

Estudio de la Conmutación de Longitudes de Onda para Multiprotocolo (MPλS) en Redes ASON (Automatically Switched Optical Network)

María Beatriz Díaz Yáñez, Escuela Politécnica Nacional , Quito - Ecuador
María Soledad Jiménez Jiménez, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador

Resumen – Se introducen conceptos básicos de conmutación, sus técnicas y tecnologías así como las características y aspectos importantes de una Red WDM y sus principales elementos. Luego, se expone una breve visión de las redes ópticas de transporte, centrandó el estudio en las redes ópticas de conmutación automática (ASON), detallando sus características principales, planos de su arquitectura e interfaces de comunicación.

A continuación se plantea la conmutación de etiquetas para multiprotocolo generalizado y de esta forma se llega al punto principal que es el estudio de la conmutación de longitudes de onda para multiprotocolo; sus características, funcionamiento, arquitecturas y la ingeniería de tráfico del plano de control de MPLS en la que basa su funcionamiento, así como sus ventajas y desventajas en las redes ópticas de nueva generación.

Abstract - Introduces to the basic switching concepts, techniques, technologies, characteristics and important aspects of a WDM network and its elements. Then a brief overview of optical transport networks to focus the study on the automatic switching optical network (ASON), detailing its main features, architectural plans and communication interfaces.

Here arises the multiprotocol label switching for widespread and thus reach the main point is the study of switching wavelengths for Multiprotocol, their characteristics, performance, architecture and traffic engineering control plane MPLS in which bases its operation and its advantages and disadvantages in the next-generation optical networks.

Índices – Conmutación, Lambda, Multiplexación, Óptica, Redes

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente proyecto es realizar una introducción a la teoría de la conmutación óptica y elementos de las redes ópticas, ofreciendo una visión concreta de la arquitectura, protocolos y características de las redes de nueva generación.

Las redes ópticas de conmutación automática (ASON) como una evolución de las redes ópticas de transporte ofrecen a las

operadoras integración de todos los clientes sobre una misma plataforma, lo que reduce mucho los costos y simplifica el manejo de la red, así como la utilización de protocolos generalizables, actualizables y escalables, además de la posibilidad de conmutar canales ópticos, lo cual permite gran flexibilidad en la estructura de la red.

Las tecnologías de conmutación aplicables para este tipo de redes, tales como la conmutación de longitudes de onda para multiprotocolo (MPλS), explotan las características y funcionalidades ya existentes en el marco de la Conmutación de Etiquetas para Multiprotocolo (MPLS), lo cual hace que dicha tecnología no sea completamente nueva.

II. INTRODUCCIÓN A LA CONMUTACIÓN ÓPTICA

La ITU-T (*International Telecommunication Union-Telecommunication Sector*) define la conmutación como el establecimiento bajo demanda de una conexión individual de entrada a una de salida, tan larga como sea requerida para la transferencia de la información¹.

Antes un operador interconectaba a los dos suscriptores mediante una conexión de la red. Actualmente los equipos de conmutación deben ser capaces de dar mayores servicios incluyendo una alta calidad de audio, video, comunicación entre redes de área local, transferencia de gran número de archivos y servicios.

A. Conmutación de Circuitos

La comunicación por conmutación de circuitos implica que en un momento dado hay una ruta dedicada entre dos terminales, esta ruta se compone de una secuencia de enlaces entre nodos, dedicándose en cada enlace físico un canal a la conexión. Para llevar a cabo la comunicación por conmutación de circuitos se necesita seguir tres fases: establecimiento del

¹ La palabra información no solo denota la voz sino incorpora todos los tipos de información de los servicios de telecomunicaciones.

circuito, transmisión de la información y desconexión del circuito.

B. Conmutación de paquetes

La conmutación de paquetes trata de combinar las ventajas de las conmutaciones de mensajes y circuitos, minimizando las desventajas de ambas.

Esta es una forma de sistema/red de almacenar y enviar los datos, incluyendo los códigos de identificación de fuente y destino, se transmiten a la red y se almacenan en una estación. Cada estación de la red tiene posibilidades de almacenamiento de paquetes.

La red transfiere los datos de una estación a otra cuando es conveniente hacerlo. En consecuencia, los datos no se transfieren en tiempo real, puede haber un retardo en cada estación.

