

Diseño del Backbone de la red óptica metropolitana con tecnología MPLS para un Proveedor de Servicios de Internet dentro del Distrito Metropolitano de Quito

Reuter A.* Jiménez M.*

* Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Quito, Ecuador (e-mail: anett_nicol7@hotmail.com ; maria.jimenez@epn.edu.ec)

Resumen: Este documento contempla el diseño del Backbone MPLS para un ISP dentro del Distrito Metropolitano de Quito. Se exponen aspectos teóricos de la tecnología MPLS, tales como: los componentes físicos y funcionales, la estructura de una etiqueta MPLS, su funcionamiento y aplicaciones; asimismo, en cuanto a la fibra óptica se abordan aspectos como: tipos de fibra, estructuras de cables de fibra óptica y alternativas para su instalación. Para el diseño del Backbone MPLS se realiza un análisis de la situación actual de la red del ISP, del tráfico que cursa para determinar curvas de crecimiento que permitan proyectar dicho tráfico a futuro, se determinan los requerimientos de los equipos considerados dentro del diseño y la correspondiente selección de: los equipos del Backbone MPLS, el tipo de fibra, de cable óptico y el método de tendido más adecuado.

Palabras clave: MPLS, LSR, LSP, FEC, fibra óptica.

Abstract: This document involves the design of a MPLS core network for an ISP (Internet Service Provider) in Metropolitan District of Quito. Theoretical aspects of MPLS technology have been included such as: the physical and functional components, the structure of an MPLS label, its operations and applications, also optical fiber aspects (types of fiber, cable structures and installation alternatives). In the design of MPLS core network considerations of different aspects have been included: the current state of ISP, traffic statistics of the network were analyzed to establishing growth curves to get a traffic forecast; additionally, equipment for MPLS core network, type of fiber, optical cable and its most appropriate installation method were selected.

Keywords: MPLS, LSR, LSP, FEC, optical fiber.

1. INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento en la demanda de servicios de telecomunicaciones y de aplicaciones comerciales, educativas y de investigación, donde se transmiten voz, datos y video, establece la necesidad de contar con una tecnología fiable, de gran rendimiento y altamente escalable que permita cumplir con todos los requerimientos de ancho de banda que los usuarios soliciten.

MPLS (*MultiProtocol Label Switching*) es una tecnología que actualmente ocupa un lugar preponderante dentro de las redes de transporte, su característica más destacable es que basa el reenvío de paquetes en etiquetas adosadas a cada paquete, las cuales se ubican entre los encabezados de capa 2 y capa 3, logrando que los dispositivos de entrada y salida sean los únicos en la red que realizan funciones

de enrutamiento, de esta forma se tiene mayor rapidez en el tratamiento de los paquetes porque los elementos del interior de la red solo realizan una conmutación en base a la etiqueta de cada paquete.

Con el diseño propuesto se pretende ofrecer al ISP una alternativa para el desarrollo de su propia Red Óptica MPLS, la cual le permitirá ampliarse en el mercado de clientes aumentando el tráfico cursado, reduciendo tiempos de procesamiento y brindando Calidad de Servicio a aplicaciones que lo requieran.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA TECNOLOGÍA MPLS

MPLS es una tecnología que permite enviar paquetes de manera eficiente a través de una red, gracias a las etiquetas MPLS de 4 bytes adosadas a los paquetes IP, que permiten

reducir el procesamiento de paquetes en los dispositivos de la red, pues el análisis del encabezado de capa 3 se realiza exclusivamente cuando el paquete ingresa o sale del dominio MPLS y, luego al interior se reenvía al siguiente dispositivo mediante una simple inspección de las etiquetas adosadas a los paquetes.

2.1 Planos de la arquitectura MPLS

La arquitectura MPLS se encuentra dividida en dos planos:

- (1) *Plano de Control*: Se encarga de intercambiar la información de enrutamiento; crear, mantener e intercambiar las etiquetas entre dispositivos adyacentes; y, construir la Tabla de Enrutamiento IP (RIB) mediante la información que proporcionan los protocolos de enrutamiento.

En este plano se encuentran las tablas: RIB (Routing Information Base), que proporciona información de las rutas hacia una red destino, y LIB (Label Information Base), donde a una red destino se le asigna una etiqueta de significado local asociada a una etiqueta de siguiente salto.

- (2) *Plano de Datos*: Se encarga de conmutar los paquetes entrantes en base a direcciones destino y a etiquetas. En este plano se encuentran las tablas: FIB (*Forwarding Information Base*), que contiene la información necesaria para reenviar los paquetes IP no etiquetados, y LFIB (*Label Forwarding Information Base*), que se usa para reenviar los paquetes etiquetados.

2.2 Componentes físicos de una red MPLS

Existen dos tipos de dispositivos que se diferencian por la posición que tienen dentro de un dominio MPLS:

- (1) *LSR (Label Switching Router)*: Se ubican en el interior de una red MPLS, implementan procedimientos de distribución de etiquetas y principalmente se encargan del reenvío de paquetes dentro del dominio MPLS en base al análisis de la(s) etiqueta(s) adosada(s) a cada paquete, considerando hasta la capa 2.
- (2) *Edge LSR*: Se ubican en los extremos de un dominio MPLS y se encargan de insertar etiquetas a los paquetes IP para que sean enviados dentro del dominio MPLS o de removerlas para enviarlos fuera del mismo hacia dispositivos que no son MPLS, considerando hasta la capa 3.

2.3 Componentes funcionales

- (1) *FEC (Forwarding Equivalence Class)*: Es la representación de un conjunto de paquetes con características parecidas o idénticas, que se pueden transmitir de manera similar y sobre un mismo camino LSP (*Label Switched Path*) aunque sus destinos finales sean diferentes.

Al ingreso de la red MPLS, los paquetes son clasificados y asignados a un FEC específico mediante el uso de una etiqueta. Cada FEC tiene un camino definido a través de los LSRs de la red, lo cual otorga a MPLS la capacidad de convertir las redes IP sin conexión en redes orientadas a conexión.

