

MPLS-DWDM

Priscilla Piedra y Martín Flores
Escuela de Ingeniería en Computación
Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica
{ppiedra90, mfloresg}@gmail.com

Resumen—En este trabajo se estudia los estándares de red MPLS diseñado para unificar el servicio de transporte de datos para las redes y DWDM que es una técnica de transmisión de señales por medio de fibra óptica que utiliza la banda C.

1. INTRODUCCIÓN

Las demandas actuales en las redes se vuelven más exigentes donde es necesario traer nuevas tecnologías que puedan soportar las redes. Una red es un conjunto de dispositivos conectados entre sí que se utiliza como canales de transmisión de datos. La fibra óptica es una solución para la transmisión de datos donde los primeros sistemas eran sencillos cuyo fin era transmitir información mediante hebras de vidrio que transmitían pulsaciones de luz. A medida que se aumenta la necesidad de información es necesario aumentar el ancho de banda por lo tanto nacen técnicas como DWDM para transmitir señales y MPLS como mecanismo de transporte.

2. MPLS

Multi-Protocol Label Switching o MPLS por sus siglas en inglés se ha considerado como la tecnología clave en el futuro de las grandes redes [1]. Ha ganado terreno en el área de redes ATM pues provee funcionalidades para manejo de tráfico de redes por paquetes, facilidades de IP QoS y también han contribuido a mejoras en las redes VPN.

MPLS es una propuesta para solucionar los problemas que presentan las redes como velocidad, escalabilidad, ingeniería de tráfico y gestión de QoS.

Es un estándar de la IETF (Internet Engineering Task Force): RFC 3031 basada en la conmutación de marcas de Cisco inspirado en el esquema de IP switching propuesta por Nokia.

MPLS presenta un esquema de orientación a conexiones en una red IP que no está orientada a conexión donde se busca evitar las búsquedas en las tablas de enrutamiento durante el proceso de transferencia, buscando unificar el transporte de datos para las redes de conmutación de paquetes.

MPLS es muy diferente a los protocolos por brincos tradicionales pues mediante una etiqueta (label) de tamaño fijo se puede saber el header de un paquete y la información que este lleva.

MPLS se caracteriza por la conmutación rápida a nivel de la capa 2 separando la función de conmutación de la de

enrutamiento, logrando una conmutación pero con información de rutas permitiendo que los equipos consuman menos recursos permitiendo una implementación de ingeniería de tráfico. MPLS se puede decir que trabaja en la capa 2.5[1] según el modelo OSI donde, la capa 2 cubre protocolos como el Ethernet y SONET[1] los cuales llevan paquetes IP pero solo entre LANs o WANs punto a punto. La capa 3 cubre direccionamiento profundo en internet y enrutamiento usando protocolos IP. MPLS se sitúa entre las capas 2 y 3 como se ha mencionado anteriormente proveyendo valor agregado para el transporte de datos entre la red.

MPLS tiene una parte de control encargada de las decisiones de enrutamiento y reenvío coordinadas donde se construye una tabla con etiquetas la cual es consultada para saber el flujo de los datos. Todos los paquetes que llevan la misma etiqueta forman un grupo llamado FEC o Forwarding Equivalent Class.

En este protocolo el único router que tiene que hacer funciones de enrutamiento es el que está de primero el cual se encarga de etiquetar cada paquete.

Los siguientes pasos deben ser tomados por un paquete para viajar a través de una red MPLS:

- Creación de la etiqueta y la distribución.
- Creación de la tabla en cada router.
- Creación del flujo de intercambio de etiquetas.
- Reenvío de paquetes.

2.1. Cabeceras

Las etiquetas que usa MPLS van en el nivel 2 y 3[2]. En la figura anterior se tiene que el campo de label es la etiqueta, los tres bits de exp son reservados, el bit S es usado para el apilamiento mientras que el campo TTL funciona para poder mantener la funcionalidad TTL del IP. El TTL de un paquete se copia en la cabecera (header) y el mismo se va decrementando en cada router.

Cuando un router configurado con MPLS recibe un paquete, este puede realizar tres diferentes operaciones: hacer push a la etiqueta en una pila, pop de la etiqueta de la pila o bien cambiar la etiqueta en la cima de la pila.