Este tipo de conmutación es más eficiente porque los datos que entran a la red durante las horas pico se pueden guardar para transmitirlos después, cuando ha disminuido la carga

Es una técnica similar a la de mensajes, con la diferencia de que la longitud de las unidades de información (paquetes) está limitada, en tanto que en la conmutación de mensajes la longitud de éstos puede ser mayor

C. Conmutación de Celdas

En los servicios de conmutación de celdas, la unidad mínima de datos conmutados es una celda de tamaño fijo, en vez de un paquete de longitud variable. La tecnología basada en celdas permite que la conmutación sea realizada en hardware sin la complejidad y el consumo de tiempo de cálculo trama por trama, Esto hace que la conmutación por medio de celdas sea más rápida y barata. Una de las tecnologías de conmutación de celdas más conocidas es ATM.

D. Conmutación de Etiquetas

La etiqueta (label) es una entidad pequeña y de longitud fija que no codifica ningún tipo de información relacionada con la dirección de red. Este tipo de conmutación reduce significativamente el procesamiento de paquetes que se requiere cada vez que un paquete ingresa a un enrutador de red, esto mejora el desempeño de la red.

En la conmutación de etiquetas entran en juego dos aspectos. Por una parte el reenvío y por otra el control. En el reenvío se utiliza la información de la etiqueta que transportan los paquetes y la información para encauzar ese reenvío que mantiene el conmutador de etiqueta para realizarlo.

En el control, se trata de mantener la información de etiquetas entre un grupo de conmutadores que manejan esta forma de trabajo, debido a que las etiquetas se pueden asociar a rutas lo que permite crear rutas de etiquetas conmutadas, ésto se denomina LSP (Label-Switched Paths).

E. Conmutación Óptica

La conmutación totalmente óptica ha sido propuesta como un camino viable para resolver la diferencia de tasas de transmisión de la fibra óptica y de envío de los conmutadores electrónicos, que hasta ahora provocan grandes cuellos de botella en la redes como Internet. Esta técnica implementa el enrutamiento y envío de paquetes directamente en la capa óptica sin conversiones Óptica/Electrónica/Óptica. La principal ventaja de esta alternativa es su habilidad de encaminar paquetes o ráfagas independientemente de la tasa de bit, formato y longitud de paquetes aumentando así la flexibilidad y granularidad de las redes. Además con esta implementación de nodo totalmente óptico se alcanzan altos anchos de banda al trabajar con etiquetas y se simplifica la implementación de los transmisores.

Las redes ópticas han pasado de ser redes basadas en conmutación de circuitos a redes basadas en la conmutación de paquetes ópticos, aprovechando las ventajas que proporcionan los sistemas WDM (Wavelength Division Multiplexing) como la posibilidad de altas capacidades de transporte. Sin embargo, esta evolución no para y actualmente existe la posibilidad de encaminar paquetes de acuerdo a una etiqueta óptica evitándose así el procesamiento de los datos del paquete en el dominio electrónico, llegándose a una solución prometedora que permite evitar cuellos de botella en los conmutadores.

III. TIPOS DE CONMUTACIÓN ÓPTICA

A. Conmutación de Circuitos Óptica (OCS)

La conmutación de circuitos está orientada a conexión y asocia una longitud de onda (λ) a cada conexión entre el nodo origen y destino. Una vez establecida, se envía la información sin retardo alguno y sin necesidad de almacenar y reenviar paquetes en cada nodo.

B. Conmutación de Paquetes Óptica (OPS)

La señal de información generada por un equipo o fuente asociada a un nodo de entrada se convierte en una serie de paquetes ópticos que se envían a través de los enlaces de fibra óptica de la red. Cada paquete contiene un campo de datos o carga y una cabecera donde se incluyen la dirección de su nodo destino. Al llegar a un nodo o router intermedio, se realizan las siguientes funciones: en primer lugar se separa la cabecera de la carga, la información contenida en los bits de cabecera se lee para determinar la dirección final del paquete y, en virtud de la información almacenada sobre el estado de la red en una serie de tablas de encaminamiento, obtener el puerto de salida y la longitud de onda que habrá que asignar a la carga que, mientras tanto, se almacena en una memoria o buffer óptico. Una vez determinada la información de salida del paquete se restituye la cabecera antes de enviarlo al próximo router.

