPLS, Siemens, Octubre de 2002.

reflejadas las diversas funciones en cada uno de los elementos que integran la red MPLS. Es importante destacar que en el borde de la nube MPLS tenemos una red convencional de routers IP, el núcleo MPLS proporciona una arquitectura de transporte que hace aparecer a cada par de routers a una distancia de un solo salto. Funcionalmente es como si estuvieran unidos todos en una topología mallada (directamente o por PVCs ATM), ahora esa unión a un solo salto se realiza por MPLS mediante los correspondientes LSPs (puede haber más de uno para cada par de routers). La diferencia con topologías conectivas reales es que en MPLS la construcción de caminos virtuales es mucho más flexible y que no se pierde la visibilidad sobre los paquetes IP. Todo ello abre enormes posibilidades a la hora de mejorar el rendimiento de las redes y de soportar nuevas aplicaciones de usuario.

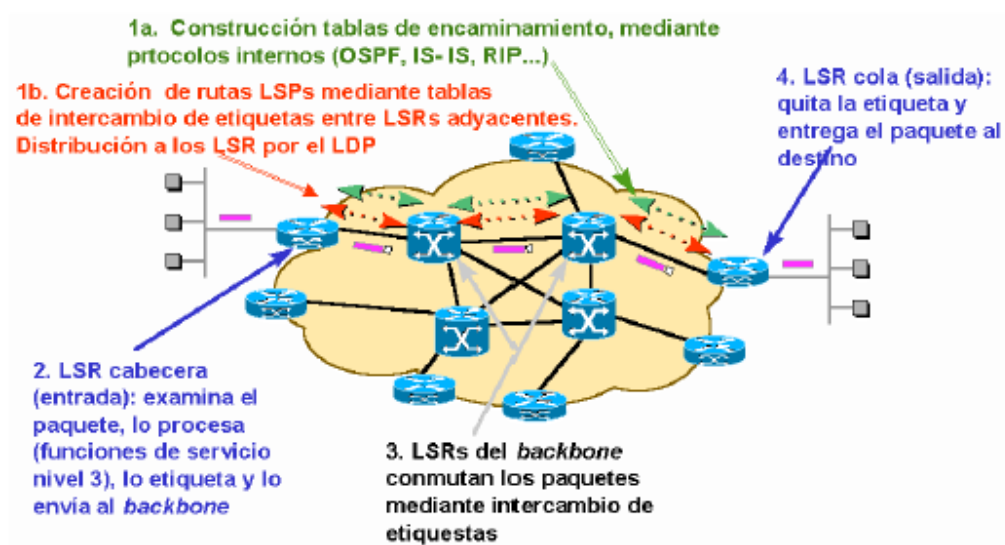


FIGURA 29. FUNCIONAMIENTO DE UNA RED MPLS.<sup>47</sup>

<sup>47</sup> MPLS "Multiprotocol Label Switching": Una Arquitectura de Backbone para la Internet del Siglo XXI.  
 Maria Sol Canalis  
 Dpto Informatica Universidad Nacional del Nordeste.  
 Argentina

Como se observa en la figura # 29. El funcionamiento de una red MPLS se basa en cinco (5) pasos:

1. Construcción de tablas de encaminamiento.
2. Creación de rutas LSPs.
3. Construcción de LSPs.
4. Inserción de etiquetas.
5. Envío de paquetes.

#### **4.6.1 CONSTRUCCIÓN DE TABLAS DE ENCAMINAMIENTO.**

Esta creación de etiquetas inicia en el momento en que los LSR toman la decisión de unir una etiqueta a un FEC. Con el protocolo de Distribución de Etiquetas (LDP) los enrutadores downstream son los que inician la distribución de dichas etiquetas y la asignación de las mismas a la FEC, adicional a esto los LDP se encargan de establecer características que tiene que ver con el tráfico y la capacidad de MPLS.

#### **4.6.2 CREACIÓN DE RUTAS LSP'S.**

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 implementados en el sistema, ya sean como OSPF (Open Shortest Path First), IS-IS o RIP (Routing Information Protocol) y exteriores como los BGP (Border Gateway Protocol) y actualización del EGP (External 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 sistemas independientes diferentes.

Para la construcción de las tablas cada dispositivo de la red MPLS consulta las tablas de etiquetas y dependiendo de la etiqueta 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 fuera de la red MPLS.

### **4.6.3 CONSTRUCCIÓN DE LSP'S**

La construcción de LSP's se realiza utilizando la información de las tablas de intercambio de etiquetas entre los LSR's adyacentes. Esta distribución se hace mediante el protocolo LDP el cual ha sido definido específicamente para MPLS, aunque **RSVP (Resource Reservation Protocol)** o **CR-LDP (Constraint Based-Label Protocol Distribution)** también puede ser una opción.

Los LSP se pueden establecer de las siguientes maneras:

- **Routing hop by hop:** Este tipo de enrutamiento se caracteriza porque cada uno de los LSR's selecciona de forma independiente el siguiente hop para una FEC determinada.
- **Explicit Routing – LSP (ER-LSP):** Este tipo de ruteo a diferencia del anterior 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.

#### **4.6.4 INSERCIÓN DE ETIQUETAS.**

El LER de ingreso a la tabla LIB para encontrar el siguiente salto, hace una petición de una etiqueta para una FEC en particular, de esta forma cada paquete que pasa por un LER de entrada y se dispone a utilizar el dominio MPLS recibe una etiqueta y es enviado al núcleo de la red por la ruta LSP definida, dicha etiqueta es insertada en un encabezado de Capa 2, junto con el paquete. De este modo los enrutadores que reciben el paquete examinan la etiqueta y basándose en la información que ésta contiene determina el siguiente salto, una vez el paquete ha sido etiquetado el resto del viaje se hace mediante la conmutación de etiquetas, finalmente cuando el paquete llega al LER de egreso, la etiqueta es removida y el paquete es entregado a su destino final.

#### **4.6.5 ENVÍO DE PAQUETES.**

Como se logra observar en la figura # 30 existe una trayectoria que ha sido creada para que los paquetes viajen de LER1 a LER2, a través de LSR1 LSR2 y LSR4, donde es posible que el LER1 no tenga ninguna etiqueta disponible, ya que es la primera solicitud de enrutamiento que se realiza, así que lo que tiene que hacer es utilizar el algoritmo Longest Address Match, el cual especifica que el LSR1 es su siguiente salto.

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 así sucesivamente realizando 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.

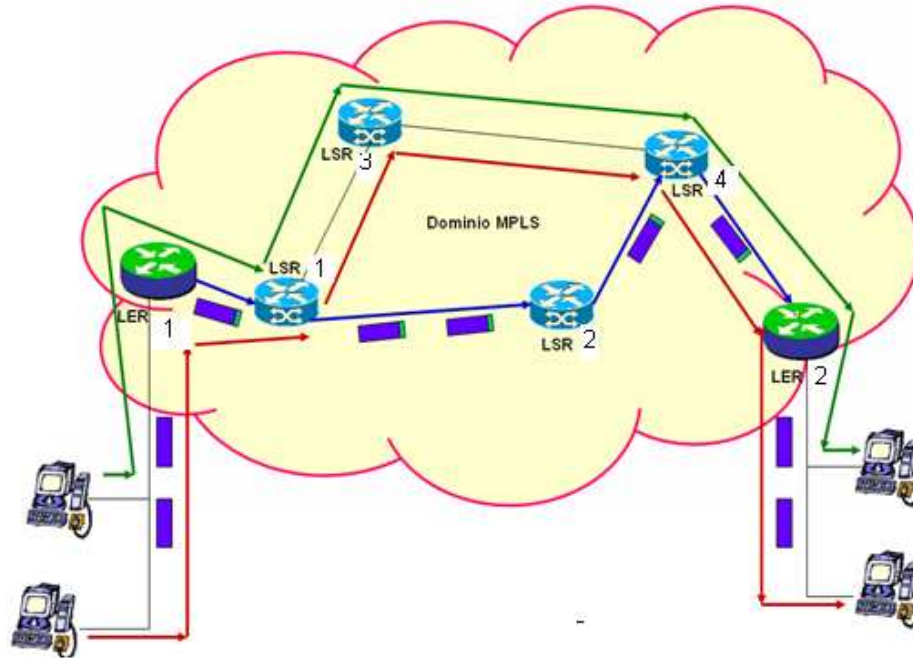


FIGURA 30. PROCESO DE ENÍO DE PAQUETES.<sup>48</sup>

#### 4.7 ¿COMO Y POR QUE SURGE MPLS?.

MPLS surge de la necesidad de mejorar la flexibilidad y escalabilidad en el transporte de datos ya que en el transporte tradicional de los paquetes IP en redes no orientadas a conexión, cada enrutador toma la decisión del camino que va a seguir cada paquete que pasa por allí teniendo en cuenta la dirección IP destino que estos contienen en la cabecera, es así como cada enrutador después de analizar la dirección IP en cada uno de los saltos realizados en la red (enrutadores por los que pasa el paquete),

<sup>48</sup> MPLS "Multiprotocol Label Switching": Una Arquitectura de Backbone para la Internet del Siglo XXI.  
Maria Sol Canalis  
Dpto Informatica Universidad Nacional del Nordeste.  
Argentina

decide cual va a ser su recorrido para llegar a su destino final. Como consecuencia de esta forma tradicional de transporte encontramos que existe redundancia y disminución de velocidad del tráfico en la red, todo ésto debido a que como cada enrutador toma la decisión de enrutamiento de cada paquete, en el momento que existan varios paquetes IP que tengan un mismo destino éstos tomarán el mismo camino en la red, sino existe otro camino de igual costo cada enrutador tendrá que realizar su tarea de forma repetida.

Existen problemas de enrutamiento cuando al cruzar redes LAN o WAN de capa2, debido a que los Switches de esta capa no tiene la capacidad de hacer enrutamiento de Capa 3, es decir que no poseen la capacidad de seleccionar el camino que debe seguir un paquete por la red así tenga conocimiento de su dirección IP destino, por esta razón es necesario que estos caminos sean preseleccionados manualmente a lo largo de la red WAN.

El ingreso de un nuevo enrutador en la red genera mayor cantidad de tráfico de enrutamiento en la red y la necesidad de que cada enrutador tenga en memoria todos los protocolos necesarios para lograr la comunicación con todos sus vecinos. Ésto se debe a que al ingresar un nuevo enrutador al núcleo de la red WAN, es necesario establecer un circuito virtual entre éste y todos los demás enrutadores conectados en la red, si se desea un enrutamiento óptimo y una redundancia adecuada, la cual se logra cuando cada enrutador intercambia las tablas de enrutamiento con cada uno de los enrutadores conectados al núcleo de la red.

La no optimización del flujo de tráfico se debe a que en el transporte tradicional de paquetes IP no existe una técnica con la que sea posible seleccionar una ruta completa que un paquete debe seguir para llegar a su destino final y las técnicas que de alguna manera permiten ésto generan un bajo desempeño en el enrutador haciéndolo poco escalable.

Es necesario crear cualquier tipo de mecanismo que no afecte a los demás dispositivos de la red cuando se haga un cambio en la información que controla al transporte de paquetes, ya que este cambio es comunicado a todos los dispositivos que se encuentran en el enrutamiento y éste implica un periodo de convergencia con el algoritmo de transporte. Todas estas limitaciones fueron las que contribuyeron al surgimiento de la tecnología

MPLS, la cual busca dar respuesta a cada uno de los inconvenientes presentados.

Las decisiones de enrutamiento y aplicación se realizan en el borde de la red; ésto es posible cuando el núcleo de MPLS desarrolla una función de transmisión, totalmente independiente del contenido del paquete, es decir cuando exista total independencia entre el protocolo de enrutamiento y la transmisión de datos.

#### **4.7.1 MPLS ELIMINA EL ENRUTAMIENTO?**

Si bien el modo de funcionamiento de MPLS asimila algunas de las funciones de la capa de transporte y de red no podrá hacer que el enrutamiento IP clásico desaparezca, ya que MPLS es una tecnología a implantar sobre equipos intermedios y es poco probable que los equipos finales lo lleguen a implementar, estos dispositivos seguirán enviado sus paquetes a otros dispositivos que serán los encargados de decidir si son enviados mediante enrutado convencional o por medio de LSPs. Si se opta por ésta última opción de envío, en el destino deberá existir un dispositivo que sea capaz de quitar la etiqueta de la cabecera y entregar la comunicación a la dirección IP especificada en su origen.

Resulta materialmente imposible el mantenimiento de una relación de etiquetas y máquinas en un mundo tan amplio y cambiante como es Internet, por lo que las etiquetas que manejan los dispositivos MPLS sólo pueden tener una consideración local, puesto que son los dispositivos intermedios quienes tienen que tomar decisiones sobre el siguiente salto y para ello tendrán que seguir basándose en la dirección de red.