Las cabeceras funcionan de la siguiente manera: Si hay cuatro routers bajo el protocolo MPLS el primero de ellos va a colocar una etiqueta en el paquete y los demás la van a ir cambiando conforme el paquete es conmutado, si por ejemplo para ir del router 3 al 2 hubieran tres routers

mas en otra red MPLS seria necesario que esos tres routers colocaran otra etiqueta para permitir el paso del paquete dejando la primer etiqueta intacta. A esto se le conoce como label stack o apilamiento de etiquetas. El bit S es utilizado para saber cual es la primer etiqueta en la pila.

2.2. Label Switching

Tradicionalmente, existen dos enfoques diferentes para el reenvío de paquetes, cada mapeo hacia una estructura específica de la tabla de reenvío. Se les llama reenvío por dirección de red y conmutación de etiquetas.

Un enfoque sencillo es el reenvío por dirección de red, o sea por IP. Cuando un paquete llega a un enrutador analiza el destino en el header del paquete y lo busca la tabla de ruteo, la cual tiene una estructura simple de 2 columnas donde cada fila guarda el destino a la interfaz de salida por el cual el paquete debe ser reenviado.

La conmutación de etiquetas (label switching) representa un enfoque alternativo (MPLS). Esencialmente, mientras que el reenvío por dirección de red requiere que la salida se elija en base al destino del paquete, la conmutación de etiquetas requiere que dicha interfaz sea elegida en base al flujo al que pertenece el paquete. Un flujo corresponde a una instancia de transmisión, es decir, un conjunto de paquetes, desde una fuente hasta un destino y se identifica mediante una etiqueta (label) adjunta a cada paquete del flujo. Un label o etiqueta es un identificador de tamaño fijo no estructurado que puede ser usado para asistir en el proceso de envío, normalmente son locales a un solo dato y no tienen un valor global significativo.

Un router label switching es cualquier dispositivo que soporte control estándar de IP y el componente de intercambio de etiquetas. Cuando el paquete llega a un router, el router extrae la etiqueta del header, busca el valor de la etiqueta en la tabla de reenvío y su interfaz de egreso por el cual el paquete debería ser enviado y una nueva etiqueta es agregada al paquete.

El label switching es una forma avanzada de reenvío que reemplaza las direcciones largas con una etiqueta mas eficiente con un algoritmo de intercambio. Hay tres grandes diferencias entre el enrutamiento de etiquetas y el enrutamiento convencional[1]:

- **Análisis de encabezado IP:** En el enrutamiento convencional ocurre en cada nodo mientras que en el de etiquetas ocurre solo una vez cuando la misma es asignada.
- **Soporte Unicast y Multicast:** Para el enrutamiento convencional se requiere de algoritmos complejos de re-envío, para el enrutamiento por etiquetas solo se ocupa un algoritmo de reenvío.
- **Decisiones de ruteo:** Para el enrutamiento convencional esta basado solo en dirección y para el enrutamiento de etiquetas el mismo puede ser basado en cualquier numero de parámetros como QoS, o miembros de VPN.

Una red basada en intercambio de etiquetas sirve con el mismo propósito de cualquier red convencional entregando trafico a uno o mas destinos. Agregar las etiquetas complementa el enrutamiento básico pero nunca lo reemplaza,

al contrario trae retos a los protocolos de reenvío[2], esto pues antes de transmitir un nuevo flujo a través de una ruta una nueva etiqueta debe ser generada y asignada para cada tramo de la ruta. Para evitar elegir etiquetas ya usadas existe una regla donde las mismas no pueden ser idénticas para cada interfaz dentro de un router pero, se pueden repetir fuera de los mismos. Por esta razón es que las etiquetas tienen que cambiar en cada salto. Un ejemplo de una tabla de reenvío es el que se muestra en la siguiente figura.

El label switching no es único para MPLS, otros protocolos como ATM y Frame Relay tradicionalmente adoptan el mismo mecanismo de reenvío donde inicialmente la razón para preferir el cambio de etiquetas era el rendimiento ya que, es mas sencillo buscar una etiqueta en la tabla de reenvío que buscar una dirección IP. Además de que las etiquetas pueden tomar valores en un rango mucho más pequeño que las direcciones IP, los valores de la etiqueta se pueden buscar exactamente (de forma eficiente, como por ejemplo implementando tablas hash) mientras que las direcciones IP deben ser buscadas de forma exacta. Sin embargo, los routers modernos utilizan hardware y datos eficientes para implementar sus tablas de reenvío, obteniendo rendimiento en la búsqueda.