C. Conmutación de Ráfagas Óptica (OBS)

Para este tipo de conmutación, los paquetes encaminados hacia el mismo destino son agrupados y después transmitidos a la red en ráfagas, esto requiere un tiempo de conmutación bajo del orden de ns y disminuye la congestión de la red.

La conmutación óptica de ráfagas (OBS, *Optical Burst Switching*) es una tecnología que integra la conmutación de paquetes y la transmisión WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) con la intención de aumentar el aprovechamiento del ancho de banda de las fibras ópticas. Las redes OBS constan de dos tipos de nodos, los nodos frontera situados a la entrada y a la salida de la red, y los nodos centrales situados en el interior de la red

IV. RED ÓPTICA WDM

Wavelength Division Multiplexing (WDM) es una técnica de transmisión por fibra óptica que consiste en multiplexar diferentes longitudes de onda en una simple fibra, entonces el espectro óptico correspondiente a la región de bajas pérdidas en fibras, se divide en un cierto número de canales de pequeña capacidad, ver Fig. 1.

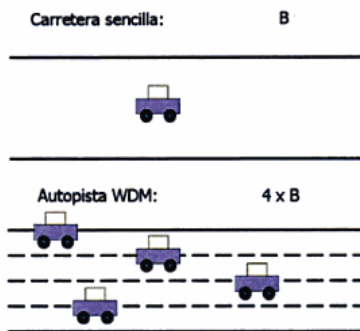


Fig 1: Concepto de WDM^[11]

A. Topologías WDM

1) Topología Punto a Punto:

Es una topología usada en escenarios donde sea necesario grandes velocidades a grandes distancias, En redes de largo alcance (*long haul networks*), la distancia entre transmisor y receptor puede alcanzar cientos de kms, y el número de amplificadores *end to end* es típicamente menor a 10

2) Topología Anillo:

Otra de las topologías usadas para redes WDM es la de anillo en la que se puede tener una estación Hub y uno o más nodos OADMs, en los nodos OADM una o más longitudes de onda pueden ser adicionadas o sacadas, mientras que las otras son transparentes.

B. Elementos de una Red Óptica WDM

Una red WDM consiste en terminales de línea ópticos OLT (*Optical Line Terminal*), multiplexores para

inserción/extracción óptica OADMs y crosconectores ópticos OXC's interconectados a través de un enlace de fibra. Incluye también amplificadores ópticos de línea desplegados a lo largo del enlace de fibra para amplificar la señal. Los OLTs, OADMs y OXC's pueden contener amplificadores ópticos y reducir las pérdidas.

1) Crosconectores Ópticos, OXC:

Un OXC (*Optical Cross-Connect*) consiste en un conmutador matricial de fibras ópticas de dimensión $M \times N$, donde M es el número de fibras de entrada que conmutan a/o desde N fibras de salida, ver Fig. 2; todo ello en base a un proceso completamente óptico, es decir, sin ningún tipo de conversión electro-óptica u opto-electrónica.

Desde un punto de vista más abstracto y puramente conceptual, un crossconnector se puede definir como un dispositivo que hace que una señal en un determinado punto A se dirija a un punto B o a un punto C.

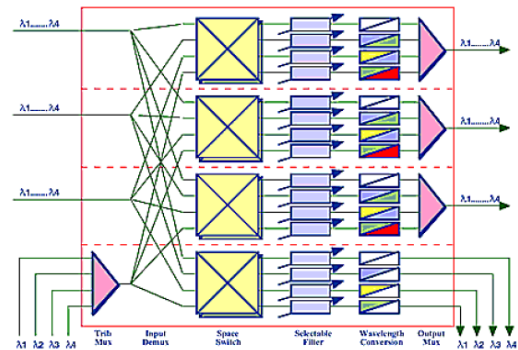


Fig 2: Configuración del OXC^[5]

El OXC tiene la capacidad de:

- *Fiber switching*: Capacidad para enrutar todas las longitudes de onda que provienen de una fibra entrante hacia otra fibra de salida diferente.
- *Wavelength switching*: Capacidad de controlar la entrada y la salida de longitudes de onda específicas de una fibra de entrada y dirigir las hacia otra de salida.
- *Wavelength conversion*: Capacidad para recoger longitudes de onda y convertirlas en otras de valor diferente antes de mandarlas hacia el puerto de salida correspondiente.