- (2) *LSP (Label Switched Path)*: Se lo puede considerar como el camino unidireccional que siguen todos los paquetes etiquetados pertenecientes a un mismo FEC, a través de un conjunto de LSRs para alcanzar su destino.

Para la construcción de un LSP se necesita un protocolo de enrutamiento que propague las tablas de enrutamiento en todos los LSRs del dominio MPLS y que seleccione el camino más corto hacia una red destino y, un protocolo de intercambio de etiquetas que propague las etiquetas de esas redes y construya el LSP sobre el camino más corto que seleccionó el protocolo de enrutamiento.

2.4 Etiqueta MPLS

Una etiqueta MPLS es un identificador corto y de longitud fija que se inserta entre el encabezado de capa 2 y capa 3. Es utilizado por los LSRs del núcleo de una red para tomar decisiones de envío de un paquete, además permite identificar el camino que debe atravesar un paquete asociado a un FEC determinado.

Las etiquetas MPLS tienen significado local, es decir que cada LSR en una red realiza una decisión independiente respecto al valor de la etiqueta que empleará para representar un FEC.

El encabezado MPLS está formado por 32 bits distribuidos en cuatro campos, ver Figura 1.

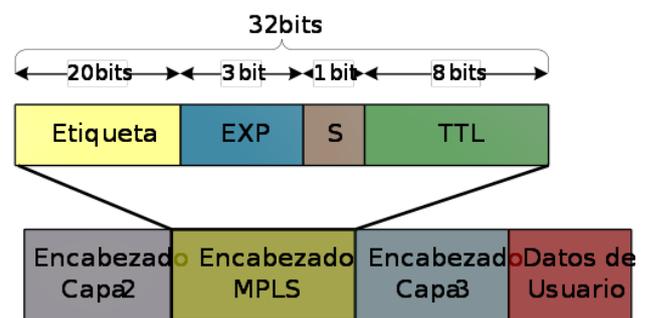


Figura 1: Formato del encabezado MPLS en un paquete MPLS.

- (1) *Etiqueta*: Es un campo conformado por 20 bits, en el que se encuentra el valor de la etiqueta asignada, que se intercambia en cada LSR.
- (2) *EXP o experimental*: Está compuesto por 3 bits y se usa para identificar la Clase de Servicio (CoS, Class of Service) que requiere un paquete.
- (3) *S (Stack)*: Formado por un bit, dado que en MPLS es posible la inserción de múltiples etiquetas, este bit determina si esa etiqueta es la última en el paquete.

Si $S = 1$ es la última, si $S = 0$ existen más etiquetas añadidas al paquete.

- (4) *TTL (Time To Live)*: Está formado por 8 bits y su función es prevenir que los paquetes ingresen en un lazo indefinido (bucle).

3. FUNCIONAMIENTO DE MPLS

Para que una red MPLS consiga la convergencia y funcione correctamente, se realizan los siguientes pasos:

- (1) Construcción de la tabla de enrutamiento IP (RIB) en cada uno de los LSRs del dominio MPLS mediante los protocolos de enrutamiento.
- (2) Asignación independiente (por cada LSR) de etiquetas a cada una de las redes destino que se encuentran en la tabla de enrutamiento IP (RIB).
- (3) Publicación de las etiquetas asignadas a cada una de las redes destino a todos los vecinos (LSRs) adyacentes, mediante el protocolo LDP.
- (4) Construcción de las tablas de intercambio de etiquetas (LIB, FIB, LFIB) en base a las etiquetas recibidas de los LSRs vecinos, ver Figura 2.

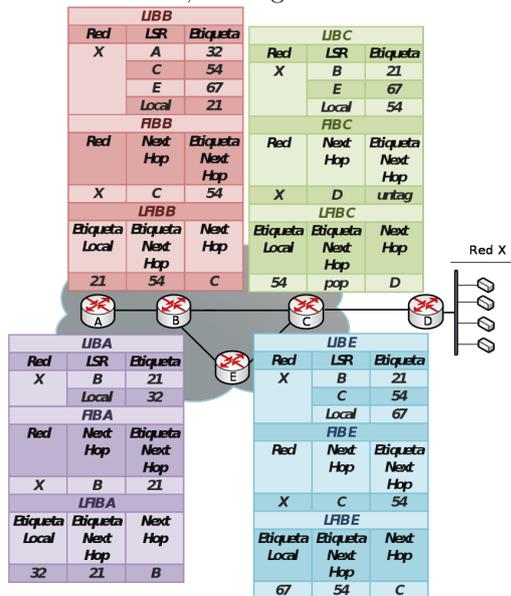


Figura 2: Creación de las tablas LIF, FIB y LFIB.

- (5) Creación del camino LSP, ver Figura 3.

3.1 Propagación de paquetes a través de una red MPLS

Según se esquematiza en la Figura 4, los paquetes que atraviesan una red MPLS están sujetos a:

- (1) Que el edge LSR de entrada examine el paquete IP hasta el nivel 3, lo etiquete y lo envíe al LSR del siguiente salto (LSR interno). Para esto utiliza la tabla FIB.
- (2) Que los LSRs internos conmuten los paquetes mediante el intercambio de etiquetas. Estos LSRs realizan la conmutación utilizando la tabla LFIB.

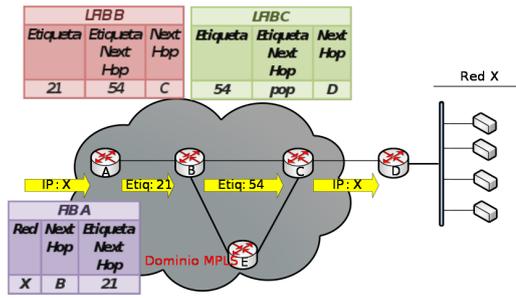


Figura 3: Creación del camino LSP.

- (3) Que el edge LSR de salida extraiga la etiqueta y entregue el paquete IP al destino.