## **5 MPLS EN COLOMBIA.**

### **5.1 ENTORNO MACROECONÓMICO.**

La coyuntura actual marcada por la llegada de grandes jugadores internacionales en el ámbito de servicios de telecomunicaciones plantea una serie de nuevas exigencias a los operadores, en especial a los operadores nacionales, en consecuencia se hace indispensable buscar alianzas estratégicas, optimizar los canales de distribución y el mismo uso de la infraestructura con el fin de prestar servicios de manera cada vez más eficiente y con más contenido en cuanto a las aplicaciones y las ofertas de servicios.<sup>49</sup>

---

<sup>49</sup> <http://administracion.uexternado.edu.co/centros/matdi>  
Fecha visita: 5 de Octubre de 2007

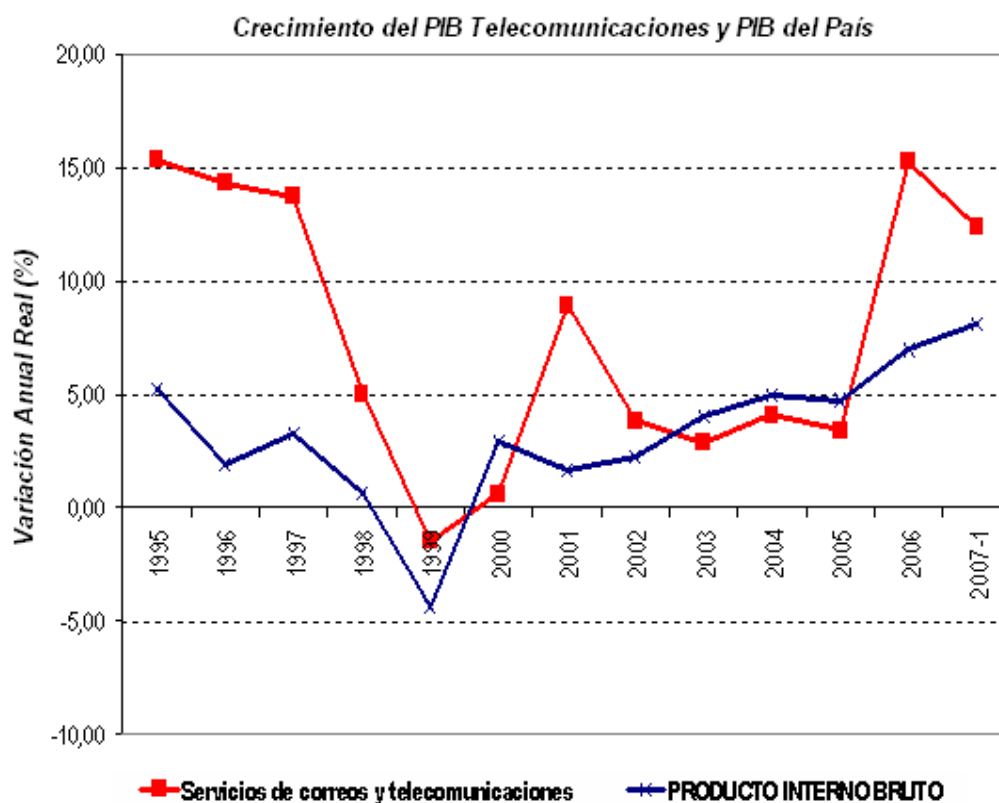


FIGURA 31 CRECIMIENTO DEL PIB DE LAS TELECOMUNICACIONES VS PIB DEL PAÍS.<sup>50</sup>

Las tecnologías de información y Comunicaciones ofrecen la oportunidad para que los países en vía de desarrollo den un salto en su evolución económica, política, social y cultural, disminuyendo así la brecha que los separa de los países desarrollados.

Estas tecnologías y en especial Internet están convirtiéndose en herramientas al alcance y servicio de la comunidad, ya que como se puede observar en la figura # 31 el sector de Servicios de Correo y

<sup>50</sup> DANE

<http://www.dane.gov.co/>

Marzo de 2007

Fecha visita: 10 de Mayo de 2008

Telecomunicaciones ha tenido una buena evolución lo que ha hecho que cada día sea este medio (Internet) se convierta en un medio de comunicación para todas las personas por lo cual se necesita que su infraestructura soporte gran cantidad de tráfico a su interior.

Las tecnologías de Información y Comunicaciones son herramientas que permiten la universalización del acceso a la información, la adquisición y utilización eficaz del conocimiento, siendo estos elementos fundamentales para el desarrollo de la sociedad moderna, y Colombia al igual que muchos países en vía de desarrollo tiene la oportunidad de aumentar su desarrollo apalancándose en las tecnologías de información y en particular en el campo de las comunicaciones.

Uno de los factores de éxito de la Internet actual está en la aceptación de los protocolos TCP/IP como estándar para todo tipo de servicios y aplicaciones, ya que Internet ha desplazado a las tradicionales redes de datos y ha llegado a ser el modelo de red pública del siglo XXI, pero si bien es cierto que Internet puede llegar a consolidarse como el modelo de red pública de datos a gran escala, también lo es que no llega a satisfacer todos los requisitos de los usuarios, principalmente los de aquellos entornos corporativos que necesitan la red para el Soporte de aplicaciones críticas, ya que se tiene una carencia fundamental y es la imposibilidad de seleccionar diferentes niveles de servicio para los distintos tipos de aplicaciones de usuario.

El Internet se valora más por el servicio de acceso y distribución de contenidos que por el servicio de transporte de datos, también conocido como "best-effort", si el modelo Internet ha de consolidarse como la red de datos de este milenio, se necesita introducir cambios tecnológicos fundamentales que permitan ir más allá del nivel best-effort y que puedan proporcionar una respuesta más determinística y menos aleatoria.

El crecimiento de tráfico IP como consecuencia del crecimiento masivo de Internet en los últimos años en Colombia, ha impulsado a las grandes empresas a implementar nuevas tecnologías que suplan estas necesidades y que tengan la capacidad de proporcionar diferentes servicios, como son, Videoconferencia, telefonía, acceso a Internet con garantías de Calidad en el Servicio (QoS), en las diferentes aplicaciones como son voz, datos y video sin que presenten conflictos entre si.

Algunas de estas compañías son:

### **Orbitel**

Orbitel ha adquirido las tecnologías más avanzadas en sistemas de información y redes para brindar servicios de voz y datos, con altos niveles de calidad. De esta forma, Orbitel posee hoy en día una completa red de transmisión nacional e internacional compuesta en Colombia por más de 3.100 Km. de anillos de fibra óptica redundantes que conectan todos los grandes centros urbanos del país con los cables submarinos Maya I y Arcos para la conexión internacional, además de un telepuerto satelital, enlaces de microondas y la red MPLS certificada por Cisco System para prestar servicios de transmisión de voz, datos e Internet sobre tecnología IP.

En tecnologías de voz, Orbitel adquirió equipos de nueva generación (SoftSwitch) para soportar todo el crecimiento futuro de los servicios de voz, esta tecnología además de integrarse a la red IP MPLS, permitirá desarrollar nuevas soluciones de voz para ofrecer alternativas a los clientes.

La red Orbitel asegura a sus clientes calidad, capacidad, seguridad y velocidad en la transmisión de voz, datos e Internet, además gracias a ella, Orbitel ha iniciado el desarrollo de servicios gerenciados de TICs (Tecnologías de Información y Comunicación), comenzando por la Telefonía IP y los servicios centralizados de Seguridad y Firewall.<sup>51</sup>

### **Diveo de Colombia**

Es una empresa líder en servicios de Banda ancha y soluciones de Data Center para clientes empresariales, implantó una red IP/MPLS (Internet Protocol/Multiprotocol Label Switching) de Cisco System.

La tecnología avanzada de IP/MPLS de Cisco permite a las empresas y proveedores de servicios desarrollar redes inteligentes de próxima

---

<sup>51</sup> <http://www.orbitel.com.co/eoCont/05/Noticia42.asp?hClick=0509>

Fecha visita: 10 de Octubre de 2007

generación para brindar a sus clientes una gran variedad de servicios avanzados y de gran valor, todo ésto sobre una misma infraestructura.

La red MPLS implementada por Diveo permite la integración de soluciones y plataformas de acceso actuales y futuras, las soluciones de interconexión y transporte ahora tienen un portafolio mucho más amplio al independizar estas soluciones de la plataforma de acceso.<sup>52</sup>

### **S3 Wireless**

Es una compañía Norteamericana de Comunicaciones con sede en Colombia, cuenta con una red IP/MPLS de altísimas especificaciones, que por su naturaleza complementa con otras redes, y se encuentra a la vanguardia de la convergencia mundial. Esta compañía ofrece soluciones eficientes e innovadoras para atender los principales problemas de las redes actuales, además brinda una plataforma de soluciones de acceso inalámbrico a redes internas (LAN) y enlaces digitales a Internet que garantizan calidad y disponibilidad de QoS en el tráfico enviando priorizando voz, datos o video.<sup>53</sup>

### **IFX Networks (La convergencia al servicio de las Comunicaciones).**

Esta empresa cuenta con la red MPLS de mayor cobertura de Latinoamérica y ofrece el servicio IFX MPLS VPN desde el año 2001, siendo pionero en brindar esta tecnología que permite la convergencia de datos, voz y video en una misma red.

---

<sup>52</sup> [http://www.siemens.com.co/SiemensDotNetClient\\_Andina/templates/PortalRender.aspx?channel=237](http://www.siemens.com.co/SiemensDotNetClient_Andina/templates/PortalRender.aspx?channel=237)

Fecha visita: 10 de Octubre de 2007

<sup>53</sup> [http://www.ciscoredaccionvirtual.com/redaccion/comunicados/ver\\_comunicados.asp?id=1133](http://www.ciscoredaccionvirtual.com/redaccion/comunicados/ver_comunicados.asp?id=1133)

Fecha visita: 10 de Octubre de 2007

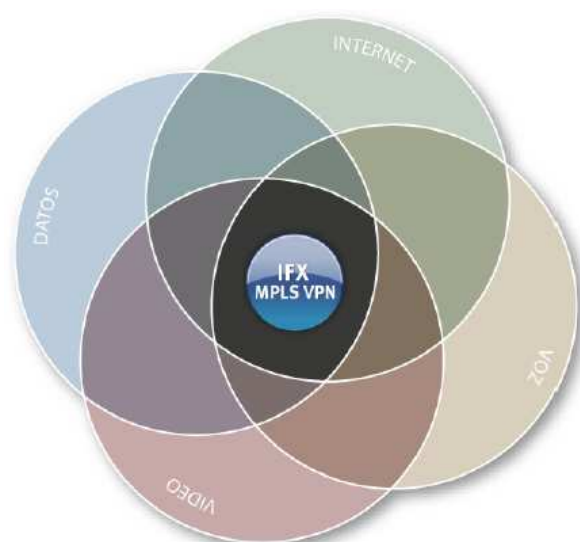


FIGURA 32. CONVERGENCIA DE DATOS, VOZ Y VIDEO EN LA RED IFX NETWORKS.<sup>54</sup>

IFX MPLS VPN le permite tener una red privada virtual para interconectar las distintas sucursales de la empresa con tecnología altamente confiable, estable y segura. Las ventajas de contar con una MPLS VPN es que las empresas podrán tener en una única red diferentes servicios: video conferencia, telefonía, acceso a Internet y también podrá montar aplicaciones de negocios.

Además, se garantiza la calidad del servicio (QoS) brindando 4 clases de servicio (CoS) que permiten la diferenciación y priorización del tráfico que se genere, para que las distintas aplicaciones (voz, datos y video) no se afecten entre sí.

<sup>54</sup> [http://www.ifxnetworks.com/document/MPLS\\_es.pdf](http://www.ifxnetworks.com/document/MPLS_es.pdf)

Fecha visita: 7 de Septiembre de 2007

## 6 FACTORES QUE BENEFICIAN EL USO DE MPLS.

La creciente necesidad de reducir costes, aumentar la productividad, soportar más aplicaciones y elevar la seguridad están jugando fuerte a favor del cambio corporativo hacia esta nueva tecnología WAN.

La creciente popularidad de MPLS no deja indiferentes a las empresas, ya que su capacidad para integrar voz, video y datos en una plataforma común con garantías de calidad de servicio (QoS) se debe sumar a las mejoras del rendimiento y la disponibilidad que se obtienen con esta tecnología, así como su aporte de una amplia y escalable gama de servicios. Su topología de muchos a muchos (any-to-any) ofrece a los administradores la flexibilidad para desviar tráfico sobre la marcha en caso de fallo de enlaces y congestión de red. Además, la Ingeniería de tráfico y la precisión e inteligencia del encaminamiento basado en MPLS permiten empaquetar más datos en el ancho de banda disponible y así reducir los requerimientos de procesamiento a nivel de Router, es decir, se trata de una tecnología de red efectiva en costos, rápida y altamente escalable.