V. OTN (OPTICAL TRANSPORT NETWORK)

Las redes de transporte están especificadas por la ITU-T en varias recomendaciones: G.872 para la arquitectura, G.709 para los formatos y tramas, G.798 para funciones y procesos. En el dominio óptico las OTN están basadas en la tecnología DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) que provee métodos de supervisión y administración de la red. La jerarquía de Redes de Transporte Óptico está basada en el camino óptico (OCh – *Optical Channel*) donde la carga de

datos es soportada por una longitud de onda, incluyéndose en esta tecnología canales de supervisión y de administración para establecer la señalización de la red.

En un principio eran posibles solo conexiones: punto a punto y anillos WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), pero gracias a los sistemas de conmutación a nivel óptico se ha permitido que se realicen sólo pocas conversiones óptico-eléctricas y viceversa, empleadas para la regeneración de la información.

En las redes de transporte con conmutadores electrónicos, éstos pueden ser cambiados por crossconectores ópticos, lo que ahorra la conversión de la señal a nivel eléctrico, con el inconveniente de tener *transceivers* caros y la penalización de rendimiento que esto conlleva.

Para hacer un símil entre las OTNs (*Optical Transport Network*) y las capas del modelo OSI (*Open System Interconnection*), las redes ópticas también están compuestas de planos.

Los principales planos son:

- El plano de control que se encarga de establecer, supervisar, mantener y liberar las conexiones y las llamadas.
- El plano de gestión encargado de la supervisión, configuración, seguridad y facturación del sistema.
- Por último, el plano de transporte, encargado de la transferencia de información de los usuarios de un lugar a otro, ya sea unidireccional o bidireccionalmente.

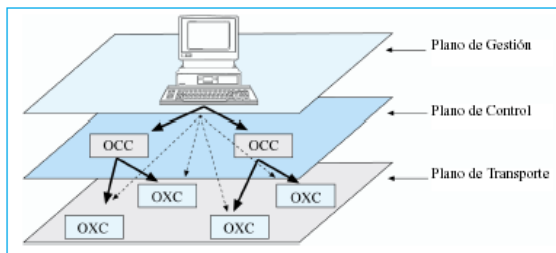


Figura 3: Planos de una OTN^[7]

VI. ASON (AUTOMATICALLY SWITCHED OPTICAL NETWORK)

Se ha desarrollado una evolución de las redes de transporte para que los procesos de asignación de recursos y servicios se automaticen, así aparecen las ASON (*Automatically Switched Optical Network*). Los trabajos sobre ASON podrían englobarse, dentro de OSI, en la Capa 2 y 3.

ASON aparece como un modelo de referencia que plantea la arquitectura y los requisitos que debe satisfacer una red de transporte óptica de conmutación automática en comparación con el modelo tradicional de las redes de transporte. En este

modelo se contempla el uso de MPLS y las especificaciones UNI y E-NNI del OIF.

A. Características de ASON

- Capacidad para introducir nuevos servicios ópticos, entre estos servicios se destacan dos: Servicio de Ancho de Banda bajo Demanda (BODS) y Redes Privadas Virtuales Ópticas (OVPN)
- Capacidad de Enrutamiento Dinámico, auto detección de “vecinos”, auto detección de enlaces de conexión y auto detección de topología.
- Dado que la red ASON es capaz de enrutar y restaurar las conexiones automáticamente en una forma mucho más tolerante a fallas, el requerimiento de mantener la consistencia de la base de datos de topología es satisfecho.

B. Interfaces del Plano de Control

ASON fue diseñada en su concepción inicial para soportar múltiples clientes y diferentes tecnologías. Esta diversidad crea los diferentes dominios de cada plano. La conexión intra-dominios e inter-dominios dentro de la capa de control, se realiza a través de las interfaces I-NNI (*Internal Network to Network Interface*), E-NNI (*External Network to Network Interface*), respectivamente, e I-NMI (*Internal Network to Management Interface*).

C. Enrutamiento y Señalización

La arquitectura de ASON trata separadamente las llamadas² y su control de conexión. Esto permite la introducción de servicios mejorados, en donde una simple llamada puede estar compuesta de más de una aplicación. Esta característica brinda beneficios a las áreas de mantenimiento y restauración.