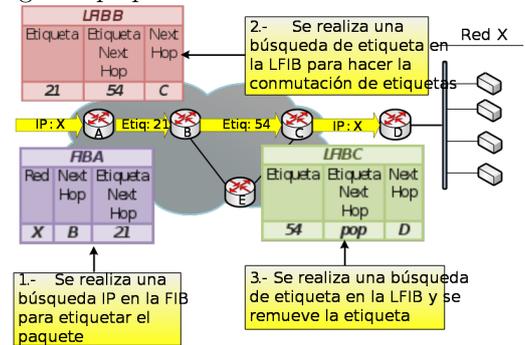


Figura 4: Propagación de paquetes a través de una red MPLS.

4. APLICACIONES DE MPLS

4.1 Redes Privadas Virtuales (VPN)

Una VPN es una red privada que se puede extender a sitios remotos sobre una infraestructura pública, como Internet. La interconexión a través de la infraestructura pública es transparente para el usuario, aparentando una conexión dentro de un mismo segmento de red por usuarios que en realidad se encuentran en redes distintas.

Las VPNs que operan sobre MPLS (VPNs MPLS) se aplican sobre el backbone del proveedor MPLS y garantizan escalabilidad gracias a que se pueden configurar múltiples VPNs para diferentes clientes sin la necesidad de crear cientos de circuitos virtuales.

Las VPNs MPLS permiten que los clientes puedan utilizar cualquier tipo de protocolo de enrutamiento y la dirección IP que deseen (*overlapping de direcciones*) dentro de su red sin afectar de manera alguna a otros clientes ni al backbone MPLS.

La arquitectura de una VPN MPLS está conformada por dos porciones (ver Figura 5):

- (1) *Red-C*: Controlada por el cliente. Aquí se ubica el router CE (*Customer Edge*).

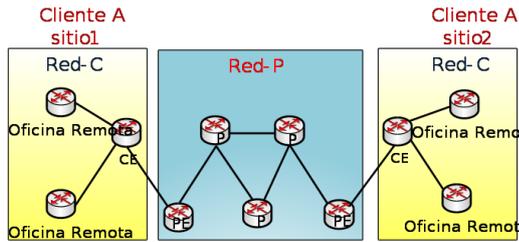


Figura 5. Arquitectura de una VPN MPLS.

- (2) *Red-P*: Controlada por el proveedor. Aquí se ubican los *edge LSRs (PE, Provider Edge)* y los *LSR (P, Provider)*.

Existen tres dispositivos que conforman la arquitectura de una VPN MPLS:

- (1) *Router del cliente, CE (Customer Edge)*: Permite que los clientes se conecten a la Red-P a través del router PE, maneja protocolos de enrutamiento e intercambia actualizaciones de enrutamiento con el router PE.
- (2) *Router PE (Provider Edge) o edge LSR*: Se ubica en el borde de la red MPLS y se conecta directamente con los CEs.
- (3) *Router P (Provider) o LSR*: Se ubica en el núcleo de la red MPLS. No tienen clientes en sus interfaces, no manejan rutas de clientes y no participan en el enrutamiento de las VPNs MPLS.

4.2 Ingeniería de Tráfico

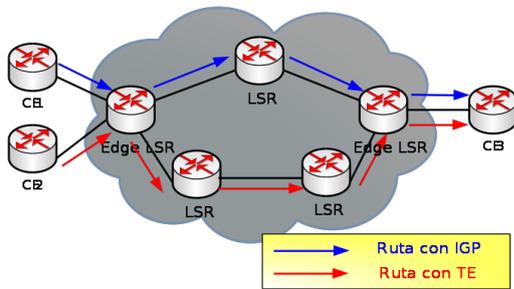


Figura 6: Ingeniería de Tráfico vs. mejor ruta del IGP.

Mediante la ingeniería de tráfico se puede trasladar parte del tráfico del enlace congestionado (elegido como mejor ruta por el protocolo IGP) a otros menos congestionados o subutilizados, aunque estén fuera de la ruta más corta, ver Figura 6.

4.3 Clase de Servicio (CoS)

La Clase de Servicio (CoS) es un término que se usa para diferenciar el tipo de tráfico de una red. Gracias a esta diferenciación se pueden agrupar flujos de paquetes con requisitos semejantes, permitiendo la gestión de diferentes clases de flujos de datos de forma eficaz. La Clase de Servicio (CoS) permite solicitar prioridades para los distintos flujos en base a su importancia.

4.4 Calidad de Servicio (QoS)

La Calidad de Servicio es el mecanismo que permite que una red pueda asegurar de manera confiable el cumplimiento de requerimientos específicos (retardo, jitter, ancho de banda, pérdida de paquetes y disponibilidad), sin necesidad de sobredimensionar los elementos de la red. La QoS garantiza que las aplicaciones o servicios críticos no se vean afectados por los demás, siendo el cliente quien determina el tipo de tráfico (datos, voz o video) que es crítico para él. En caso de una congestión, el tráfico seleccionado como crítico dispone de mayor prioridad para ser cursado a través de la red.

En redes MPLS, cada LSP se encuentra especificado de acuerdo a los requerimientos de un servicio o una aplicación.

La IETF ha definido dos métodos para la implementación de QoS:

- (1) *Servicios Integrados o IntServ (Integrated Services)*: El usuario final solicita previamente los recursos que necesita, de tal forma que todos los dispositivos en ese trayecto están informados de la reservación de ancho de banda y de recursos que deben realizar.

El hecho de reservar la capacidad solicitada por un flujo, en todos los dispositivos del camino, requiere guardar información de estado en cada uno de estos dispositivos, con el consecuente consumo de memoria que esto implica.

Además, como cada flujo de tráfico debe tener una reservación específica de recursos, mantener estas reservaciones a gran escala genera costos elevados de la red, ocasionando grandes problemas de escalabilidad, razón por la cual no se utiliza este modelo en redes MPLS.

- (2) *Servicios Diferenciados o DiffServ (Differentiated Services)*: Este modelo se fundamenta en la asignación de un determinado nivel de prioridad a los paquetes. y no se realiza reservación de recursos, ni mantenimiento de información de estado en los dispositivos, consiguiendo que la información de Calidad de Servicio (QoS) no esté en los dispositivos de la red sino en la cabecera IP de cada paquete.