Todos estos beneficios explican que sean ya muchas las empresas que estén migrando a servicios basados en MPLS o al menos considerando el cambio. Según Nemertes Research, la adopción de servicios basados en MPLS casi se duplicó entre 2004 y 2006. El número de empresas que aseguraban utilizar tales servicios o tener intención de hacerlo antes de finalizar el año pasó en ese periodo de un 24% a un 42%. En paralelo a esta tendencia, baja drásticamente el interés que despiertan Frame Relay y ATM ya que resulta esencial recordar que MPLS se trata de una técnica de encaminamiento de tráfico IP, no de un servicio. Por lo tanto, puede ser utilizado para entregar a los usuarios desde Redes Privadas Virtuales IP (VPN IP) hasta Metro Ethernet, e incluso servicios ópticos.

MPLS se está convirtiendo en la tecnología que muchos operadores en el mundo y Colombia quieren migrar, un ejemplo de ellos es ORBITEL y ETB, siendo atractiva esta tecnología tanto para los proveedores de Servicios como para los usuarios finales. A continuación se hace una breve descripción de los factores que benefician tanto a Proveedores de Servicios como a Usuarios Finales.

## **6.1 FACTORES QUE BENEFICIAN AL PROVEEDOR DE SERVICIOS.**

Para los proveedores de Servicios poder ofrecer una buena Calidad en los servicios que prestan es necesario conocer primero de forma detallada las necesidades de sus clientes. El principal propósito del Proveedor de Servicios es ofrecer distintos tipos de Servicios y Seguridad para las conexiones y aplicaciones teniendo en cuenta los siguientes parámetros: disponibilidad de Servicios, garantía del tiempo de funcionamiento y latencia, garantía en cada tipo de servicio (retardo, variación de retardo, tasa de pérdidas, etc.), soporte al servicio.

### **6.1.1 BENEFICIOS Y VENTAJAS DE UNA RED BASADA EN MPLS PARA EL PROVEEDOR DE SERVICIOS.**

- Convergencia de Servicios (Voz, Datos y Video) utilizando la concentración de diversas tecnologías de acceso que utilizan los usuarios.
- Tipos de acceso que podría ofrecer un Proveedor de Servicios:
  - ◆ ADSL con Backups RDSI 128K (sobre líneas Analógicas).
  - ◆ Líneas Dedicadas.
  - ◆ Líneas Dedicadas con Backups RDSI 128K, 256K.
  - ◆ Líneas Dedicadas con Backups ADSL.
  - ◆ RDSI enrutada 128k.
  - ◆ SDSL.
  - ◆ SDSL con Backups RDSI 128k, 256K.
  - ◆ Líneas Dedicadas con Backup SDSL.
  - ◆ SDSL con Backup ADSL.
- Unificación de Servicios (Ahorro en Costos)
  - Se puede reconfigurar con facilidad para suprimir o introducir nuevos usuarios y/o servicios adicionales utilizando un punto a la



nube (Point-to-Cloud), concepto en el que sólo se configurará este nuevo punto con la gestión y procesos del Proveedor de Servicios y no habrá necesidad de reconfigurar toda la red como es el caso de redes basadas en ATM o Frame Relay (Principio de Escalabilidad de las Redes actuales).

- Gran flexibilidad al poder conectar cualquier punto de una VPN con quien desee, utilizando el mejor camino entre cada punto combinando los beneficios de la transmisión de datos entre dos puntos cualquiera (sin conexión) y de la transmisión con conexión punto a punto eliminando sus inconvenientes.
- Los LSPs pueden ser reemplazados para proporcionar QoS, definiendo grupos de usuarios privados específicos y garantizando los SLAs comprometidos, utilizando definición de Políticas centralizadas de Seguridad y Políticas de Priorización a medida, donde el tráfico que más interesa será priorizado por encima de los servicios para mejorar la eficiencia en las comunicaciones. Así entonces, se utilizan decisiones de prioridad para Recursos disponibles y Flujo de tráfico (Traffic Trunk).
- Se enruta el tráfico basado en restricciones CSPF (Constrained Shortest Path First) y se utilizan ER-LSPs para pasarlo, así el camino puede obtener optimización de la ruta y/o puentear un enlace que ha fallado.
- En MPLS, la QoS está soportada mediante etiquetas que permiten a los conmutadores de la red identificar los requisitos de cada paquete y darles la prioridad adecuada, así por ejemplo, los requisitos de la empresa Mexicana Alestra – AT&T atiende cuatro (4) tipos de QoS: Para tráfico prioritario del cliente, tiempo real para video y Voz sobre IP, para paquetes de datos, y para bases de datos, con esto el cliente tiene garantizado el Ancho de Banda que contrató y puede monitorear todas sus aplicaciones.
- Las etiquetas añadidas a los paquetes IP identifican la ruta que se debe seguir y evitan tener que comprobar las tablas en cada paso.
- Logra el mismo nivel de seguridad que el tunneling IP sobre ATM o Frame Relay (VPNs) y es totalmente compatible con procedimiento de seguridad avanzada como IPSec para aumentar la seguridad del Cliente. No necesita superposición al mantener una separación estricta entre cada VPN y asegura que cada paquete IP del cliente se coloca correctamente en la red.

- Se puede utilizar el sistema de reservas de tráfico por medio de RSVP (Reserv Service Virtual Path) dentro de MPLS, donde el protocolo LDP asociará etiquetas a aquellos flujos que tienen reserva.
  - Con el fin de ofrecer Calidad de Servicio (QoS), el proveedor monitoriza constantemente el tráfico en la red evitando que sobrepase su límite, clasifica el tráfico, configura las colas de salida asignándole a cada una un porcentaje de memoria que el enrutador de acceso soporta, delimitando así el tamaño de la cola para cada clase.
- Protección y Restauración
    - El mecanismo de Protección y Restauración se presenta cuando un LSP presenta un error y no es posible enviar el paquete por dicho camino.

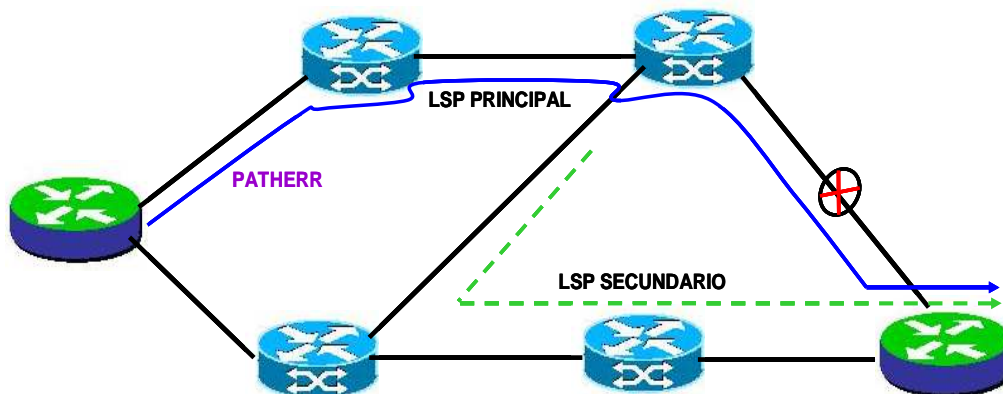


FIGURA 33. MECANISMO DE PROTECCIÓN Y RESTAURACIÓN.

**Protección:** Esta protección es de gran utilidad cuando es necesario establecer un LSP secundario mientras es restablecido el principal (si se permite se indica en path) y es necesario tener en cuenta dos puntos: Primero se refiere al envío de tráfico por el LSP secundario en caso que el

principal falle y el segundo se refiere al aviso que se hace al origen del LSP con PATHERR.

**Restauración:** La restauración es un mecanismo un poco más lento que el de protección y asigna todo el tráfico a un LSP secundario.

## **6.2 FACTORES QUE BENEFICIAN AL USUARIO FINAL.**

MPLS como toda tecnología nueva, debe satisfacer ciertas características que para el usuario final son de gran importancia en el desarrollo de sus aplicaciones y sus demandas, por ello algunas de las ventajas más sobresalientes que el usuario final tendrá al ser implementada una solución MPLS en el núcleo de su Proveedor de Servicios son:

### **6.2.1 CALIDAD DE SERVICIO (QUALITY OF SERVICE).**

En una Red Convencional ATM o Frame Relay todos los paquetes de información contienen la misma prioridad, así si alguien esta recibiendo video por la red y otras personas están transfiriendo archivos de datos, ambas aplicaciones compiten por el mismo canal, de tal forma que los cuadros de video no llegan en forma continúa, con lo que se tendrá un congelamiento y luego deterioro en la calidad de la imagen. Ahora, con las nuevas aplicaciones de MPLS se pueden priorizar las calidades de los servicios por medio de “Acuerdos de Niveles de Servicios” (Service Level Agreements), que sirven para optimizar la velocidad para flujos específicos de video y voz, aprovechando al máximo las transferencias de archivos, proporcionándole al cliente garantía y seguridad de una conexión estable y sin limitaciones de tiempo, permitiendo menos retardos y aprovechando al mismo tiempo los beneficios de red de Internet, como sucede con las aplicaciones multimedia que se ejecutan en tiempo real.

### **6.2.2 MEJORAMIENTO DEL ANCHO DE BANDA.**

Una de las características fundamentales es el manejo de un gran Ancho de Banda, actualmente y dependiendo de los recursos disponibles se tienen velocidades del orden de Megabits por segundo, pero la tendencia es lograr el rango de los Gigabits por segundo.

### **6.2.3 BAJA LATENCIA (LOW LATENCY).**

Para aplicaciones de Sistemas de Control a distancia de equipos muy sofisticados en los cuales demasiado retardo de la información de Control entre el equipo y el manipulador remoto puede resultar fatal, es de vital importancia reducir este retardo al mínimo posible, lo cual se logra con la combinación de un gran Ancho de Banda y la priorización de los servicios y técnicas avanzadas de enrutamiento que ofrece MPLS, con lo cual se logran retardos realmente muy pequeños en el orden de los milisegundos, característica que permite mantener en un nivel adecuado el retardo de la información; muy importante sobre todo para sistemas de control de dispositivos a distancia.

## 7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROTOCOLO MPLS.

### 7.1 VENTAJAS.<sup>5556</sup>

1. La conmutación de paquetes mediante el uso de etiquetas es un proceso más rápido que el encaminamiento basado en el análisis de la cabecera.
2. La clasificación del paquete dentro de una clase de equivalencia particular es posible realizarla atendiendo diversos criterios y no sólo el valor de su dirección de destino; por ejemplo, examinando otros campos de la cabecera de red, de la cabecera de transporte o de aplicación, el puerto de entrada en el dispositivo de encaminamiento, etc.
3. Se admite mayor complejidad en el proceso de clasificación, sin que éste tenga impacto en los dispositivos de encaminamiento intermedios, ya que estos solo se encargan de encaminar paquetes etiquetados. Es suficiente con añadir esta funcionalidad en los dispositivos de encaminamiento que se encuentran en la entrada del dominio. El sistema resulta, por consiguiente, fácilmente escalable.
4. La clasificación de un paquete puede atender a la calidad de servicio con que se desea que éste se propague en la red, asignándose etiquetas distintas para cada clase de servicio. El valor de la etiqueta determinará cómo son tratados los paquetes de esa clase (su disciplina de servicio, si son descartados en caso de congestión, etc.). Adoptando esta estrategia, el protocolo MPLS se utiliza para proporcionar servicios semejantes a los servicios diferenciados.

---

<sup>55</sup> Maria Carmen España Boquera  
Editorial Díaz de Santos  
Ejemplar 1  
Fecha visita: 12 de Abril de 2008

<sup>56</sup> MPLS y VPN IP Sec  
Optimización de la Seguridad en la WAN de la empresa  
Libro Blanco  
Sonic Wall  
Fecha de visita: 12 de Abril de 2008

5. El uso de etiquetas simplifica la gestión de rutas explícitas cuyo establecimiento puede formar parte de la ingeniería del tráfico en la red. Las rutas explícitas sirven también para emular circuitos virtuales sobre una tecnología no orientada a la conexión.
6. Un aspecto de MPLS con impacto significativo es su capacidad de proporcionar un encaminamiento jerárquico, gracias a la posibilidad de encapsular un “camino” LSP en otro, mediante la anidación de etiquetas, sin necesidad de eliminar la identificación del camino LSP original, de resolución más fina. Diversos caminos LSP con características dispares pueden ser agregados, transportados juntos en la red central y finalmente, separados en caminos individuales, simplemente añadiendo y eliminando una etiqueta. La resolución permanece al pasar a la periferia, donde es relevante, pero queda oculta en la red tránsito central, donde podría dificultar el escalamiento. Una aplicación directa de esta habilidad es la implantación de redes conmutadas MPLS que sirvan como redes de tránsito para paquetes de cualquier tipo de protocolo, incluyendo IP o el mismo MPLS.
7. Las aplicaciones que comprenden el envío de flujos en tiempo real son extremadamente sensibles a las fluctuaciones en el retardo. Para estas aplicaciones, las modificaciones en el camino seguido por los paquetes resultan muy perjudiciales, pues alteran el retardo que éstos sufren. Cuando los flujos son transportados sobre un camino conmutado MPLS, éste permanece inalterable ante los cambios en la tipología y condiciones de red, reduciendo las llamadas fluctuaciones.
8. Finalmente, el modelo MPLS simplifica las tareas de monitorización del tráfico, ya que los paquetes pertenecientes a una misma clase de equivalencia FEC son fácilmente identificables gracias a su etiqueta.
9. Se puede realizar la instalación de un dispositivo de Seguridad Multiuso en cada punto de la Red (Solución UTM “Gestión Unificada de Amenazas”, la cual integra funciones de seguridad como cortafuegos, antivirus, detección y prevención de intrusos.
10. Gracias a la tecnología de etiquetado de MPLS, el tráfico se mueve de forma eficaz a través de la Red del proveedor de Servicios, es decir

ofrece un rendimiento sólido de Ancho de Banda y garantías de nivel de Servicio.