Algunas de las ventajas del reenvío de etiquetas es que las mismas pueden ser realizadas por conmutadores de baja capacidad además de que la asignación de FEC puede hacerse en base a información disponible del paquete como por ejemplo el puerto de origen o el enrutador de entrada. También los criterios para asignar el FEC pueden volverse complejos sin necesidad de afectar a los enrutadores. En ingeniería de trafico, el uso de la etiqueta es fundamental pues esta es usada para indicar el flujo de los paquetes de forma prioritaria. También cabe destacar que algunos enrutadores pueden analizar la cabecera del paquete para determinar la prioridad o la clase del servicio y no solo el salto que este debe dar.

3. DWDM

El crecimiento explosivo del Internet y de aplicaciones basadas en el protocolo de Internet (IP) tales como voz, video y redes de área de almacenamiento (SAN, por sus siglas en inglés) ha impulsado las demandas de ancho de banda de muchas organizaciones. Con las velocidades de redes LAN en el rango de los 10Mbps a los 10Gbps, y la calidad de servicio (QoS) jugando un rol importante en la entrega de estos datos, debe de existir un alternativa a servicios WAN y LAN para conectar redes de área metropolitana (MAN). Las conexiones de red que tradicionalmente llevaban velocidades de datos T1 y T3 ahora requieren de canal de fibra, *Enterprise System Connection* (ESCON), Gigabit Ethernet y 10 Gigabit Ethernet para satisfacer la demanda. El aumento en la demanda, junto con los avances en la tecnología óptica han aumentado drásticamente la capacidad y reducción de costos, haciendo más atractivo a los proveedores de servicios ofrecer servicios de red basados en fibra para el mercado metropolitano.

Las redes metropolitanas basadas en fibra abordan necesidades de negociaciones en tres áreas:

1. Redes de datos y migración: tecnologías de red ópticas ofrecen muchas velocidades de datos y cone-

xiones que soportan una variedad de tecnologías de red, tales como IP, *synchronous optical networks* (SONET), ATM, y TDM. Las redes pueden consolidar múltiples longitudes de onda de tráfico a una sola fibra para proporcionar multiservicio de transporte y facilitar la migración de tecnologías tradicionales de redes eléctricas en un trasporte óptico común.

2. Recuperación de desastres y continuidad de negocio: tener un centro de respaldo de datos es una consideración primaria para muchas compañías grandes de hoy. Las redes ópticas metropolitanas proporcionan transporte rápido de *campus* a *campus* con redundancia. Soluciones de recuperación de desastres en tiempo real, tales como reflejo sincrónico (*synchronous mirroring*), garantizan que los datos de misión crítica están sincronizados de forma segura y remota para evitar pérdida de datos en el caso de un evento desastroso.
3. Consolidación del almacenamiento: cuando el almacenamiento conectado a la red (NAS) se integra con aplicaciones SAN se provee consolidación de almacenamiento basado en IP y compartición de archivos. Las redes ópticas metropolitanas facilitan no solo la implementación del almacenamiento, sino también la extensión del almacenamiento más allá de un solo centro de datos.
4. Fibra residencial: conforma la fibra se hace más accesible en costos, ha empezado a penetrar en el mercado residencial.

Las tres principales tecnologías ópticas hoy en día son:

1. *Synchronous Optional NET* (SONET)
2. *Dense wavelength division multiplexing* (DWDM)
3. *Dynamic packet transport* (DPT)

Las tres convierten señales eléctricas en luz y viceversa. Los *Fiber-Optic Transmission Systems* (FOTS) hacen la conversión. Las señales de fibra óptica no son susceptibles a la interferencia eléctrica. Las señales se pueden transmitir en distancias largas y pueden enviar más información que los medio de transporte eléctricos tradicionales. La combinación de estos beneficios provee costos más bajo que en mecanismos de transporte de datos eléctricos tradicionales.

DWDM se basa en la premisa que las señales ópticas de diferente longitud de onda no interfieren entre sí. Multiplexación por división de longitud de onda (WDM) difiere de tecnologías de multiplexación de división de tiempo (como SONET) de la siguiente forma:

- *Time-Division Multiplexing* (TDM) emplea una sola longitud de onda a través de la fibra. Los datos son divididos en canales del tal form que múltiples canales pueden viajar a través de una sola fibra.
- WDM emplea múltiples longitudes de onda (λ s) por fibra, lo que permite que múltiples canales por fibra (hasta 160). Cada λ puede incluir múltiples canales TDM.