Este modelo permite clasificar los paquetes en diferentes clases de servicio, cada una de ellas con prioridades distintas. Esta clasificación se consigue mediante la definición de comportamientos específicos para cada clase de tráfico entre dispositivos de interconexión. Todos los paquetes que pertenecen a una misma clase de servicio pueden agruparse fácilmente y recibir un mismo trato por parte de la red.

Como el número de clases de servicio es limitado e independiente del número de flujos o usuarios, se tiene una complejidad constante, no proporcional al número de usuarios, permitiendo que este modelo

resuelva el problema de escalabilidad presentado por IntServ, de tal forma que se puede usar en redes MPLS.

5. FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica es un medio de transmisión de vidrio o plástico, por el que se envían pulsos de luz que portan la información a transmitir. Para transmisiones a grandes distancias se utilizan fibras de vidrio.

Una fibra óptica está compuesta esencialmente por dos capas:

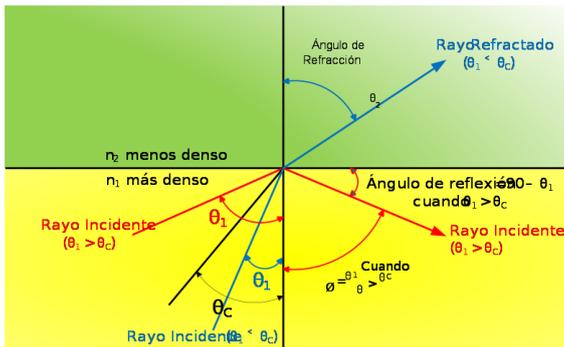


Figura 7: Reflexión y Refracción en una fibra óptica.

- **Núcleo o core:** Es la parte más interna de la fibra por donde viajan los pulsos de luz.
- **Manto o Cladding:** Envuelve al núcleo y presenta un índice de refracción menor que éste, lo que posibilita que la luz se confine dentro del núcleo de la fibra y adicionalmente proporciona protección contra rayones, huellas y contacto con otros núcleos.

Para que la luz pueda propagarse dentro del núcleo de una fibra óptica se deben cumplir dos condiciones, ver Figura 7:

- El índice de refracción del núcleo (n_1) debe ser mayor al del manto (n_2), ($n_1 > n_2$).
- El ángulo de incidencia (θ_1) debe ser mayor al ángulo crítico (θ_c), ($\theta_1 > \theta_c$).

El cumplimiento de estas condiciones permite que cualquier rayo de luz se refleje en su totalidad (Reflexión Interna Total) en el interior del núcleo de la fibra y pueda propagarse a través del mismo hasta su destino.

5.1 Tipos de fibra óptica

De acuerdo al número de rayos de luz (modos) que se propagan dentro de la fibra, ésta se clasifica en dos tipos, según el esquema de la Figura 8:

- (1) **Fibra óptica multimodo:** Cuando existe más de un rayo de luz.
- (2) **Fibra óptica monomodo:** Cuando existe un solo rayo de luz.

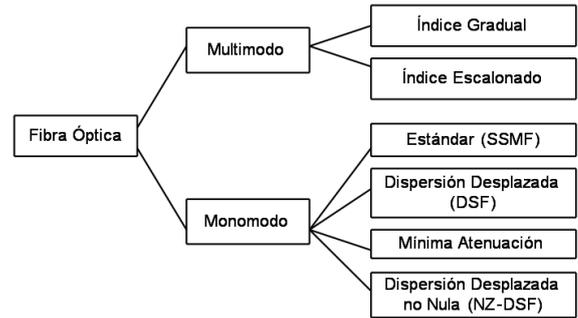


Figura 8. Tipos de Fibra Óptica.

5.2 Estructuras de cable de fibra óptica

Existen dos estructuras básicas que se diferencian en la forma como se constituye el revestimiento:

(1) Cable de estructura holgada

Varias fibras comparten un tubo plástico que actúa como revestimiento, típicamente utilizado en ambientes outdoor.

En la Tabla 1 se exponen diferentes tipos de cables de fibra óptica de estructura holgada:

Tabla 1: Tipos de cable de estructura holgada.

Tipo de cable	Características
Cable Figura en 8	Se utiliza en instalaciones aéreas. Tiene un cable fiador adosado al cable de fibra, el cual es típicamente un alambre de acero que ofrece una resistencia superior para alta tracción.
Cable ADSS (All Dielectric Self Supporting)	Son cables aéreos que carecen de elementos metálicos por lo que son inmunes a interferencias de las redes eléctricas y a la caída de rayos. Su núcleo está constituido por una varilla dieléctrica de elevada resistencia mecánica para ser utilizada como elemento de tracción central.
Cable OPGW (Optical Ground Wire)	Este cable aéreo es utilizado por las compañías eléctricas para suministrar comunicaciones a lo largo de las rutas de las líneas de alta tensión, reemplazando el cable de guarda existente en la red de transmisión eléctrica.
Cable blindado	Tienen una coraza protectora o armadura de acero debajo del jacket de polietileno, lo que proporciona al cable una resistencia excelente frente a aplastamiento y protección frente a roedores. Normalmente se usa en instalaciones subterráneas o en entornos de industrias pesadas.

(2) Cable de estructura ajustada

Cada fibra tiene su propio revestimiento, usualmente este tipo de cables son utilizados en ambientes indoor. En la Tabla 2 se realiza una comparación entre estos dos tipos de cables.

Tabla 2: Comparación entre Cable de Estructura Holgada y Ajustada.