El control de la conexión a través de múltiples dominios requiere la cooperación entre los controladores de estos diferentes dominios. Una Federación se define como la comunidad de dominios que cooperan para una mejor gestión de sus conexiones.

Están definidos dos tipos de Federaciones: el modelo de federación conjunta, en donde un controlador de conexión tiene autoridad sobre otros controladores de dominios diferentes. El segundo modelo es un modelo totalmente cooperativo, en donde no existe la figura de un líder.

D. Evolución de IP/MPLS hacia ASON/MPLS

La tecnología MPLS crece como la base para las nuevas redes de banda ancha ya que antes estaba basada principalmente en ATM, con velocidades que típicamente iban de los 155,52 Mbps hasta varios Gbps. ATM viene usándose desde que se hizo popular en 1988, y su renovación ya es un hecho.

² Llamada.- Asociación entre puntos extremos de algún servicio.

MPLS ofrece grandes ventajas a la hora de definir y establecer VPNs. Además, MPLS ya tiene otras soluciones tecnológicas avanzadas, como son MPλS y GMPLS, orientadas al dominio óptico, que permiten a las redes alcanzar caudales del orden de Tbps por una sola fibra.

E. MPLS (Multiprotocol Label Switching)

El desarrollo de MPLS se llevó a cabo a mediados de los 90s para conseguir mayor eficiencia en redes ATM que transportan tráfico IP. La implementación de MPLS sobre una red IP tradicional introduce las siguientes ventajas:

- El encaminado se realiza de acuerdo a etiquetas de longitud corta y fija de nivel 2 en las capas OSI. Esto permite que el encaminado sea más eficiente que con las cabeceras tradicionales de nivel 3 y longitud variable.
- Ofrece la posibilidad de encaminado explícito, se crea un camino completo examinando un solo paquete. Los demás paquetes con el mismo destino no deberán ser examinados.
- Permite una administración de tráfico más flexible y eficiente por medio de la ingeniería de tráfico que permite equilibrar de forma óptima la utilización de los recursos, de manera que no haya algunos que estén muy utilizados, con posibles cuellos de botella, mientras otros puedan estar subutilizados.
- Ofrece soporte de QoS, mediante el establecimiento de rutas explícitas.

Debido a que MPLS utiliza la técnica de separar el control del encaminamiento, es capaz de operar sobre diferentes protocolos de nivel de enlace. Esto significa que MPLS puede ser implementado como un router más switches integrados.

Después de la integración de MPLS en las redes no orientadas a conexión como IP, se trató de hacer las redes más homogéneas al subir un nivel más en los protocolos de control y diseñar uno que pueda englobar la otra gran jerarquía de red como es SDH³, surgió GMPLS y con él se puede dar soporte a redes de conmutación de lambdas (WDM), de paquetes (IP) y de circuitos (SDH).

GMPLS (*Generalized Multi-Protocol Label Switching*) soporta cinco interfaces: interfaz de conmutado de paquetes, interfaz de conmutado a nivel 2, interfaz de multiplexado por división de tiempo, interfaz de conmutado por longitud de onda e interfaz de conmutado de fibra.

Una interfaz de conmutado de paquetes reconoce los límites del paquete y puede encaminar paquetes basándose en la cabecera IP. Una interfaz de conmutado de nivel 2 reconoce los límites de una trama o "frame" y puede encaminar los datos basándose en el contenido de la cabecera de la trama o "frame". Como ejemplo, se puede mencionar a ATM que

³ SDH (Jerarquía digital sincrónica) es una norma para el transporte de datos en telecomunicaciones formulado por la ITU.

encamina tramas basándose en su valor VPI⁴/VCI⁵ o switches Ethernet que encaminan el tráfico basándose en la información de MAC⁶.

Una interfaz de multiplexado por división de tiempo encamina datos basándose en las ranuras temporales que forman tramas, "frames" en el caso SONET/SDH. Un interfaz de conmutado por longitud de onda encamina señales ópticas de una longitud de onda entrante a otra saliente. Como ejemplo, los OXCs que operan a nivel de longitud de onda individual. Un Interfaz de conmutado por fibra encamina señales de una o más fibras de entrada a una o más fibras de salida; como ejemplo, se tiene a los OXCs que operan a nivel de fibra.