11. MPLS es una tecnología reciente que se utiliza en la sustitución de ATM o Frame Relay para la conexión de grandes emplazamientos.
12. MPLS tiene la capacidad de almacenar una ruta secundaria, al fallar la ruta principal simplemente reenruta el tráfico por la ruta secundaria.
13. Utiliza una combinación de etiquetado por paquetes con Conmutación punto a punto orientado a conexiones para añadir más seguridad.
14. En términos de Calidad de Servicio (QoS), MPLS ofrece un ancho de Banda garantizado entre el emplazamiento y la Red del Proveedor de Servicios, ya que fue diseñado para ofrecer prestaciones de Clases de Servicios (CoS), es decir separar el flujo de datos en video, VoIP y datos.
15. MPLS es una solución versátil para resolver los problemas a los que se enfrentan las redes actuales: velocidad, escalabilidad, gestión de la calidad de servicio e ingeniería de tráfico.
16. MPLS tiene la capacidad de definir trayectos para diferentes tipos de tráfico a través de una red, a lo que se llama diseño del tráfico y la creación de túneles IP a través de una red, lo que facilita la creación de Redes Privadas Virtuales (VPN).

## 7.2 DESVENTAJAS<sup>5758</sup>

1. En primer lugar, uno de los argumentos esgrimidos a favor de desarrollar MPLS, el incremento en la velocidad de proceso en los dispositivos de encaminamiento, ha declinado con la aparición de nuevos equipos mas rápidos y potentes, como los denominados “**Gigabit routers**”.
2. La Internet actual se caracteriza por poseer un elevado grado de fiabilidad, derivado de la naturaleza sin conexión del protocolo IP. Por otra parte, los protocolos de encaminamiento dinámico han sido diseñados para reaccionar frente a los potenciales fallos modificando las rutas seguidas por lo paquetes. Sin embargo, el esquema MPLS es orientado a la conexión, lo que implica una mayor vulnerabilidad en situaciones de fallo. Por esta razón, resulta conveniente introducir mecanismos de recuperación de faltas asociadas a la arquitectura MPLS: notificación a los dispositivos de encaminamiento afectados, búsqueda de rutas alternativas, desvío del tráfico a las mismas, etc.
3. Si bien la posibilidad de apilar múltiples etiquetas aporta beneficios indudables, el incremento de la proporción de cabecera transportada contribuye a reducir el rendimiento de la red.
4. Identificar mediante una etiqueta la calidad de servicio deseada no implica que esta solicitud se satisfaga. Es imprescindible que las tecnologías de red subyacentes provean los mecanismos necesarios para garantizar dicha calidad.
5. MPLS está limitado al ámbito de conectividad de la Red del proveedor de Servicios.

---

<sup>57</sup> María Carmen España Boquera  
Editorial Díaz de Santos  
Ejemplar 1  
Fecha visita: 7 de Julio de 2008

<sup>58</sup> MPLS y VPN IP Sec  
Optimización de la Seguridad en la WAN de la empresa  
Libro Blanco  
Sonic Wall  
Fecha visita: 7 de Julio de 2008



Comparadas con las redes IP puras, que requieren largos periodos de tiempo para reconfigurar y reconstruir tablas de enrutamiento, los LSP (trayectos conmutados por etiquetas) de MPLS pueden configurarse por adelantado para desviar el tráfico en caso de que se produzcan problemas en un trayecto primario y ofrecer así recuperaciones en 50-80 ms.

Tal y como se puede observar en la tabla # 4, las VPNs basadas en MPLS pueden ofrecer una seguridad comparable, e incluso superior a las VPNs tradicionales basadas en Frame Relay o ATM.

	<b>MPLS</b>	<b>ATM – FRAME RELAY</b>
Enrutamiento y Separación de Tráfico	SI	SI
Ocultación del Núcleo de la Infraestructura	SI	SI
Resistencia ante ataques	SI	SI
Resistencia a Spoofing de Etiquetas	SI	SI
Cifrado de Datos	OPCIONAL	OPCIONAL

*TABLA 4. COMPARACIÓN ENTRE VPNs BASADAS EN MPLS y VPNs BASADAS EN FRAME RELAY O ATM.<sup>59</sup>*

<sup>59</sup> [http://www.easynet.com/pdf/whitepaper/wp\\_redesmplsseguridad\\_es.pdf](http://www.easynet.com/pdf/whitepaper/wp_redesmplsseguridad_es.pdf)

Fecha visita: 3 de Marzo de 2008

### **7.3 VENTAJAS CON RESPECTO A OTRAS TECNOLOGIAS.<sup>60</sup>**

1. MPLS es un esquema de reenvío que es independiente tanto de la tecnología de nivel de red que esté sobre él, como de la de enlace que este por debajo. Ésto posibilita que se puedan aprovechar las tecnologías existentes mientras se migra a otras más modernas, facilitando así la recuperación de las inversiones en infraestructura de red.
2. Es una tecnología escalable, gracias a la estructura de la pila de etiquetas MPLS es fácil construir jerarquías de dominios MPLS por lo que se puede pasar de ámbitos más reducidos a ámbitos más globales de forma casi transparente.
3. Permite usar cualquier protocolo de encaminamiento tradicional o de última generación.
4. Permite usar cualquier protocolo de distribución tradicional o de última generación.
5. Soporta el modelo de servicios diferenciados del IETF.
6. Permite aplicar técnicas de ingeniería de tráfico con lo que la red deja de ser un simple elemento físico de transporte de información y se vuelve mucho más versátil.
7. Realiza una única clasificación de los paquetes entrantes al dominio MPLS por lo que éste proceso se reduce enormemente con respecto a tecnologías como IP.
8. Proporciona una conmutación basada en etiquetas que es muy rápida y eficiente.
9. MPLS tiene ventaja sobre IPSec ya que en las redes virtuales implementadas con dicha tecnología solo se aplican al backbone del

---

<sup>60</sup> <http://ManoloDominguez.com>

Soporte de Garantía de Servicio (GoS) sobre MPLS mediante Técnicas Activas  
Manolo Domínguez Dorado  
España, 2.004  
Fecha visita: 5 de Julio de 2008

proveedor de servicios, lo que provee un escenario transparente para el usuario final.

#### **7.4 VENTAJAS SOBRE LA PRESTACION DE MPLS EN SERVICIOS MULTIMEDIAS.**

En los últimos años una de las grandes limitantes en las empresas ha sido la comunicación, debido a que si se deseaba tener diferentes servicios como es telefonía, transmisión de datos y videoconferencia, era necesario tener un proveedor para cada tipo de servicio, es decir tener en la empresa 3 proveedores diferentes ofreciendo diferentes productos conllevaba a un gasto múltiple y poco rentable.

Cosa contraria se observa hoy en día, ya que los proveedores de servicios están ofreciendo sobre el mismo canal servicios como datos, servicios de voz y conexión a Internet, este paquete de servicios recibe el nombre de Convergencia y donde se tiene como principal característica Calidad del Servicio, Priorización y Anchos de Banda garantizados para cada uno de los servicios que se presta en la red.

Las empresas de hoy en día se preocupan por contar con una infraestructura escalable, de gran flexibilidad, que les permita conectarse con quien deseen (entre empresas, sucursales, clientes y proveedores) con una excelente calidad, entre estos servicios encontramos:

- Videoconferencia.
- Transmisión de datos a altas velocidades.
- Telefonía.
- Transacciones Electrónicas.

Cuando un proveedor desea cumplir con todas las características anteriormente nombradas se hace necesario que se trabaje sobre redes MPLS basadas en IP que garanticen la seguridad, confiabilidad y Calidad de Servicio (QoS). Las plataformas con tecnologías MPLS permiten integrar todos los servicios en un mismo canal incrementando la capacidad de interconexión haciéndola más fácil y flexible.

## 8 ARQUITECTURA DE UNA RED MPLS.

La arquitectura MPLS describe cómo se realiza la conmutación de etiquetas, la cual combina los beneficios del reenvío de paquetes a nivel de capa 2 con los beneficios del enrutamiento a nivel 3. Similar a como se realiza en la redes Capa 2, MPLS asigna etiquetas para que sean transportados a través de redes basadas en paquetes o en celdas. Este mecanismo de reenvío a través de dichas redes es conocido como intercambio de etiquetas (Label Swapping), lo cual permite que con una etiqueta pequeña y de longitud fija que se añade al paquete original pueda enrutar dicho paquete a lo largo de un camino determinado que se crea con la información que cada switch tiene en la red y sobre la que existe en cada etiqueta.

### 8.1 PARÁMETROS DE DISEÑO DE UNA RED MPLS.

- Se utiliza señalización MPLS LDP (CR-LDP y RSVP-TE) en los Nodos del Core.
- Se implementan políticas de Ingeniería de Tráfico para que los nodos tengan la capacidad de resolver una gran cantidad de rutas BGP-4 de enrutamiento para conexión hacia Internet y así poder generar rutas LSPs que den crecimiento y escalabilidad suficiente (aprox. 9.000 LSPs).
- Los nodos de Borde requieren la capacidad de agregación (DSLAM) de tráfico PPP, Frame Relay, Ethernet, VLAN y ATM, además de soportar diferentes tipos de protocolos de enrutamiento como OSPF-2, RIP, BGP-4, IS-IS para conexiones a clientes AGS y RAS de manera flexible.

Observemos una solución en la cual se configuran dos equipos: uno de Core y otro de Borde en cada nodo de una Red, consiguiendo una arquitectura distribuida con funcionalidades en cada uno de los nodos, obteniendo alta capacidad de procesamiento y excelentes Anchos de Banda por Nodo.

En la figura # 34 se observa que los nodos se encuentran ubicados en las Ciudades de Cali, Medellín, Barranquilla y Bogotá, teniendo en cuenta que en éste último (Bogotá) se han distribuido además 10 nodos más en las distintas localidades de la Ciudad según la demanda de Servicio y además por ser ésta la ciudad en donde se encuentra la sede principal, dichas localidades son: Suba, Usaquen, Engativá, Chapinero, Teusaquillo, Puente Aranda, Santa Fé y Ciudad Bolívar, de estas localidades se han destacado como Nodos principales Puente Aranda y Chapinero ya que éstos son los encargados de transportar todo el tráfico hacia las otras ciudades e igualmente llevarlo hasta Internet.

Con ésto se garantizan 2 cosas:

- Alta disponibilidad de la red, ya que por lo menos un Nodo está interconectado con otros dos.
- Disponibilidad sujeta a congestión de tráfico por medio de troncales GbE a nivel de Bogotá y por medio de troncales STM-1 y POS a nivel de Cali, Medellín y Barranquilla.

La disposición de la red consiste en trece equipos ERX 1440 con una capacidad de conmutación de 40 Gbps y 12 equipos M320 que realizan las funciones de Borde y Agregador de Servicios, LSR y LER con una capacidad de Conmutación de 320 Gbit/s ubicados geográficamente en Suba, Usaquén, Engativá, Chapinero, Teusaquillo, Puente Aranda, Santa Fe y Ciudad Bolívar.

## **8.2 ESPECIFICACIONES.**

Los Routers de Borde Serie-E comparten un mismo conjunto de SRPs (Switching Routing Processors), Módulos de Interfaces y funciones, diferenciándose entre sí por la cantidad de slots y la capacidad de Conmutación basados en procesadores de Tipo ASIC y RISC, las cuales permiten distribuir la responsabilidad de las distintas funciones del equipo facilitando el funcionamiento a “wire-speed” del mismo ante las más severas condiciones de carga.

Los Routers Core Serie-M desarrollados y construidos sobre la base de una clara separación entre el plano de Control, el plano de encaminamiento de paquetes y el plano de servicios, los enrutadores de la serie-M soportan múltiples servicios en la misma plataforma, servicios que incluyen una amplia gama de VPNs, seguridad de red, voz y video en tiempo real, ancho de banda por demanda, multicast de contenido enriquecido, servicios IPv6 y accounting. Utilizan plataformas “service-built” de la serie-M de Juniper Networks, están instaladas en las principales redes productivas del mundo, ofreciendo servicios IP/MPLS avanzados ayudando a los operadores de telecomunicaciones en la transformación de sus redes. (Ver anexo 1 y anexo 2).