Características	Estructura Holgada	Estructura ajustada
No. de fibras en revestimiento	Varias	Una
Protección contra humedad	Gel	Ninguna
Flexibilidad	Poca	Alta
Conexión de las fibras	Laborioso	Fácil
Diámetro del cable	Pequeño	Grande
Resistencia a golpes y presiones	Menor	Mayor
Comportamiento con la temperatura	Peor	Mejor
Densidad de fibras	Alta	Baja
Radio de curvatura	Grande	Pequeño
Sensibilidad a la tracción	Menor	Mayor

6. ALTERNATIVAS PARA LA INSTALACIÓN DE FIBRA ÓPTICA

Para el tendido de fibra óptica se consideran dos alternativas:

6.1 Tendido aéreo

El tendido aéreo se realiza haciendo uso de los postes de alumbrado público y las redes de alta tensión, puede dividirse de acuerdo a la Tabla 3.

Tabla 3: Tendido Aéreo.

Instalación en el cable de guarda	Instalación de cable autosoportado
Utiliza el cable de guarda como envoltura para los hilos de fibra óptica. Para su instalación se necesita interrumpir el servicio eléctrico. Se puede emplear el cable OPGW.	Se caracteriza por su simplicidad al momento de la instalación, ya que permite su tendido en zonas del poste más accesibles y no requiere el corte del suministro eléctrico. Se puede emplear el cable ADSS y el Figura en 8.

6.2 Tendido subterráneo

Este tipo de tendido consiste en enterrar el cable de fibra óptica directamente bajo tierra o a través de un ducto enterrado con protecciones contra roedores, fuego y humedad. Para lo cual se pueden abrir zanjas o microzanjas.

- (1) *Canalización por Zanjas:* Consiste en realizar una zanja en el pavimento con profundidad de 45 [cm] a 55 [cm], según condiciones del terreno, y con un ancho entre 25 [cm] y no superior a 2 metros. El cable puede ir directamente enterrado o colocado en el interior de ductos.

- (2) *Canalización por Microzanjas:* Es una alternativa para reducir el impacto que presenta la canalización por zanjado convencional en entornos urbanos al momento de realizar el tendido de fibra.

Consiste en realizar una ranura de tamaño reducido, de 10 a 15 [mm] de ancho dependiendo de la configuración del microducto y de 10 a 25 [cm] de profundidad dependiendo de estándares municipales predefinidos, sobre asfalto o concreto para canalizar uno o más cables de manera rápida y económica.

7. DISEÑO DE LA RED ÓPTICA METROPOLITANA CON TECNOLOGÍA MPLS

7.1 Situación actual del ISP

El ISP cuenta con aproximadamente 300 clientes corporativos entre los que se tiene un estimado de 440 enlaces, de éstos alrededor del 33% tienen una capacidad de 1 [Mbps], el 17% una capacidad de 2 [Mbps], 31% capacidades inferiores a 1 [Mbps] y el 13% capacidades superiores a 2 [Mbps].

La red del ISP dispone de doce nodos ubicados en el Distrito Metropolitano de Quito, los que se encuentran interconectados mediante enlaces de radio o fibra óptica, como se muestra en la Figura 9.

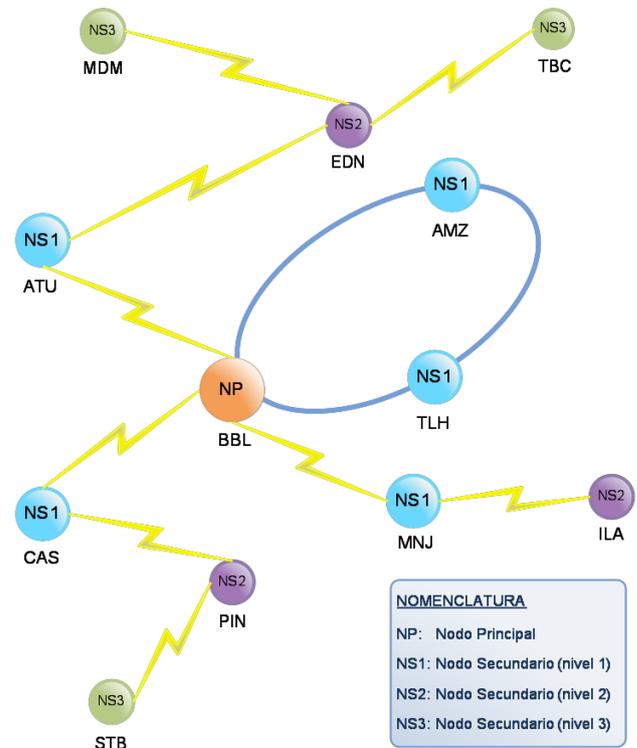


Figura 9: Interconexión actual de los nodos del ISP.

Cada nivel de los nodos secundarios (nivel 1, nivel 2 y nivel 3) indica el tráfico concentrado por ese nodo; siendo el nivel 1 el de mayor concentración de tráfico y el nivel 3 el de menor.

En la Figura 9 se puede observar que todo el tráfico de la red se concentra en un Nodo Principal (NP), su equipamiento está ubicado en el Data Center del ISP, donde cuenta con las condiciones requeridas para el correcto funcionamiento de los equipos, además de encontrarse en el Centro de Monitoreo de la Red.

Los nodos AMZ y TLH son nodos implementados recientemente por lo que todavía no cursan tráfico.

Estos nodos se crearon con la proyección de que formen parte del núcleo de la red en un futuro próximo.

El ISP dispone de una conexión de fibra óptica de 12 hilos entre el Nodo Principal (BBL) y el Nodo Secundario de Nivel 1 (AMZ), fibra óptica de 12 hilos entre el nodo (AMZ) y el Nodo Secundario de Nivel 1 (TLH) y fibra óptica de 6 hilos entre el Nodo Principal BBL y el nodo TLH, formando de esta manera un anillo de fibra óptica entre estos nodos.

7.2 Criterios generales para el diseño del Backbone

El *backbone* MPLS debe permitir servicios de voz, datos y video, por lo que se considera que debe poseer alta capacidad de transporte para que el tráfico sensible, como el de las aplicaciones de voz y video, sea transportado por la red con el menor retardo posible.

Para el diseño propuesto se empleará el modelo jerárquico que comprende las capas Núcleo, Distribución y Acceso, pero para este proyecto se diseñará exclusivamente las capas Núcleo y Distribución que formarán parte del *backbone* MPLS.