En GMPLS se utiliza la distribución de etiquetas ya que es una evolución de MPLS, algunas formas nuevas de etiquetas son necesarias para soportar la amplia visión de GMPLS en el dominio óptico y en el multiplexado por división temporal.

La nueva etiqueta no sólo permite que las etiquetas tradicionales viajen junto con el paquete asociado, también permite que las etiquetas identifiquen ranuras temporales, longitudes de onda o fibras.

Se ha desarrollado un protocolo para administrar el nivel de enlace en redes ópticas, el protocolo LMP (*Link Management Protocol*) y junto con los protocolos de distribución de etiquetas LDP y RSVP-TE, los protocolos interiores ISIS⁷ y OSPF también han sido extendidos para poder utilizarse con las tecnologías ópticas.

F. Ventajas y Desventajas de las Redes ASON

- Una red basada en tecnología ASON proporciona diversidad de direccionamiento con múltiples rutas de seguridad para un servicio, lo que mejora mucho la fiabilidad de la red.
- Mejora la utilización del ancho de banda de la red mediante la restauración.
- Reduce los gastos operativos de la red mediante una función de detección automática (los recursos, la topología y los servicios de la red).
- Proporciona un plano de control con una mayor interoperatividad que cumple completamente los estándares necesarios.

⁴ VPI (*Virtual Path Identifier*, Identificador de Ruta Virtual) hace referencia a un campo de 8 bits en el encabezado de una celda ATM. El VPI, junto con el VCI, se utiliza para identificar el próximo destino de una celda a medida que atraviesa una serie de switches ATM hasta llegar a su destino

⁵ VCI (*Virtual Channel Identifier*, Identificador de Canal Virtual) hace referencia a un campo de 16 bits en el encabezado de una celda ATM.

⁶ MAC (*Media Access Control*) es un identificador de 48 bits que corresponde de forma única a una ethernet de red.

⁷ Protocolo OSI de encaminamiento jerárquico de pasarela interior.

- La red de transmisión puede generar más ingresos con tecnologías de red privada virtual óptica y de ancho de banda a demanda.
- La desventaja principal es la inversión elevada en los elementos ópticos que son necesarios para una red ASON.
- Otra desventaja es la falta de experiencia en la aplicación de este tipo de redes de nueva generación aunque esta desventaja es cada vez menor. No todo está dicho todavía con respecto a estos estándares, ya que muchas Recomendaciones están siendo actualmente revisadas y aún no han sido aprobadas, además es necesario seguir de cerca los respectivos trabajos de definición de protocolos y procesos. Por ejemplo, en lo relacionado con los protocolos específicos de la red de transporte, aspectos de señalización P-NNI y GMPLS.

VII. GMPLS (GENERALIZED MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING)

La necesidad de manejar todos los tipos de tráfico con una sola forma de conmutación ha permitido que se evolucione de MPLS a MPλS que es el objeto de este estudio, para llegar a GMPLS que engloba todas las técnicas de conmutación.

Conforme la infraestructura de las redes públicas evolucionó de un modelo basado en tecnologías de conmutación de circuitos a otro modelo más optimizado para el tráfico de datos, también deben hacerlo las redes ópticas de transporte subyacentes. El plano de control es clave en este cambio, y los esfuerzos se centran en la actualidad en GMPLS (*Generalized Multiprotocol Label Switching*).

MPλS, por su parte, propone añadir extensiones al protocolo del plano de control con el fin de incorporar etiquetas y mecanismos de señalización a los servicios de longitud de onda y ofrecer conexiones inteligentes entre los OXCs en sistemas DWDM de largo alcance. Al igual que IP sobre DWDM, MPλS se construye sobre una estrategia ya existente, por lo que tiene el apoyo de diversos fabricantes de OXCs. Sin embargo, este planteamiento asume un modelo "overlay" basado en un interfaz usuario-red y, por lo tanto, no integra el plano de encaminamiento de los paquetes de datos. Las redes MPλS requieren enrutadores en su núcleo para procesar los paquetes, así como OADM y OXCs de banda ancha para procesar las ranuras temporales de los canales SONET/SDH.

VIII. MULTI-PROTOCOL LAMBDA SWITCHING (MPλS)

MPλS amplía el concepto de MPLS directamente en el dominio óptico, las interconexiones ópticas pueden ser controladas para enrutar el tráfico en longitudes de onda específicas a través de un núcleo óptico de la red a un gateway óptico de borde.