DWDM ofrece escalabilidad por sobre las tecnologías tradicionales de TDM. Esto por los datos pueden viajar considerablemente más lejos a través de DWDM que en TDM tradicionales (120Km vs 40 Km), se necesitan menos

repetidoras. DWDM también permite una mayor capacidad a través de las fibras de largo recorrido, así como un rápido provisionamiento en las redes metropolitanas. DWDM metropolitanos necesitan ser baratos y simples de gestionar. Deben también ser independientes de las tasas de bits y protocolo como transporte y proporcionar de 16 a 32 canales por fibra. Los nodos DWDM se unen unos con otros en un patrón de anillo usando multiplexadores ópticos *add-drop*, los cuales agregan y evitan tráfico en cada sitio remoto, y todo el tráfico se dirige a un sitio central.

3.1. Fundamentos de la fibra

Los dos tipo de fibra óptica son multimodo y monomodo. Con fibra multimodo, la luz se propaga en forma de múltiples longitudes de onda, cada una tomando una ruta ligeramente diferente. La fibra multimodo es usada principalmente en sistemas de corta transmisión (menos de 2Km). La fibra monomodo tiene un solo modo en el cual la luz se propaga. La fibra monomodo se utiliza usualmente en largas distancias y en aplicaciones de alto ancho de banda.

3.2. Criterio de diseño

A medida que viajan por las fibras, las señales ópticas están sujetas a deterioro en la forma de atenuación, dispersión y no linealidades, distorsión cromática y distorsión del modo de polarización. Estos factores limitan la distancia y el ancho de banda de las señales ópticas.

3.2.1. Multiplexación

Multiplexación es el proceso de combinar múltiples señales en un solo cable, fibra o enlace. Con TDM, se introducen señales de baja velocidad, se asignan ranuras de tiempo y se colocan en una salida en serie de velocidad más alta. En el extremo receptor, las señales son reconstruidas.

Una de las propiedades de la luz es que las ondas de luz de diferente longitud de onda no interfieren unas con otras dentro de un medio. Debido a esta propiedad, cada longitud de onda de luz puede representar un canal diferente de información. Al combinar pulsos de luz de diferente longitud de onda, muchos canales pueden ser transmitidos sobre una sola fibra simultáneamente. A esto se le llama Multiplexación por división de longitud de onda (WDM). WDM es una variante de multiplexación de división de frecuencia (FDM).

3.2.2. Optical Ethernet

Gigabit Ethernet es la forma más simple y barata de transporte óptico. Optical Ethernet utiliza un dispositivo llamado convertidores de interface gigabit (GBIC), el cual se conecta a un puerto de un *switch* y convierte un flujo Ethernet en una señal óptica.

3.2.3. CWDM

Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM) utiliza pares de GBICs de longitud de onda específicos para combinar hasta ocho señales ópticas en una sola fibra. Cada par de *switches* está equipado con uno o más pares de GBICs. Cada par de GBICs se sintoniza con una frecuencia específica que permita que el *switch* añada (mux) o "arrebate" (demux) un rayo de luz (un flujo de datos).

CWDM puede ser implementado como un anillo o punto-a-punto. Un gran inconveniente de CDWM es que no puede ser amplificado, lo que hace que esta solución tenga una distancia limitada. La regla que se sugiere es una distancia de 80 Km para punto-a-punto o una circunferencia de anillo de 30 Km.

3.2.4. DWDM

Usa el mismo esquema de multiplexación que CWDM. Sin embargo, las señales DWDM, están mucho más cerca unas de otras, permitiendo a los sistemas DWDM multiplexar hasta 32 señales en una sola fibra.

Las señales DWDM pueden ser amplificadas, haciendo este sistema el ideal para centros de respaldo de datos o para organizaciones con sucursales geográficamente dispersas. Con amplificación, las señales DWDM pueden ser transmitidas hasta 250Km.

4. CONCLUSIÓN

MPLS fue diseñado para unificar el servicio de transporte de datos para las redes. MPLS hoy en día es una solución de mayor alcance, donde se necesitan reducir costos, aumentar la productividad y poder soportar más aplicaciones en la nube tomando en cuenta la seguridad llevan a muchas empresas actualmente a implementar MPLS. MPLS tiene la capacidad de integrar voz, vídeo y datos en una plataforma común con calidad brindando además rendimiento y escalabilidad de servicios, esto pues MPLS permite empaquetar más datos en el ancho de banda disponible y disminuir requerimientos a nivel de router.