Para el diseño propuesto se utilizarán siete nodos, de los cuales tres estarán destinados a comportarse como LSRs y serán los que conformen la capa núcleo de la red y, los cuatro restantes funcionarán como edge LSRs y conformarán la capa distribución. Estos nodos estarán ubicados de tal forma que consigan la captación del mayor número de clientes en los sectores comerciales, bancarios, educativos, industriales, médicos, entidades públicas, etc.

Los nodos que conformarán el *backbone* MPLS son aquellos que actualmente concentran mayor cantidad de tráfico proveniente de nodos más pequeños y a su vez los que dispongan de espacio físico adecuado para la incorporación de equipos MPLS.

7.3 Modelo jerárquico de tres capas

- (1) *Capa núcleo o core*: La función específica y primordial de esta capa es conmutar el tráfico de la forma más rápida que sea posible para transportar grandes cantidades de tráfico de manera confiable y veloz. Por este motivo factores como la latencia y la velocidad son de gran importancia y deben considerarse en esta capa. Además debe tener gran tolerancia a fallas.

En el diseño propuesto los nodos del núcleo o core físicamente se conectarán con fibra óptica formando una topología en anillo, como se indica en la Figura

10, el tendido de fibra entre estos nodos ya se encuentra activo.

Los equipos LSRs se ubicarán en el núcleo de la red y por lo tanto se encargarán de conmutar el tráfico en dicha capa, al encontrarse en el núcleo deben contar con un alto rendimiento para soportar el tráfico proveniente de los edge LSRs.

- (2) *Capa distribución*: Esta capa determina el punto medio entre la capa de acceso y núcleo de una red. Sus funciones principales son: proveer enrutamiento, filtrado de paquetes y determinar qué paquetes deben llegar al núcleo de la red.

Los equipos ubicados en la capa distribución concentran el tráfico proveniente de la capa acceso, por lo que deben tener alto rendimiento para soportar el tráfico de los equipos de acceso conectados a él.

En el diseño propuesto la capa de distribución estará conformada por los edge LSRs, los cuales se ubicarán en sitios donde el ISP refleja mayor concentración de tráfico. El Backbone MPLS estará conformado por cuatro edge LSRs: BBLd, ATU, MNJ y CAS, los cuales se interconectarán con los LSRs del núcleo mediante fibra óptica, según la Figura 10.

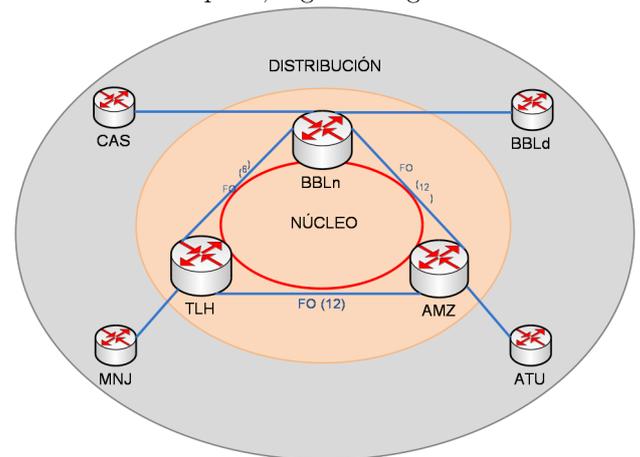


Figura 10: Topología de los nodos del núcleo y distribución. La topología entre los edge LSRs de la capa distribución y los LSRs de la capa núcleo es del tipo Hub and Spoke, de tal forma que el LSR que es el sitio central intercambie el tráfico entre los edge LSRs. Mediante esta topología el ISP puede en un futuro agregar más equipos a la capa de distribución conectándolos con el LSR del núcleo que esté menos cargado.

7.4 Análisis de tráfico de los nodos

Para el diseño del *backbone* se analiza el comportamiento del tráfico en la red del ISP en los últimos cinco años, se determina el crecimiento anual y se realiza la proyección de tráfico para los próximos cinco años. Los datos proyectados que se obtengan permitirán realizar el dimensionamiento de los equipos y de los enlaces.

Se analiza el tráfico de los cuatro nodos con mayor concen-

tración, desde octubre del 2007 hasta junio del 2011 y se obtienen ecuaciones que ayudan a realizar la proyección de tráfico. Estas ecuaciones se consiguen mediante una aplicación de las líneas de tendencia de la herramienta Excel, en donde se considera los datos de tráfico existentes y el tiempo al que se desea proyectar.

En la tabla 4 se resumen los valores de tráfico proyectados para los próximos cinco años de los nodos de distribución: BBLd, ATU, CAS y MNJ. Para obtener el tráfico total proyectado, se realiza la sumatoria del tráfico proyectado para los nodos de la capa distribución, porque éste será el tráfico que simultáneamente deberá soportar el núcleo de la red óptica MPLS en las horas de mayor utilización de la red (peor caso).

Tabla 4: Proyección de Tráfico para Cinco Años.

Año	BBLd (Mbps)	ATU (Mbps)	CAS (Mbps)	MNJ (Mbps)	TOTAL (Mbps)
2011 (Año 0)	129	174	153	124	579
2012 (Año 1)	185	239	217	191	832
2013 (Año 2)	270	359	339	296	1264
2014 (Año 3)	394	539	530	459	1922
2015 (Año 4)	576	810	829	711	2926
2016 (Año 5)	841	1217	1295	1102	4455

7.5 Dimensionamiento del backbone MPLS

Para realizar el dimensionamiento de las interfaces los nodos de distribución y del núcleo se conectarán de acuerdo a la Figura 10, y mediante la Tabla 4 se determina la capacidad de interconexión que requerirán dichas interfaces. Como la interconexión se realizará mediante un medio de transmisión óptico se requieren interfaces ópticas; y, conforme a los valores proyectados en la Tabla 4, al año 5 el núcleo de la red (BBLn, AMZ y TLH) deberá estar en capacidad de soportar un tráfico aproximado de 4,5 [Gbps], por lo que para la interconexión de los equipos del núcleo se definen interfaces ópticas con velocidades de 10 [Gbps]. Se seleccionan estas interfaces debido a que las inmediatamente inferiores son las de 1 [Gbps], y éstas resultarían en un sub-dimensionamiento de la red.