MPλS opera con conmutación de longitudes de onda específicas de manera muy similar a como MPLS opera por conmutación de paquetes de datos. La aplicación requiere del

uso de un plano de control para llevar a cabo la ingeniería de tráfico y posterior redirección de tráfico.

Al implementar una capa de control o plano de control, MPλS proporciona el control de la capa física óptica WDM, la adición de la controlabilidad de la conmutación de longitudes de onda proporciona a la ingeniería de red la capacidad de asignar dinámicamente el ancho de banda de memoria disponibles. El ancho de banda de velocidad de aprovisionamiento también aumenta debido a que la calidad de servicio se aplica por longitudes de onda en lugar de por cada paquete.

A. Funcionamiento de MPλS

La etiqueta es un número asignado a un Router IP de borde de una etiqueta de dominio de conmutación o MPλS, que identifica un camino a través de la red, de modo que los paquetes pueden ser enrutados con mayor rapidez sin tener que saber la dirección de destino en el paquete IP, y en este caso la longitud de onda se utiliza como etiqueta.

Esta etiqueta puede ser añadida al paquete IP, o puede ser almacenada en una trama de encapsulación cuando existe un campo adecuado. Con MPλS ninguna conexión física es dedicada pero un camino es definido y todos los paquetes en una sesión especial se envían a través de ese camino, dándoles a todos la misma etiqueta cuando entran en la red MPλS, como se puede ver en la Fig. 4.

En cada uno de los nodos, los paquetes son enrutados de acuerdo al valor de la etiqueta y después se lo provee de una nueva etiqueta para su uso en el siguiente nodo, por lo tanto, entra en escena el nombre de etiqueta de conmutación.

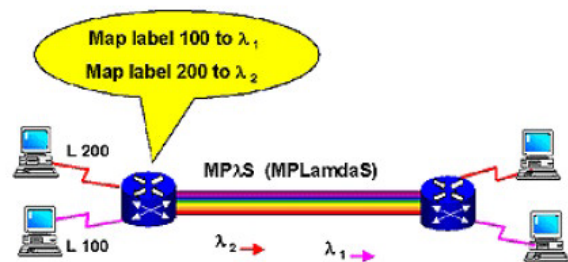


Figura 4: Funcionamiento de MPλS^[7]

B. MPLS Traffic Engineering (MPLS-TE)

Traffic Engineering se refiere al proceso de seleccionar rutas escogidas dependiendo del tráfico de datos con el objeto de balancear la carga sobre varios enlaces, routers y switches en la red. TE es el aspecto más importante en redes donde existen disponibles múltiples rutas alternativas.

El principal objetivo de TE es facilitar las operaciones eficientes y confiables de la red, mientras que simultáneamente optimiza la utilización de los recursos de red y el desempeño del tráfico, así como calcular la ruta desde un

nodo al otro (*source routing*), de tal manera que la ruta no viole las restricciones definidas y sea la mejor respecto a alguna métrica escalar.

Una vez que la ruta está calculada, TE (en el caso de MPLS basado en paquetes) es responsable por el establecimiento y mantenimiento del estado de envío a lo largo de esa ruta.

C. Ventajas de MPλS

- Ofrece un marco para el manejo del ancho de banda óptico y el provisionamiento de tiempo real de los canales ópticos en redes ópticas de conmutación automática (ASON).
- Explora los avances recientes en la tecnología del plano de control de MPLS y también aprovecha la experiencia operacional acumulada con el control distribuido de enrutamiento en IP.
- Evita la necesidad de reinventar una nueva clase de protocolos de control para las redes de transporte óptico y permite la reutilización de dispositivos originalmente desarrollados para la aplicación de la ingeniería de tráfico de MPLS. Por lo tanto, fomenta el rápido desarrollo y despliegue de una nueva clase de OXCs.
- Facilita la introducción de los conceptos de coordinación de control entre los elementos de red de datos y elementos de red óptica.
- Simplifica la administración de redes en las instalaciones de servicio basado en las redes de proveedores al proporcionar una semántica uniforme para la gestión y control de la red, tanto en los dominios de datos como ópticos.