FIGURA 34. INTERCONEXIÓN DE EQUIPOS EN BOGOTÁ Y A NIVEL NACIONAL.

Los equipos utilizados para satisfacer los parámetros anteriormente mencionados son:

**Serie E Juniper:** ERX 1440 – Equipo de Borde “LER” (ver Anexo 1).

**Serie M Juniper:** M320 – Equipo de Core (ver Anexo 2).

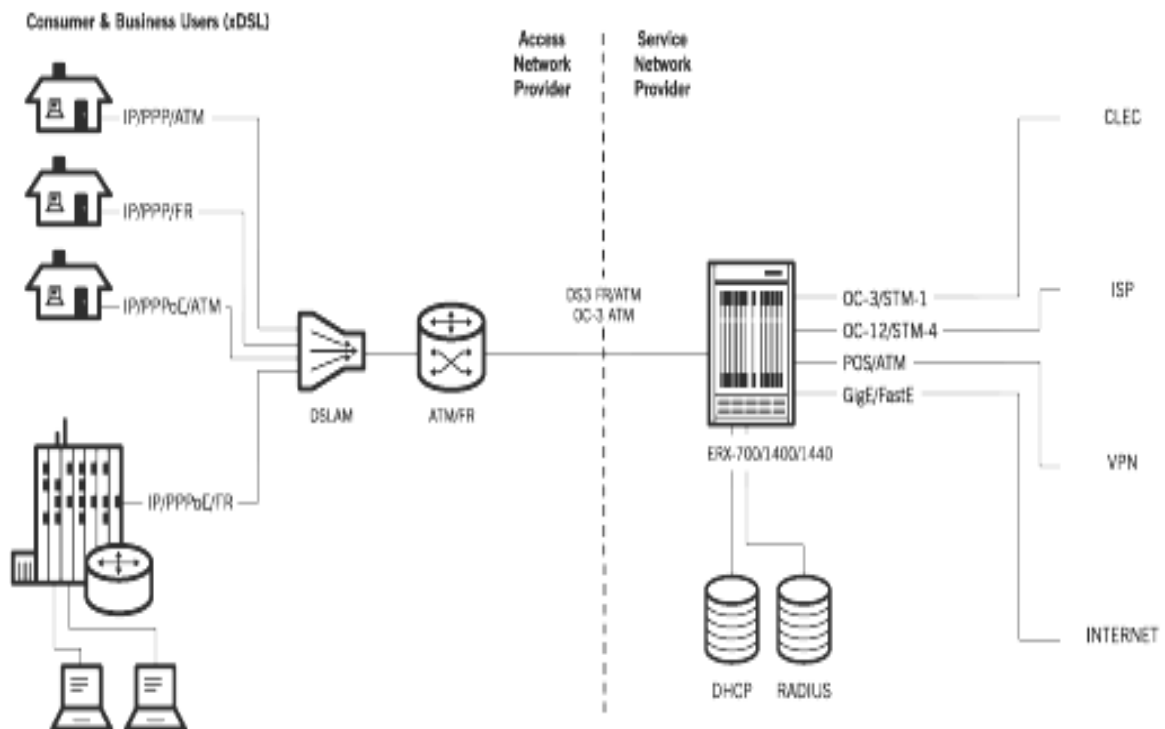


FIGURA 35. EJEMPLO DE INTERCONEXIÓN EQUIPOS JUNIPER.<sup>61</sup>

<sup>61</sup> Referenciado de [http://www.siemens.com.co/SiemensDotNetClient\\_Andina/templates/PortalRender.aspx](http://www.siemens.com.co/SiemensDotNetClient_Andina/templates/PortalRender.aspx)  
 Fecha visita: 10 de Marzo de 2008



Veamos las dos (2) clases de Equipos

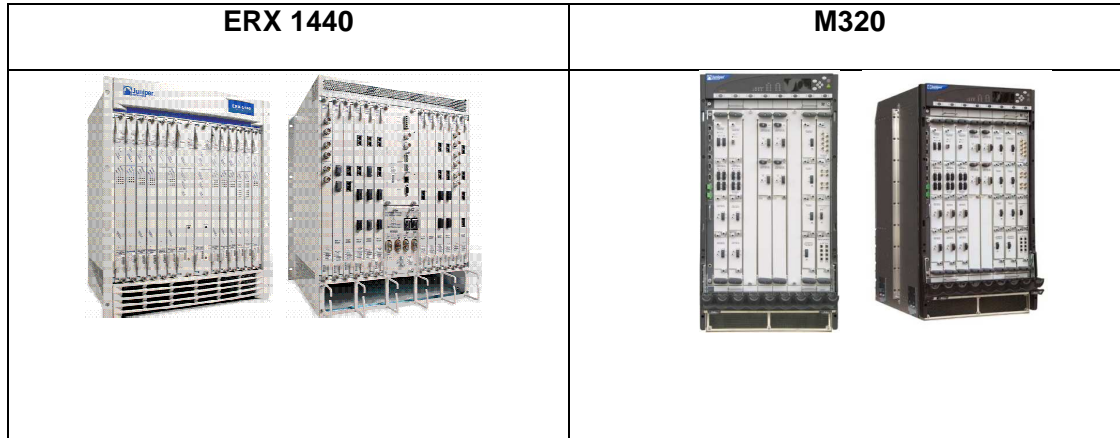


FIGURA 36. EQUIPOS JUNIPER.<sup>62</sup>

## 9 RECOMENDACIONES PARA IMPLEMENTAR UNA RED MPLS.

Según los requisitos específicos que tienen algunas redes se deben adoptar ciertos parámetros para poder migrar a una implementación MPLS, sin embargo existen algunos pasos fundamentales que se deben seguir para la migración hacia una arquitectura MPLS.

- Actualizar el Software de los dispositivos de la Red a una versión compatible con los requerimientos necesarios de MPLS, así mismo se debe tener en cuenta los requisitos mínimos de memoria en los dispositivos.

<sup>62</sup> [http://www.siemens.com.co/SiemensDotNetClient\\_Andina/templates/PortalRender.aspx?channel=237](http://www.siemens.com.co/SiemensDotNetClient_Andina/templates/PortalRender.aspx?channel=237)

Fecha visita: 10 de Marzo de 2008

- Diseñar e implementar la nueva configuración de los protocolos de enrutamiento (BGP, Intercambio de Información con otros Routers) que funcionará en paralelo al Control de Enrutamiento MPLS (Intercambio de Asignación con otros Routers).
- Sobre una Red LAN se debe tener en cuenta los valores Ethertype 8847 HEX y 8848 HEX. Sobre enlaces PPP se debe introducir un nuevo protocolo de Control de Red (NCP) que dentro del ambiente MPLS se conocerá como MPLSCP donde los paquetes estarán marcados con el valor 8281 HEX dentro del protocolo PPP. Sobre una infraestructura Frame Relay en el campo DLCI se tendrá un valor Ethertype 8847 HEX y por último los paquetes que serán transmitidos sobre una Red ATM tendrán el mismo tratamiento que una Red LAN incluyendo los valores Ethertype.
- Teniendo en cuenta los requisitos mínimos de actualización se puede realizar una Migración Parcial o Total de la Red.
- Migrar la parte de Routers de la Red, para redes que utilizan como infraestructura principal ATM se debe ejecutar MPLS como paso provisional.
- Verificar que la Red se encuentre estable y que se realice la Conmutación. Se debe verificar que los Routers principales sólo envíen paquetes etiquetados.

## **9.1 PROCESO DE MIGRACION.**

En el proceso de Migración hacia MPLS resulta imprescindible comenzar valorando cuidadosamente las necesidades de la Red Corporativa, solicitar y evaluar después las propuestas de diversos proveedores y sólo una vez completadas estas fases, proceder a la implementación de los servicios.

### 9.1.1 PASO 1 ANALISIS DE NECESIDADES.

En esta fase, la empresa deberá documentar los siguientes puntos:

- **Ancho de Banda:** Número de sedes y Ancho de Banda requerido en cada una.
- **Dispositivos:** Tipos de dispositivos y sus configuraciones.
- **Aplicaciones:** Cuántas aplicaciones existen, de qué aplicaciones se trata cada una, con qué frecuencia son utilizadas y por quién, etc. ¿?.
- **Características de la Aplicación:** En este punto conviene plantearse preguntas como: ¿son insensibles a la latencia?, ¿son interactivas?, ¿en situaciones típicas, cuánto Ancho de Banda consumen?, ¿cómo varían en función del momento del día/semana/año?, etc.
- **Otras Redes:** Los responsables del Proyecto habrán de asegurarse de incluir aquellas aplicaciones que en el momento de la valoración puedan estar sobre otras redes (en particular, la voz y el video). Habrá que documentar la utilización de voz, video y conferencia, no solo la actual, sino también la que pueda preverse para el futuro según los proyectos planificados.
- **Planes Futuros:** Los requerimientos de capacidad de Red pueden cambiar drásticamente cuando, por ejemplo, una nueva aplicación ERP en pruebas inicie a ser desplegada en Producción. Conviene tener en consideración cualquier aplicación que se tenga intención de introducir a corto y mediano plazo.
- **Garantía de Servicio:** Documentar de la manera más precisa posible las actuales garantías y disponibilidad. Deberán reflejarse cuidadosamente en los SLA que finalmente se firmen con el proveedor de servicios.

### **9.1.2 PASO 2 SOLICITUD DE PROPUESTAS (RFP – REQUEST FOR PROPOSAL).**

Dado que la mayoría de los operadores van sustituyendo gradualmente sus servicios WAN convencionales por MPLS, las empresas que la adopten no sólo conseguirán beneficios de índole económica, sino que también estarán mejor posicionadas para crecer según sus necesidades. Pero, como ocurre con cualquier tecnología de red existen muchos factores a considerar cuando se trata de seleccionar el proveedor MPLS más adecuado. Antes de iniciar el proceso de solicitud de propuestas deben tener en consideración algunas cuestiones específicas, clave para los servicios basados en MPLS, entre ellas se encuentran:

- **¿Cuándo?:** Con qué tiempo de antelación debe comenzarse este proceso dependerá del número de sitios y de zonas geográficas cubiertas por el proyecto, así como el estado de partida de la red. Pero cualquier proceso RFP debería iniciarse al menos seis (6) meses antes del momento de la puesta en funcionamiento de los servicios, ocho (8) meses sería aún mejor. Aunque los pioneros en adoptar MPLS dedicaron varios años a negociar con sus operadores, esto ya no es necesario porque el mercado está mucho más maduro y las ofertas más definidas.
- **Tipos de Acceso y Servicios:** Ante las múltiples variantes de servicios basados en MPLS, el principal factor diferenciador, desde la perspectiva del usuario, reside en las tecnologías de acceso. Por ello, las empresas deberán analizar si los servicios que les ofrece un determinado operador se suministran, por ejemplo, sobre conexiones ópticas o sobre cobre; si existen opciones inalámbricas; si el operador está ofreciendo Ethernet nativa, IP, o servicios heredados como Frame Relay y ATM; o si podrá conectar a los usuarios remotos a la red vía VPN. Deberán pedir a los proveedores detalles al respecto sobre cada servicio que propongan, incluidas las especificaciones en las que se basan y el equipamiento que están utilizando.

- **Interfaces Network-to-Network (NNI):** En la medida de lo posible, conviene mantener todos los sitios corporativos sobre la red de un mismo operador (con la posible excepción de contratar enlaces de múltiples operadores para conseguir redundancia en los sitios críticos), habrá además, que preguntar por las estrategia NNI de sus operadores, ya que pocos le ofrecerán acuerdos SLA de extremo a extremo para los sitios que queden fuera de su Red. También se debe preguntar por la lista de proveedores con los que haya establecido NNI efectivas y su proceso de certificación para añadir nuevos proveedores a esa lista, así como qué garantías de servicios pueden ofrecer y cómo se gestiona la recuperación de problemas cuando se produce entre NNI cruzadas. Cuanta más información al respecto, mejor podrán gestionarse las conexiones entre operadores.
- **Monitorización continuada:** Convendrá que la empresa también pregunte a los proveedores sobre (y se solicite un presupuesto) la monitorización de los servicios. El operador probablemente asegurará que monitorizará “cualquier cosa que el cliente solicite”, pero conviene verificarlo y disponer de herramientas propias para comprobar que es cierto.
- **Evaluación de las necesidades de Backup:** En muchos casos, el Backup para redes basadas en tramas se proporciona por la misma red RDSI que utiliza también como infraestructura de videoconferencia, pero con MPLS, las redes RDSI pueden llegar a desaparecer. Por ello, conviene discutir en detalle con los operadores las opciones de Backup disponibles.
- **Calidad y Niveles de Servicio:** Por último, a la hora de lanzar el proceso de solicitud de propuestas, la empresa debería pedir información detallada sobre garantías de calidades y niveles de servicio (QoS y LoS).