El tráfico proyectado a cinco años para los nodos que conformarán la capa de distribución (BBLd, ATU, CAS y MNJ), presenta valores ligeramente superiores a 1 [Gbps], por lo que para la interconexión de los nodos de distribución con los respectivos nodos del núcleo se emplearán interfaces ópticas de 1 [Gbps]. Se seleccionan interfaces de 1 [Gbps] y no las inmediatamente superiores (10 Gbps) debido a que esto implicaría sobredimensionar las interfaces, subutilizar recursos y principalmente elevar el costo de la red.

De acuerdo al diseño planteado, la capa núcleo requiere

tres equipos y la capa distribución cuatro. Para la conexión de los equipos del núcleo se utilizarán dos interfaces ópticas de 10 [Gbps] por cada equipo, y para la distribución, interfaces ópticas de 1 [Gbps] por equipo.

En la Tabla 5 se indica la cantidad de interfaces ópticas de 1 [Gbps] y de 10 [Gbps] requeridas por cada nodo dependiendo de la capa a la que pertenecen.

Tabla 5: Número de Interfaces por Nodo.

Nodo	Tipo de equipo	1G ópticos	10G ópticos
BBLn	Núcleo	2	2
AMZ		1	2
TLH		1	2
ATU	Distribución	1	0
CAS		1	0
BBLd		1	0
MNJ		1	0

7.6 Requerimientos de los equipos

De manera general los equipos del núcleo y distribución deben cumplir con las siguientes características:

- Trabajar en el entorno MPLS (MPLS nativo)
- Soporte de IPv6 nativo
- Soporte de Calidad de Servicio
- Soporte de protocolos de enrutamiento (capa 3) como: IS-IS, OSPF, BGP
- Soporte de protocolos de señalización MPLS como: RSVP, LDP.
- Soporte de fibra óptica monomodo
- Permitir velocidades de conmutación de 10 [Gbps] para el núcleo y de 1 [Gbps] para distribución.
- Soporte de Interfaces Gigabit Ethernet para equipos de distribución.
- Módulos *Hot Swappable* (sustitución en caliente)

7.7 Perfil de la ruta de fibra óptica

Para seleccionar las rutas de fibra óptica se consideran las disposiciones Municipales referentes a la instalación de fibra óptica dentro del Distrito Metropolitano de Quito, para lo cual se analizó la Ordenanza Municipal No. 0022, en la que se define una licencia (LMU-40) mediante la cual el Municipio de Quito autoriza a su titular la utilización o el aprovechamiento del espacio público y ductería para la instalación de Redes de Servicio en el Distrito Metropolitano de Quito.

En la Ordenanza No.0022 se definen cinco zonas para la desocupación progresiva del espacio público aéreo y reordenamiento de Redes de Servicio en el espacio público aéreo. En las zonas A, C, D y E está prohibida la instalación de cables en el espacio público aéreo, de tal forma que

las nuevas instalaciones de Redes de Servicio en estas zonas deberán realizarse en el espacio público subterráneo. En caso de nuevas instalaciones en las zonas B, podrán realizarse en espacio público aéreo siempre y cuando se cumpla con los planes de reordenamiento.

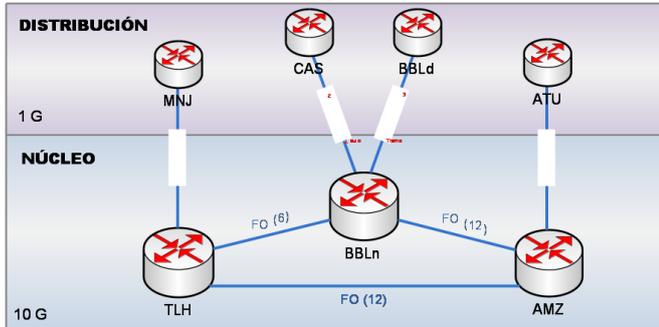


Figura 11: Topología Física de los enlaces de Fibra Óptica.

Para la selección de la ruta se consideró que el tendido de fibra subterráneo implicaba costos de instalación elevados y requería permisos municipales para la realización de la obra civil dentro de la zona urbana. Por otra parte el tendido aéreo aprovecha la infraestructura existente de los postes de energía eléctrica, generalmente propiedad de la Empresa Eléctrica, los cuales para ser utilizados requieren de un arrendamiento, además de resultar un método más económico. Por estos motivos el tendido aéreo es la alternativa más adecuada para la instalación de fibra óptica, pero en las zonas en las que no sea posible este tendido se considera al tendido subterráneo como única opción.

Tabla 6: Distancias de los Enlaces de Fibra Óptica.

Tramo	Tipo	Nodo 1	Nodo 2	Longitud total (m)
Existente	núcleo-núcleo	BBLn	AMZ	-
Existente		BBLn	TLH	-
Existente		TLH	AMZ	-
Tramo 1	núcleo-distribución	TLH	MNJ	7487
Tramo 2		BBLn	CAS	4817
Tramo 3		BBLn	BBLd	-
Tramo 4		AMZ	ATU	10607

Los nodos de distribución se conectarán con los nodos del núcleo mediante fibra óptica, como se indica en la Figura 11. Se puede observar que existe un tendido de fibra óptica entre los nodos que formarán parte del núcleo, el cual se aprovecha en este diseño.

Para cada enlace entre nodos, se utilizará un hilo de fibra para la transmisión y otro hilo para la recepción. Debido a que los costos de instalación de la fibra son más altos que el cable de fibra en sí mismo, es conveniente instalar un cable con un número mayor a dos hilos de fibra y de esta

forma se tendrán reservas para futuras expansiones. En la Tabla 6 se presenta un resumen de la distancia de los enlaces de fibra óptica.