D. Desventaja de MPλS

- La granularidad de las longitudes de onda, hace que la asignación de una *lambda* a un cliente sea improbable mientras el costo de ésta sea tan elevado. No es posible asignar *lambdas* a tráficos exclusivos ya que tiene una elevada capacidad y se estaría desperdiciando. La solución a esto es TDM, que permite conmutar muchos flujos de datos en una misma longitud de onda.

IX. CONCLUSIONES

- Debido a que en la actualidad los servicios que proveen audio, video y datos, necesitan mayores prestaciones, se han ido desarrollando nuevas tecnologías de conmutación que permitan obtener mejores resultados a un menor costo, de ello nace la idea de una conmutación de longitudes de onda que trabaje enteramente sobre el entorno óptico,

haciendo uso de lo ya desarrollado por tecnologías de conmutación anteriores como MPLS.

- Al usar la base de MPLS para el desarrollo de MPλS y la analogía de etiqueta con longitud de onda, se reduce significativamente el procesamiento de paquetes y en consecuencia el desempeño de la red mejora.
- La conmutación totalmente óptica es la mejor opción para resolver la diferencia de tasas de transmisión de la fibra óptica y de envío de los conmutadores electrónicos y así prevenir grandes cuellos de botella en las redes.

X. RECOMENDACIONES

- Si se desea tener un protocolo más completo, es recomendable usar en lugar de MPλS su versión más amplia GMPLS, ya que no soporta solo dispositivos que conmutan paquetes sino también los que conmutan slots de tiempo y longitudes de onda.
- Se debe continuar con la investigación y desarrollo de los dispositivos utilizados en las comunicaciones ópticas de tal manera que se logre disminuir al máximo los altos costos que impiden que las nuevas tecnologías sean fácilmente aplicadas en una red.
- Las tecnologías ópticas siguen en constante evolución, por lo que se recomienda seguir con el estudio de las mismas, de tal manera que se pueda lograr un conocimiento de cada una de ellas y así poder escoger la más adecuada cuando se plantee el diseño de una red.

XI. REFERENCIAS

- [1] Capmany Francoy, José y Beatriz Ortega Tamarit. Redes Ópticas. Universidad Politécnica de Valencia.
- [2] Ercoa S.L. (2007) Técnicas de demultiplexación y conmutación ópticas. <http://www.ercoasl.com/index.php/id/2/objeto/14/claves/Tecnicas-de-demultiplexacion-y-conmutacion-opticas-Parte-I>
- [3] García Manrubia, M^a Belén. Planificación de redes ópticas wavelength-routing con demanda dinámica de tráfico. Universidad Politécnica de Cartagena.
- [4] Carrillo Oliva, Felipe. Redes WDM de enrutamiento por longitud de onda. Universidad Técnica Federico Santa María: Departamento de Electrónica.
- [5] Kazi, Khurram. (2006). Optical Networking Standards. Editorial Springer. Cap 16 – pp. 551.
- [6] De Maesschalck, Sophie; Colle, Didier; Willems, Danny; Pickavet, Mario y Piet Demeester On the capacity requirements of ASON versus OTNs. Ghent University: Dept. of Information Technology.
- [7] Velasco, L. Romeral, R. Fernando y David, Larrabeiti. (2007). On the design of MPLS-ASON/GMPLS Interconnection Mechanisms.
- [8] D. O. Awduche, Y. Rekhter, J. Drake, R. Coltun. (April 2001). Multi-Protocol Lambda Switching: Combining MPLS Traffic Engineering Control With Optical Crossconnects. IETF draft work in progress.

XII. BIOGRAFÍAS

BIOGRAFÍA DEL AUTOR:



María Beatriz Díaz Yánez nació en Quito-Ecuador, el 14 de julio de 1984. Sus estudios primarios los realizó en la Escuela Pensionado San Vicente y la secundaria en el Colegio Nuestra Madre de la Merced, donde obtuvo el título de Bachiller Físico Matemático. Sus estudios de pregrado fueron culminados en la Escuela Politécnica Nacional en agosto de 2008,

obteniendo el título de Ingeniero en Electrónica y Redes de Información en el 2010.

BIOGRAFÍA DEL DIRECTOR:

María Soledad Jiménez Jiménez, Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones en 1988 en la Escuela Politécnica Nacional, *Master of Science in Electrical Engineering, University of Texas at Arlington* - USA en 1994. Actualmente se desempeña como profesora del Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información de la EPN en asignaturas de pregrado y postgrado.