### **9.1.3 PASO 3 IMPLEMENTACION.**

Se pueden discriminar las propuestas de los proveedores a una lista de tan sólo dos o tres operadores capaces de satisfacer los requerimientos corporativos, para trabajar con ellos para elaborar acuerdos que respondan a los objetivos técnicos, financieros y operacionales fijados. Habrá que tomarse en consideración el hecho de que el uso de la red cambiará con total seguridad con el tiempo y que ésto podría llegar a afectar los términos y condiciones del contrato, particularmente a los compromisos mínimos de ingresos anuales.

Será conveniente que la empresa no pase por alto trazar un mapa de los requerimientos de aplicación correlacionándolos con una clase de servicio concreta. Los técnicos del operador no comprenderán necesariamente que la aplicación ERP es de misión crítica para la empresa y necesita rendimiento en tiempo real, por lo tanto, se debe trabajar conjuntamente para definir una Red MPLS que ofrezca los niveles de servicio adecuados a sus aplicaciones actuales o previstas.

Es aconsejable reflejar en el contrato con el proveedor también el Soporte de la futura estrategia corporativa, si la empresa está planificando migrar a voz sobre IP, deberá asegurarse de que su contrato no la penalizará por hacerlo, es decir, si se prevé que necesitará incrementar el ancho de banda para acomodar tráfico de voz y video, se debe asegurar que de los circuitos de acceso podrán manejar la carga y que el contrato no incluya cláusulas que conviertan los futuros incrementos en un recurso prohibitivamente costoso.

Así mismo, se debe prestar atención a lo relacionado con la planificación y ampliación de capacidad y el contrato deberá fijar los términos y condiciones bajo los cuales los operadores ampliarán la red del cliente, ya sea añadiendo nuevos sitios o aumentando el ancho de banda de los ya conectados a la red, en esta parte es bien importante formular las siguientes inquietudes como cuánto costarán las ampliaciones, cuánto tiempo llevará realizarlas y con cuánto tiempo de anterioridad deben solicitarse estas ampliaciones. Con todo este trabajo de "Pre-diseño" se evitan problemas a futuro y el proceso de puesta en marcha será mucho más sencillo.

En caso de estar planificando la convergencia de voz y datos vía VoIP al mismo tiempo que se despliega MPLS, es mejor abordar cada proyecto por separado. Quizá no sea imprescindible suspender el proyecto de VoIP mientras se lanza la Red MPLS, pero es necesario garantizar la dedicación de los recursos suficientes a cada uno de ellos, también puede darse la posibilidad de que el proveedor de MPLS insista a la empresa para actualizar su equipamiento, especialmente su CPE y los Routers WAN de sucursales. El tiempo y la energía requeridos para la reconfiguración y actualización del equipamiento WAN anticuados son mucho mayores de lo que muchos imaginan, debido a que la tecnología ha avanzado bastante en los dos (2) o tres (3) años, particularmente en lo que respecta a equipos para sucursales.

Finalmente, no se puede pasar por alto la forma en que la Migración hacia MPLS afectará las necesidades de talento técnico dentro de la organización, dado que los operadores asumen la responsabilidad de gran parte de las funciones de gestión, configuración y arquitectura, los clientes tienden a considerar que pueden lanzarse a ello con menos conocimiento interno del que resulta conveniente. La necesidad de los recursos internos no desaparece por completo ya que siempre ha de contarse con alguien capaz de comprender los protocolos de encaminamiento utilizados.

MPLS ofrece a las empresas muchos beneficios, incluidos priorización de tráfico, rendimiento de aplicaciones predecible y QoS integradas, dado que se trata de una tecnología altamente escalable y menos compleja que sus predecesoras, además, las empresas ganan en flexibilidad, en reducción y control de costes y en carga de trabajo. Es importante que cualquier organización que plantee introducir una solución WAN basada en MPLS entienda los beneficios que ello puede proporcionarle en comparación con su actual infraestructura de red, pero también hasta qué punto un servicio y su soporte varía de unos proveedores a otros (desde las opciones de acceso local hasta las calidades de servicio y los protocolos de enrutamiento).

### 9.1.3.1 NO SÓLO VELOCIDAD.

- La variante más utilizada para encapsular servicios orientados a conexión ATM y Frame Relay sobre redes IP recibe el nombre de **PWE3 (Pseudo Wire Edge to Edge Emulation)**. PWE3 funciona definiendo túneles punto a punto a través de la troncal MPLS y por tanto trabaja bien con protocolos de red orientados a circuitos.
- MPLS también puede utilizarse para soportar protocolos LAN no orientados a conexión, aunque en este contexto no es la solución mas adecuada ya que en este tipo de conexiones “connectionless” - principalmente Ethernet- es preferible una especificación diferente, denominada servicio LAN Privada Virtual (VPLS). VPLS soluciona algunos desafíos específicos relacionados con la extensión de Ethernet sobre redes WAN o de área metropolitana, como es la escalabilidad y la disponibilidad.
- Diversos fabricantes –incluidos Nortel, Extreme y Siemens- están apoyando un tercer enfoque alternativo a MPLS para el transporte de Ethernet sobre áreas metropolitanas denominado **PBT (Provider Backbone Transport)**. Esta propuesta se basa en la utilización de las etiquetas IEEE 802.1 VLAN ya existentes para llevar servicios Ethernet a través de la red de los Proveedores.
- Finalmente una variante de MPLS denominada **GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching)**, la cual dota a los routers de la capacidad de señalizar de manera inteligente el nivel óptico, permitiendo a los proveedores establecer, cambiar o conectar enlaces ópticos en tiempo real, gracias a ésto GMPLS puede ofrecer servicios de “longitud de onda óptica” basado en MPLS.

### 9.1.3.2 GESTION INTELIGENTE DE TRÁFICO

- Básicamente, MPLS se encarga de dirigir el tráfico IP a una variedad de rutas, en lugar de dirigir por la única descubierta por un protocolo de Gateway interno como IGP, el objetivo es evitar congestiones o fallos, como también hacer posible la aplicación de clases de servicio



particulares o garantizar niveles de servicio específicos según el tipo de tráfico.

- Los Routers y Conmutadores MPLS añaden a los paquetes etiquetas con información sobre parámetros como destinos, tipos de servicio asignados y red privada virtual a la que pertenecen a medida que el paquete va atravesando la red, otros enrutadores y conmutadores construyen tablas asociando los paquetes y las rutas (Label Switched Path – LSP) más adecuadas para encaminarlos según las etiquetas, teniendo en cuenta que las etiquetas hacen referencia a los caminos y no a los puntos finales, varios paquetes con el mismo punto final como destino pueden utilizar diferentes LSP para llegar a él.

## **9.2 BENEFICIOS DE MPLS.**

La migración a IP está provocando profundos cambios en el sector de las telecomunicaciones y configura uno de los retos más importantes para los ISP, inmersos actualmente en un proceso de transformación de sus infraestructuras de cara a incorporar los beneficios de esta tecnología. MPLS nació con el fin de incorporar la velocidad de Conmutación del Nivel 2 al Nivel 3; a través de la conmutación por etiqueta.

## **9.3 CONSIDERACIONES PARA MIGRAR HACIA MPLS.**

Como se ha mencionado anteriormente MPLS es una solución a la necesidad de Integrar servicios como lo son voz, datos y video sobre una misma plataforma, por ésto es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones para tomar la decisión de migrar la actual infraestructura a una basada en MPLS.

- **FLEXIBILIDAD**

Cada compañía tiene autonomía en el diseño de su Red, es decir diseña su infraestructura interna de acuerdo a sus necesidades y disponibilidad económica.

- **ESCALABILIDAD**

La escalabilidad ahorra trabajo en el sentido que si se desea montar un nuevo punto en la red sólo será necesario configurar el equipo **SP (Service Provider)** y no es necesario reconfigurar todos los equipos (puntos) de la red como se realizaba anteriormente con las redes Frame Relay y ATM.

- **ACCESIBILIDAD**

La arquitectura MPLS permite utilizar cualquier tipo de tecnología de acceso (XDSL, Wíreless Ethernet) para lograr establecer una conexión entre el usuario y el proveedor de servicios.

- **EFICIENCIA**

En una infraestructura 100% IP (aquellas empresas en donde todo el tipo equipamiento involucrado y las aplicaciones utilizadas son basadas en IP), el uso de servicios de transporte ATM o Frame Relay obligan al usuario a preocuparse por un costo adicional por el Overhead que los productos de transporte introducen.

- **CALIDAD DE SERVICIOS (QoS) Y CLASES DE SERVICIO (CoS)**

Muchas veces el envío de información de un punto a otro no es necesario que sólo llegue la información sino que algunas veces se requiere cierta prioridad y calidad, lo cual se logra con ciertas técnicas y 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 MPLS reside en su capacidad para aplicar calidades de servicio (QoS)

mediante la priorización del tráfico en tiempo real, una prestación clave cuando se quiere introducir voz y video en las redes de datos.

- **ADMINISTRACIÓN**

La administración para este tipo de redes es transparente para el usuario ya que es gestionada por el SP (Service Provider), esto debido a que está implementado sobre la infraestructura del SP, el cual también se encarga del enrutamiento de los paquetes.

- **MONITORIZACIÓN Y SLAS**

Las redes MPLS requieren de un constante soporte por parte de los SP debido al monitoreo y control permanente, además de proveer algunos tipos de acuerdos de servicios para garantizar y asegurar la estabilidad que el cliente requiere.

- **FÁCIL MIGRACIÓN**

Debido a que la tecnología MPLS es simple, se puede decir que las actividades de suministro, gestión y mantenimiento son sencillas para el SP, lo cual favorece directamente al usuario.

- **SEGURIDAD**

Los niveles de seguridad proporcionados por una red MPLS son muy similares a los entregados por los Circuitos Virtuales de Frame Relay y ATM, aunque en algunos casos puede obtener características como lo son encriptación y autenticación generando así mayor seguridad.

- **AHORRO EN COSTOS**

La implementación de una Red MPLS respecto a los costos se puede decir que tiene varios puntos a favor, entre ellos tenemos: los equipos del cliente no requieren de un equipo específico ni con características técnicas complejas.

Este costo también se refleja en la convergencia de servicios, es decir, que la integración de varios servicios en una misma plataforma

es más económico que en una plataforma donde se presta cada uno de estos (Voz, datos y Video) por separado.

Dependiendo de la combinación específica de aplicaciones y de la configuración de red de una empresa, los servicios basados en MPLS pueden reducir los costos entre un 10 y un 25% frente a otros servicios de datos comparables (como Frame Relay y ATM), y a medida que se vayan añadiendo a las infraestructuras de red, el tráfico de video y voz, los ahorros de costos comienzan a dispararse, alcanzando niveles de hasta un 40%.

- **AHORROS EN GASTOS DE CAPITAL**

A través de la plataforma MPLS o bajo tecnología IP, los proveedores de servicios pueden integrar servicios de Voz a sus redes de datos de forma fácil y a bajos costos.

- **ECONOMÍAS DE ESCALA**

Al compartir recursos de la red entre muchas empresas tanto Pymes como Grandes, los proveedores de servicios pueden reducir sus gastos de capital y de operación.

- **MAYORES MÁRGENES**

Los proveedores de servicios pueden proteger sus márgenes de ganancias al empaquetar servicios de voz de valor agregado y distinguirse de otros competidores.

- **NUEVAS OPORTUNIDADES DE INGRESOS**

Los proveedores de servicios cuentan con una plataforma versátil para introducir nuevos servicios de valor agregado tales como videoconferencia y mensajes unificados.

- **RENDIMIENTO MEJORADO**

Debido a la naturaleza de “muchos a muchos” de los servicios de MPLS, 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.

- **RECUPERACIÓN ANTE DESASTRES**

Los servicios basados en MPLS mejoran la recuperación ante desastres de diversas maneras. En primer lugar, permiten conectar los centros de datos y otros emplazamientos clave mediante múltiples conexiones redundantes a la nube MPLS y, a través de ella, a otros sitios de la red. Además, los sitios remotos pueden ser reconectados fácil y rápidamente a las localizaciones de Backup en caso de necesidad: a diferencia de lo que ocurre con las Redes ATM y Frame Relay, en las cuales se requieren circuitos virtuales de Backup permanentes o conmutados. Esta flexibilidad para la recuperación del negocio precisamente es una de las principales razones por la que muchas empresas se están encaminando por esta tecnología.

- **PREPARACIÓN PARA EL FUTURO**

La mayoría de las empresas han llegado a la conclusión de que MPLS representa “el camino del futuro”. La inversión en servicios WAN convencionales, como los citados ATM y Frame Relay, prácticamente se ha paralizado. Según Current Analysis, si hoy el 44% de las empresas todavía utilizan Frame Relay y un 25% ATM, estos porcentajes pronto bajarán a favor de las nuevas alternativas como IP VPN o Carrier Ethernet, de las que MPLS constituye hoy uno de sus principales soportes.