7.8 Selección de la fibra óptica

En este proyecto se desea cubrir distancias ligeramente superiores a 10 [Km] con velocidades de transmisión de 1 [Gbps], por lo que se escoge como medio de transmisión la fibra óptica monomodo estándar SSMF, normalizada en la recomendación ITU-T G.652D, debido a que cubre distancias de hasta 40 [Km] con una capacidad de transmisión de 10 [Gbps] trabajando en tercera ventana (1550 [nm]), además de ser económicamente la más adecuada y, al ser una fibra LWP (Low Water Peak) no presenta el pico de atenuación por la presencia de OH-, lo que le otorga mayor ancho de banda para operación.

Adicionalmente, la fibra G652D es una fibra con bajo coeficiente de dispersión cromática y bajo coeficiente de atenuación, por lo que resulta idónea para ser utilizada de acuerdo a los requerimientos de velocidad y distancia de este diseño.

7.9 Selección del método de instalación y del cable de fibra óptica

Por motivos de costos y facilidad se determinó como principal método el tendido de fibra aérea y en los lugares donde éste no sea posible se utilizará el tendido subterráneo. En ambos tipos de tendido se utilizará cable de estructura holgada.

Para la instalación aérea se selecciona el cable “Figura 8”, debido a que la existencia del mensajero externo permite que la tensión ocasionada por el peso del cable no se concentre en los hilos de fibra, otorgándole al cable mayor resistencia mecánica, refuerzo y soporte. Adicionalmente los accesorios de instalación presentan un costo bajo, es de fácil instalación en postes mediante la fijación del soporte metálico directamente al poste.

Para el tendido subterráneo, el microzanjado resulta un método relativamente económico comparado con la canalización por zanjas, ocasiona menores molestias al tráfico rodado y a los transeúntes, debido a que ocupa un espacio reducido de la calle, se producen pocos escombros, y el riesgo de afectar a otros servicios es muy bajo, además la fibra óptica se encuentra a una profundidad en la que no se ve afectada por repavimentaciones de las calles.

8. CONCLUSIONES

Como ventaja adicional que la red óptica MPLS metropolitana ofrecería al ISP se puede mencionar: Mediante la aplicación de mecanismos de ingeniería de tráfico, se puede evitar la sobrecarga de las rutas óptimas a través del redireccionamiento de los paquetes a rutas alternativas equilibrando el tráfico por distintas trayectorias.

Con la implementación de calidad de servicio, se podría ofrecer a los clientes aplicaciones que requieren alta velocidad, gran ancho de banda, bajo tiempo de transmisión, integridad de información, etc.; para lo cual MPLS maneja un stack de etiquetas en el que se asigna prioridades al tráfico de la red según las políticas definidas entre el cliente y el proveedor.

Para el diseño de la red se consideró el modelo jerárquico, debido a que separa la red en tres capas, donde cada una tiene funcionalidades específicas, permitiendo reducir la complejidad y los problemas, además de conseguir una red escalable y fácilmente administrable.

La implementación de la nueva red óptica MPLS será transparente para los clientes, debido a que se desarrollará de manera independiente y en paralelo al normal funcionamiento de la red actual, hasta cuando la nueva red se encuentre completamente funcional y operativa y sea necesaria la migración al nuevo backbone óptico MPLS.

Para el diseño del backbone óptico MPLS se escogió como medio de transmisión a la fibra óptica monomodo estándar (SSMF) G652D por todas las ventajas que ofrece en términos de atenuación, distancia y ancho de banda. Para el tendido aéreo se seleccionó al cable figura en 8 como la opción más viable por su bajo costo de implementación y de accesorios de instalación.

En el cálculo de pérdidas realizado para cada tramo de fibra óptica, la atenuación total determinada no sobrepasa la máxima permisible, posibilitando una selección idónea de los equipos de transmisión y recepción.

REFERENCIAS

- [1] CISCO SYSTEMS, "Implementing Cisco MPLS", Volume 1, Version 2.2, Student Guide 2006. www.cisco.com
- [2] HUIDOBRO J., MILLAN R., "MPLS (MultiProtocol Label Switching)" <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/mpls.php>
- [3] JIMÉNEZ M., "Comunicaciones Ópticas", Escuela Politécnica Nacional, Quito 2010.
- [4] MARCHÁN J., YÁNEZ D., "Estudio y diseño para la migración de un Red Gigabit Ethernet de datos de una empresa portadora de servicios a la tecnología MPLS (Multiprotocol Label Switching)", Escuela Politécnica Nacional, Abril 2008.
- [5] MORALES L., "Investigación de Redes VPN con Tecnología MPLS", Universidad de las Américas Puebla, México 2006. Disponible: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lis/morales_d_l/capitulo2.pdf
- [6] Multiprotocol Label Switching, RFC 3031. Disponible: <http://tools.ietf.org/html/rfc3031>
- [7] NIETO L., "Diseño y configuración de Calidad de Servicio en la tecnología MPLS para un Proveedor de Servicios de Internet", Escuela Politécnica Nacional, Mayo 2010.
- [8] RODRÍGUEZ D., "Transmisión de voz, video y datos en Redes Privadas Virtuales VPN/MPLS", Universidad de Belgrano, Noviembre 2008. http://www.ub.edu.ar/investigaciones/tesinas/259_rodriguez.pdf
- [9] Técnicas Aéreas para la Instalación de Cables de Fibra Óptica. <http://es.scribd.com/doc/7360498/044-Instalacion-de-Cable-de-Fibra-optica-aerea>
- [10] TELNET, Redes Inteligentes. Disponible: <http://www.telnet-ri.es/soluciones/cable-fibra-optica-y-componentes-pasivos/microzanjas-para-la-instalacion-de-fibra-optica/>
- [11] Terminology for Forwarding Information Base (FIB) based Router Performance, RFC 3222. Disponible: <http://www.faqs.org/rfcs/rfc3222.html>
- [12] TEXTOS CIENTÍFICOS.com, "Tipos de Fibras Ópticas". Disponible: <http://www.textoscientificos.com/redes/fibraoptica/tiposfibra>