DWDM es una técnica de transmisión de señales por medio de fibra óptica que utiliza la banda C que introduce más longitudes de onda distintas en cada fibra y por esta razón es actualmente una de las técnicas más implementadas, permitiendo fabricación a gran escala, disminución de costos, mejorar en la transmisión de fibra, implementación de diferentes técnicas de fabricación e implementación en redes de larga distancia.

REFERENCIAS

- [1] CISCO. *MPLS Concepts*. CISCO, Implementing CISCO MPLS. 2002.
- [2] L. Cittadini. *Design of Virtual Private Networks with MPLS*. University of Cambridge.
P. Della Maggiora, N. Anderson y J. Doherty. *Cisco Networking Simplified*. Segunda edición. Cisco Press. 2007.
- [3] E. Rosen, A. Viswanathan, R. Callon. *Multiprotocol Label Switching Architecture*. RFC 3031, 2001



Martín Flores es Ingeniero en Informática de la Universidad Nacional. Actualmente, realiza sus estudios de Maestría en Ciencias de la Computación del Tecnológico de Costa Rica. Sus principales intereses son: lenguajes de programación, ingeniería de software y *DevOps*.



Priscilla Piedra es Ingeniera de Computación del Tecnológico de Costa Rica. Actualmente es estudiante del programa de Maestría en Ciencias de la Computación en la misma universidad. Sus principales intereses son: *cloud computing* y automatización.