<b>SERVICIOS BASADOS EN MPLS</b>	
Nivel 3	Border Gateway Protocol (BGP) / VPN MPLS basadas en RFC 2547.
Nivel 2	Ethernet: Servicios de LAN Privada Virtual (VPLS); Transport-MPLS (T – MPLS); Provider Backbone Transport (PBT).
Nivel 1 (Óptico)	Generalized MPLS (GMPLS).

TABLA 5. SERVICIOS BASADOS EN MPLS.

#### **9.4 FACTORES CLAVE PARA ELEGIR OPERADOR MPLS.**

- **Compromisos de Servicio.**

Dado que MPLS soporta rendimiento de aplicación predecible, los Proveedores pueden garantizar que el tráfico satisficará niveles de servicio específicos. Entre los grandes operadores, por ejemplo, las garantías relativas a la variación de la latencia oscilan entre uno (1) y diez (10) milisegundos, es decir ninguna garantía en absoluto. De manera similar, mientras algunos operadores ofrecen etiquetas CoS sólo en el extremo, otros soportan etiquetas de extremo a extremo y proporcionan SLA específicos para cada clase.

Entre las cuestiones claves a preguntar al operador sobre los compromisos de servicio se incluyen:

1. ¿Se respetan las etiquetas CoS de extremo a extremo?
2. ¿Cuáles son las garantías de latencia, tasas de reparto y entrega de tránsito?
3. ¿Cómo comprobar si los compromisos se están cumpliendo?

- **La Red.**

En contraste con los entornos que siguen tipologías en estrella o con las arquitecturas malladas parcialmente, como Frame Relay, la arquitectura completamente mallada de MPLS proporciona rendimiento sitio-a-sitio, minimizando así el retardo y el jitter (Latencia), y eliminando el ancho de banda adicional requeridas en el host central para soportar todo el tráfico de la red en un mismo punto. En MPLS, el tráfico toma el camino más corto posible (o el más adecuado, según diferentes parámetros, como el nivel de congestión de las distintas rutas) para llegar a su destino.

Los centros de datos redundantes que se pueden crear fácilmente en las redes MPLS brindan además a las empresas opciones más flexibles de recuperación ante desastres, al eliminar la dependencia de la localización del host, esta arquitectura de “cualquiera-a-cualquiera” reduce complejidad, haciendo más sencillo para las organizaciones administrar y añadir nuevas localizaciones o redirigir prioridades de tráfico dinámicamente según las condiciones de la red.

MPLS constituye una tecnología WAN altamente flexible que también permite diferentes opciones de acceso local, distintos niveles de CoS y coberturas de red variables, aunque puede trabajar independientemente de las tecnologías de acceso e integrarse con casi cualquier protocolo de red, muchos operadores impiden a las empresas utilizar más de un tipo de acceso local debido a sus propias limitaciones de Hardware o acceso, cuando se presenta este tipo de casos el resultado es una menor flexibilidad, escalabilidad y ahorro de costos. De la misma manera, la amplitud o limitación de la cobertura de red del operador impactan sobre el costo y la facilidad de escalar cuando se trata de añadir o trasladar localizaciones.

Entre las cuestiones clave sobre las que se debe solicitar información a los proveedores respecto a los accesos a la red y la cobertura de sus servicios se incluyen:

1. ¿Soporta múltiples opciones de acceso local, incluidas Frame Relay, Redes Privadas y XDSL sobre una misma Red MPLS?

2. ¿A qué porcentaje de localizaciones de la empresa se puede ofrecer cobertura el operador?
3. ¿Puede el operador asegurar el tráfico sobre toda su Red?
4. ¿Cuál es el costo de la red?

- **Gestión y Monitorización de Red.**

La complejidad de las Redes dinámicas –como las infraestructuras MPLS- demanda una extensa documentación para una adecuada gestión. Como las herramientas de gestión Online del proveedor de Servicios pueden reducir enormemente la carga de la plantilla TI de la empresa, es importante entender el alcance y el costo de los servicios gestionados que ofrece cada operador. Así como si dichos servicios incluyen el seguimiento y monitorización de la red en su totalidad o sólo una parte.

Entre las cuestiones clave a preguntar al operador de servicios sobre su oferta de servicios gestionados se incluyen:

1. ¿Se aplica algún cargo adicional por los servicios gestionados (Reporting, Monitorización de Red, etc.?)
2. ¿Se suministra a la red con un equipo de gestión de Proyecto dedicado y con Soporte 7X24 durante todo el tiempo de vida del contrato?
3. ¿Existe alguna carga adicional por la gestión de proyecto?
4. ¿Segue y monitoriza el proveedor la red en su totalidad?
5. ¿Ofrece el proveedor servicios de instalación?
6. ¿Realiza pruebas de respuesta de aplicación durante la instalación MPLS?

- **Protocolos de Encaminamiento.**

Antes de optar por uno u otro operador cabe recordar que MPLS soporta múltiples protocolos de encaminamiento IP, como encaminamiento estático, BGP, OSPF y EIGRP. Sin embargo, muchos proveedores fijan límites sobre su soporte, restringiéndolo sólo a un par de ellos. Estas limitaciones cargan al cliente con la necesidad de emplear recursos TI internos dotados de la experiencia necesaria para establecer y mantener los procesos requeridos en la



conversión de protocolos. Este proceso adicional supone además una carga añadida para la red y puede impactar negativamente su rendimiento.

Entre las cuestiones clave a preguntar a los proveedores MPLS sobre sus protocolos de enrutamiento se encuentran:

1. ¿Es la oferta del proveedor neutral respecto al protocolo de encaminamiento?
2. ¿Será necesario que la empresa traduzca protocolos de enrutamiento?
3. ¿Cómo impactarán las limitaciones de los protocolos de Routing del operador sobre el rendimiento de la Red?

- **Seguridad.**

Con la redes MPLS, las empresas se benefician de la misma (o mejor) seguridad y privacidad proporcionada por la redes de Nivel 2, al tiempo que ganan la flexibilidad y escalabilidad de una arquitectura completamente mallada. MPLS esconde el núcleo de su infraestructura y protege contra el Spoofing de etiquetas, haciéndolas resistentes a los ataques. En ella, el tráfico de cada cliente es separado lógicamente y físicamente dentro de la red del operador, la dirección IP del cliente es completamente privada.

Entre las cuestiones clave a preguntar en relación a la seguridad de la Red se encuentran:

1. ¿Es la red MPLS parte de una infraestructura compartida que incluya acceso a Internet?
2. ¿Cuenta el proveedor con Routers de extremo diferentes para los accesos Internet y VPN?

## **9.5 IMPLEMENTACIONES DE MPLS.<sup>63</sup>**

Veamos los distintos tipos de implementaciones actuales, en concreto MPLS como una solución IP sobre Ethernet, IP sobre ATM, e IP sobre Frame Relay. No se contempla la aplicación de MPLS a las tecnologías de próxima generación, conocida como GMPLS (Generalizad MPLS), por encontrarse aún en proceso de estudio y estandarización por parte del IETF. GMPLS es una extensión natural de MPLS para ampliar el uso de MPLS como un mecanismo de Control y Provisión, no únicamente de caminos en dispositivos basados en paquetes, sino también de caminos en dispositivos no basados en paquetes; como los conmutadores ópticos de señales multiplexadas por división en longitud de onda, los conmutadores de fibras ópticas y los conmutadores de señales digitales multiplexadas por división en el tiempo. Es decir, GMPLS busca una integración total en la parte de control de las redes de conmutación de paquetes IP y las redes ópticas SONET/SDH y DWDM; dando lugar a las redes ópticas inteligentes de próxima generación, cuya evolución final será la integración de IP directamente sobre DWDM utilizando algún mecanismo de encapsulamiento como los “Digital Wrappers”.

### **9.5.1 IMPLEMENTACIÓN DE MPLS COMO UNA SOLUCIÓN IP SOBRE ETHERNET.**

Fast Ethernet o Gigabit Ethernet, es la conocida como IP pura puesto que IPv4 es un protocolo diseñado mucho antes que MPLS, en este caso, la etiqueta MPLS está ubicada después de la cabecera de nivel 2 y antes de la cabecera IP. Los LSR saben cómo conmutar utilizando la etiqueta MPLS en vez de utilizar la cabecera IP. El funcionamiento de IPv4 ha sido totalmente satisfactorio, no obstante, el sorprendente crecimiento de Internet evidenció importantes carencias, como: la escasez de direcciones

---

<sup>63</sup> <http://www.ramonmillan.com/index.htm>

Ramon J. Millan Tejedor, José M. Huidobro Moya  
Septiembre – Octubre 2002  
Fecha visita: 20 de Septiembre de 2008

IP, la imposibilidad de transmitir aplicaciones en tiempo real y los escasos mecanismos de seguridad.

Estas limitaciones propiciaron el desarrollo de la siguiente generación del Protocolo Internet o IPv6. La versión IPv6 puede ser instalada como una actualización al Software en los dispositivos de red de Internet e interoperar con la versión actual IPv4, produciéndose esta migración progresivamente durante los próximos años. En este caso, la etiqueta MPLS forma parte de la propia cabecera IPv6.

### **9.5.2 IMPLEMENTACIÓN DE MPLS COMO UNA SOLUCIÓN IP SOBRE ATM.**

Primero cabe indicar que MPLS no fue desarrollado para reemplazar ATM, sino para complementarlo. De hecho, la aparición de Switches ATM e IP con Soporte de MPLS, ha integrado las ventajas de los enrutadores IP y los switches ATM y ha superpuesto una mejora en la relación precio/rendimiento de estos dispositivos. La diferencia principal entre MPLS y otras soluciones de IP sobre ATM, es que las conexiones MPLS se establecen utilizando LDP y no por los protocolos de señalización ATM tradicionales, tales como **PNNI (Private Network to Network Interface)**. Por otro lado, MPLS elimina la complejidad de hacer corresponder el direccionamiento IP en las tablas de Conmutación de ATM, puesto que LDP entiende y utiliza direcciones IP y los protocolos de encaminamiento utilizados en las Redes MPLS ya que son los mismos que se utilizan en las redes IP. En este caso, la etiqueta es el valor del **VPI/VCI (Virtual Path Identifier/Virtual Channel Identifier)** de la cabecera de la celda ATM.

Finalmente, MPLS también se ha desarrollado como una solución IP sobre Frame Relay, en este caso, la etiqueta es el **DLCI (Data Link Control Identifier)** de la cabecera Frame Relay.

## **9.6 PROBLEMÁTICA DE MPLS.**

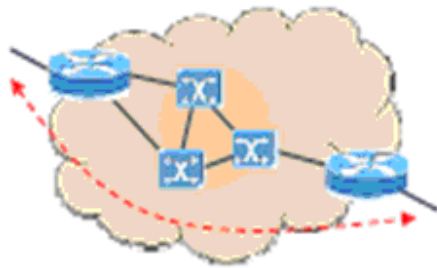
MPLS no es tan flexible precisamente porque no se han definido los detalles de cómo se deben utilizar ciertas características o el modo en que se deben implementar, sino que se deja en manos de cada fabricante de soluciones de red.

Esto, unido al hecho de que MPLS es un protocolo joven se tiene que existan funcionalidades como la calidad de servicio, la reestructuración dinámica de los LSP cuando un enlace se cae, las clases de servicio y un montón de características más no se estén usando en pleno, ya que aún siguen especificándose estándares y borradores al respecto.

Se espera que en algunos años el protocolo MPLS se encuentre en una madurez total y que sus características principales se encuentren totalmente definidas y funcionando al cien por ciento. Por otro lado, al ser el protocolo IP quien predomina en la mayor parte de las redes, las industrias de Hardware y los investigadores están desviando un poco su atención del protocolo MPLS y están buscando soluciones IP/MPLS/ATM para dar solución a lo que hoy en día se encuentra en cualquier troncal.

### **9.6.1 TENDENCIAS**

Se tiene claro que las redes físicas son cada vez más fiables y que la fibra óptica, el cableado estructurado y cables de categorías cada vez más altas con una frecuencia potencial de errores mínimos están siendo cada vez más habituales, por lo tanto no vale la pena crear protocolos que se encarguen demasiado del control de errores, retransmisiones, etc.



*Red con control de errores extremo a extremo. No se pierde tiempo ni recursos en probar errores, corregirlos o hacer retransmisiones en el interior de la red.*

*Con una red fiable es muy eficiente.*



*Red con control de errores punto a punto. Se pierde mucho tiempo y recursos en comprobar errores, corregirlos o hacer retransmisiones en el interior de la red.*

*Con una red fiable es poco eficiente.*

FIGURA 37. TENDENCIAS DE LA RED MPLS.<sup>64</sup>

Partiendo de esta idea y de que los equipos terminales son suficientemente potentes, se están generando protocolos muy simples en cuanto a su estructura y se deja cada vez más el control de la transferencia a los host extremo a extremo y no punto a punto. MPLS no es la excepción por lo tanto funciona de esta forma, la preocupación principal se encuentra en tener que fabricar día tras día conmutadores más veloces que ayuden a mejorar el viaje de los paquetes en la red, puesto que en el momento éste es el punto en donde se generan los cuellos de botella de las redes.

Por lo tanto, se busca generar protocolos con control fuera de banda, es decir, se busca crear una única red para todos los tipos de tráfico y a su vez distinción entre ellos para otorgarles más o menos recursos en las que el trabajo más pesado se realice extremo a extremo por los nodos emisores y receptores bajo la suposición de que la red física es fiable, cabe mencionar que es en éste punto donde MPLS se encuentra enfocado.

<sup>64</sup> Referenciado de Alta Velocidad y Calidad de Servicio en Redes IP  
García Tomas Jesús, Raya Cabrera José Luís, Raya Víctor Rodrigo  
Alfa omega, 2002  
Fecha visita: 20 de Septiembre de 2008

## 10 CONCLUSIONES.

- ❖ La conmutación por Etiquetas Multiprotocolo (MPLS) combina el enrutamiento de la capa de red con la conmutación de la capa de enlace para el envío de paquetes utilizando etiquetas cortas de longitud fija, separando el plano de control del plano de datos.
- ❖ MPLS ofrece nuevos servicios los cuales no podían ser soportados con las técnicas IP convencionales, es decir, es la evolución natural de las redes existentes que necesitan converger en sistemas que puedan soportar las capacidades necesarias que el crecimiento de Internet implica.
- ❖ MPLS es el ultimo paso en la evolución de las tecnologías de conmutación multinivel (o conmutación IP) ya que funciona sobre cualquier otro tipo de tecnología de transporte.
- ❖ Con el rápido crecimiento de Internet y el establecimiento del protocolo IP como protocolo de capa de red en las distintas topologías, los inconvenientes del enrutamiento clásico se han vuelto cada vez más visibles para operadores y usuarios, deficiencias que van desde los problemas con la velocidad, el retardo y la escalabilidad hasta el manejo de la calidad de servicio (QoS) e ingeniería de tráfico, han hecho que se presenten distintas soluciones pero ninguna independiente de las diferentes tecnologías ni de los diferentes fabricantes y fue de ésta necesidad que MPLS triunfó como única solución para aumentar el desempeño de las redes actuales.
- ❖ MPLS es un protocolo que sigue el principio de ser compatible con lo que existe en el mercado actualmente, con posibilidad de sustituir estas infraestructuras en el futuro sin problemas.
- ❖ Gracias a MPLS se tiene como tendencia futura el protocolo GMPLS, el cual ya se encuentra en proceso de estudio y mejoramiento para que las redes puedan alcanzar velocidades superiores a las que se tienen en la actualidad.

- ❖ MPLS es una tecnología abierta y flexible que permite buena gestión del tráfico y con relativa facilidad de implementación, además, permite ofrecer calidad de servicio de extremo a extremo en las troncales, diferenciación de tráfico, optimización de los recursos y balanceo de carga en la red.
- ❖ El trabajo “MPLS, el presente de las Redes IP” permite que personas con conocimientos mínimos en redes puedan comprender el desarrollo y funcionamiento del protocolo MPLS, además el documento sirve de base para aquellas personas que quieran continuar con el estudio de este protocolo siendo éste un tema bastante amplio el cual permite que muchas personas puedan enfocarse en él, bien sea para investigación o para futuros desarrollos.
- ❖ MPLS permite a los proveedores de servicios ser más competitivos y estar más actualizados en cuanto a avance tecnológico se refiere, también permite que los proveedores de servicios tengan una infraestructura mejor preparada para soportar nuevos clientes y ofrecer muchos mas servicios a sus usuarios finales.

## 11ANEXO 1. ESPECIFICACIONES EQUIPOS JUNIPER SERIE E.



### Serie E

La plataforma Series – E de Juniper Networks es el componente central de borde de la Intranet. Con una arquitectura probada, que ha sido desplegada en diferentes ambientes en las redes de banda ancha más grandes del mundo, la familia Series – E está en capacidad de suministrar múltiples servicios – incluyendo servidores de acceso remoto de banda ancha, servicios de video de banda ancha, accesos dedicados, voz sobre IP, acceso a Internet, servicios de seguridad, network address translation (NAT), entre otras – en una única plataforma. La arquitectura modular de la familia Series – E asegura que los proveedores de servicio requieran desplegar únicamente la cantidad y los tipos de routers que cubran sus necesidades, así como su presupuesto, mientras conservan la habilidad de agregar capacidad y servicios a la medidas de sus necesidades de crecimiento.

Las plataformas Series – E suministran variedades de puertos y de desempeño, así como capacidades flexibles de servicios IP para satisfacer los requerimientos de las Intranets. La habilidad de combinar una gran variedad de interfaces de alto desempeño, desde DS-0 hasta OC-48c/STM-16, con un conjunto de facilidades consistente y con un desempeño predecible, le permite a las plataformas Series – E suministrar aplicaciones críticas en el borde de la red, incluyendo voz, video y datos. El Hardware basado en Multiprotocol Label Switching (MPLS), así como las facilidades de Calidad de Servicio (QoS), aseguran la habilidad para soportar una variedad de tipos de tráfico, que satisfacen los requerimientos de mejor esfuerzo de tráfico IP y los requerimientos de sensibilidad al tiempo de los tráficos tradicionales de ATM y Frame Relay.

La instalación de un router Series - E le permite a los proveedores de servicio ofrecer servicios de acceso dedicados a algunos usuarios, gestión de abonados de banda ancha a otros, y servicios IP de nueva generación a otros. Adicionalmente, cuando se combinan con el sistema de despliegue de servicios SDX-300, los proveedores de servicios cuentan con un nuevo



nivel de control para definir y activar rápidamente servicios basados en políticas IP según las necesidades del cliente.

La familia Series – E incluye cinco modelos: el de alta capacidad denominado ERX-1440, los de mediana capacidad denominados ERX-1410, ERX-710 y ERX-705, y el compacto ERX-310. Todos los modelos cuentan con una gama completa de protocolos de enrutamiento de Internet, incluyendo BGP-4, IS-IS, OSPF y RIP. Los routers de borde de la Series – E suministran capacidades escalables para cientos de miles de usuarios, haciéndolos ideales para proveedores de servicio que operan una gran capacidad de POPs. La familia de la serie – E provee opciones de Swicth Fabric que operan a 5, 10 ó 40 Gbps, y soportan altas densidad de puertos para interfaces WAN en un paquete compacto. Esta gran variedad de opciones de interfaces incluye OC-3/STM-1, OC-12/STM-4, OC-48/STM-16, Fast Ethernet y Gigabit Ethernet, así como DS-1, DS-3, E1 y E3 canalizados.

## 12 ANEXO 2. ESPECIFICACIONES EQUIPOS JUNIPER SERIE M.



### Serie M

El portafolio de productos de la series – M de Juniper Networks combina las mejores capacidades en su clase respecto a IP/MPLS, con una inigualable confianza, seguridad y riqueza de servicios que le permite a los proveedores transformar desde Internet hasta Intranet. La series – M es extremadamente versátil y puede ser desplegada en el borde de la red, en núcleos pequeños y medianos, como router reflector y en aplicaciones de data centers. Sin embargo, las más significativas innovaciones de la serie – M durante los últimos años han expandido en forma dramática sus capacidades de borde. En la actualidad la series – M está siendo desplegado en forma predominante en el borde IP/MPLS para soportar un alto desempeño de servicios de nivel 2 y nivel 3.

Para construir una intranet, el primer paso es desplegar una infraestructura que sea fundamentalmente segura, confiable y con un alto grado de desempeño.

El segundo paso en la transformación es consolidar los servicios en una única infraestructura multiservicio. El borde de una Intranet multiservicio es un punto crítico en esta infraestructura debido a que allí es donde miles de conexiones de clientes empresariales (representados por DSx/VC/VLAN/DLCI) son gestionados, y las VPNs y los servicios son señalizados a través de la red hacia otras plataformas de borde. La plataforma multiservicio de borde debe soportar:

- ❖ Plano de control escalable y estable para miles de interfaces y VPNs.
- ❖ Plano de Forwarding escalable y estable para múltiples servicios por cliente.
- ❖ Seguridad y confiabilidad para miles de clientes en una plataforma.
- ❖ Soporte de servicios de nivel 2 y de nivel 3 actuales y emergentes.
- ❖ Una plataforma multiservicio para maximizar el ROI.

La serie – M satisface estas necesidades para servicios de borde seguros y estables en las más grandes redes a nivel mundial. Construidos con una clara separación entre los planos de control y forwarding, y planos de servicios, los routers de la serie – M soportan múltiples servicios en una sola plataforma – maximizando los ingresos y minimizando los costos operacionales y de capital. Este enfoque del Hardware se combina con el escalable, seguro y confiable software JUNOS, rico en servicios que opera a lo largo de todos los equipos de las series – M y T, asegurando de esta forma gastos operacionales mínimos y continuidad del servicio cuando el operador haga un upgrade a plataformas de mayor tamaño.

Desde la perspectiva del nivel 2 el J-FASE (Juniper Frame and ATM Service Emulation) combinado con el desempeño de la serie – M, permiten una emulación exacta de servicios ATM y Frame Relay sobre MPLS. En la misma plataforma se soportan servicios de Ethernet permitiendo a los operadores capturar ingresos a través de este servicio emergente. Adicionalmente, herramientas como Interworking the VPNs a nivel 2.5, están disponibles para migrar lentamente clientes desde ATM/FR hacia servicios Ethernet como lo dicta la demanda.

Adicionando un mayor valor, la misma plataforma de series – M también suministra servicios de nivel 3 incluyendo el portafolio de VPN más escalable y comprensible de la industria, granular por interfase lógica, QoS, hardware basado en IPv6, amplio rango de soporte multicast, y capacidades de seguridad de alto desempeño tales como NAT, firewall y encriptación IPsec. Este enfoque de la arquitectura y su habilidad para escalar servicios, han demostrado su éxito, ya que Juniper Networks ha suministrado equipos IP/MPLS en más de 600 redes en 47 países incluyendo 24 de los 25 mayores proveedores de red en el mundo.

## 13 BIBLIOGRAFIA.

### RFC

RFC 3031 “ Multiprotocol Label Switching Architecture”, Enero de 2001

RFC 3036 Especificaciones LDP (Enero 2001)

RFC 3037 LDP Applicability (Jan 01)

RFC 2547 BGP/MPLS VPNs Marzo 1999

### Sitios en Internet

[http://www.easynet.com/pdf/whitepaper/wp\\_redesmplsseguridad\\_es.pdf](http://www.easynet.com/pdf/whitepaper/wp_redesmplsseguridad_es.pdf)

<http://www.idg.es/Comunicaciones>

<http://www.ramonmillan.com>

<http://es.wikipedia.org/wiki>

<http://www.rediris.es/rediris/boletin/53/enfoque1.html>

<http://www.monografias.com/trabajos29/informacion-mpls/informacion-mpls.shtml>

<http://internetng.dit.upm.es/ponencias-jing/2005/dl.pdf>

[http://www.idg.es/whitepapers/ES\\_LR\\_MPLS\\_Sonicwall\\_Paperv2.pdf](http://www.idg.es/whitepapers/ES_LR_MPLS_Sonicwall_Paperv2.pdf)

<http://telematica.cicese.mx/i2/mpls/>

<http://www.acens.com/pressroom/la-tecnologia-mpls-al-servicio-de-las-redes-privadas.html>

<http://iie.fing.edu.uy/investigacion/grupos/artes/publicaciones/TesisPablo.pdf>

<http://www.danysoft.com/free/MPLS.pdf>

<http://www.dane.gov.co>

<http://www.cudi.edu.mx/primavera2002/presentaciones/MPLSVPN.pdf>

<http://www.webstudio.es/conectividad/mpls.htm>

[http://www.easynet.com/pdf/whitepaper/wp\\_redesmplsseguridad\\_es.pdf](http://www.easynet.com/pdf/whitepaper/wp_redesmplsseguridad_es.pdf)

<http://telcom2006.fing.edu.uy/trabajos/mvdtelcom-002.pdf>

<http://brsi.blogspot.com/2006/04/algo-acerca-de-mpls-y-sus-posibles.html>

<http://www.convergedigest.com/Bandwidth/archive/010910TUTORIAL-rgallaher2.htm>

[http://gitaca.unex.es/opensimmpls/proyecto/documentacion/pdf/GoSSobreMPLS\\_ES.pdf](http://gitaca.unex.es/opensimmpls/proyecto/documentacion/pdf/GoSSobreMPLS_ES.pdf)

<http://www.cinit.org.mx/articulo.php?idArticulo=14>