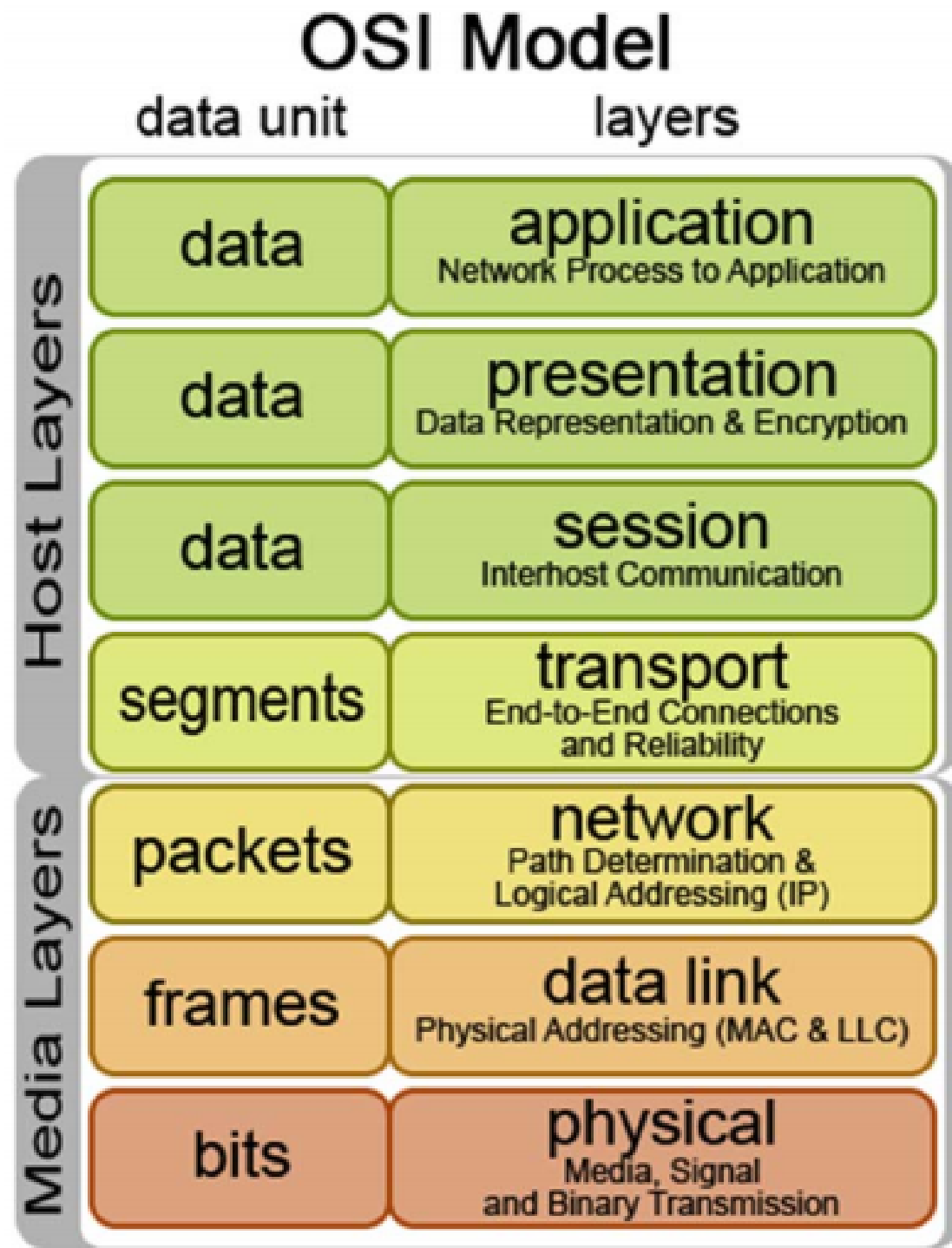


Figura 1. Modelo OSI. Tomado de *Desing of Virtual Private Networks with MPLS* [?].

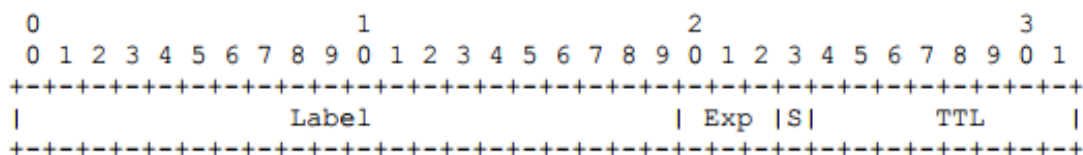


Figura 2. Cabecera MPLS. Tomado de *Desing of Virtual Private Networks with MPLS* [?].

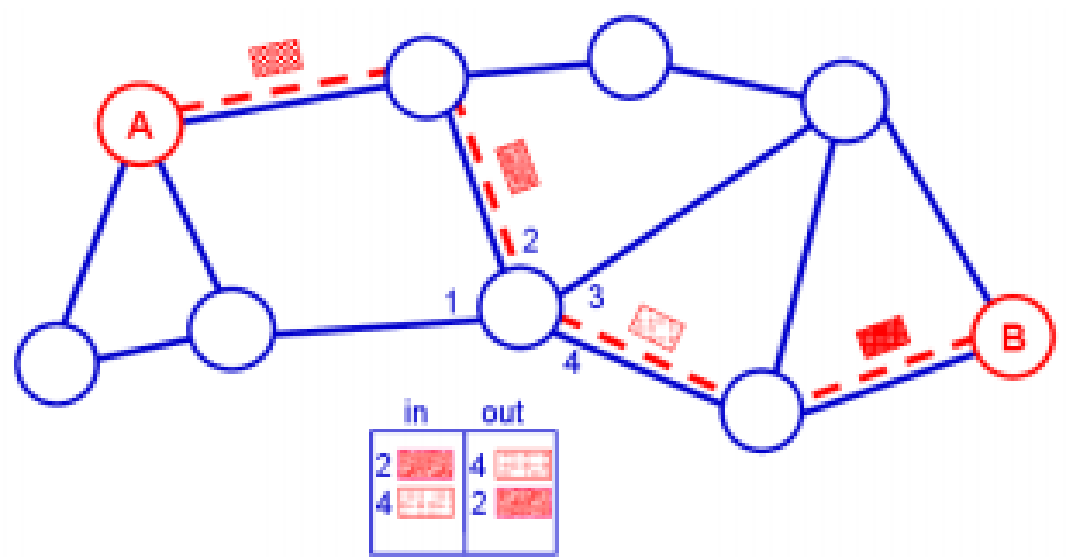


Figura 3. Una red basada en intercambio de etiquetas donde se muestra la tabla de reenvíos. Tomado de *Desing of Virtual Private Networks with MPLS* [?].

Incoming label	Egress interface	Egress label
101	en5	218

Figura 4. Estructura de una tabla de envios basado en intercambio de etiquetas. Tomado de *Desing of Virtual Private Networks with MPLS* [?].

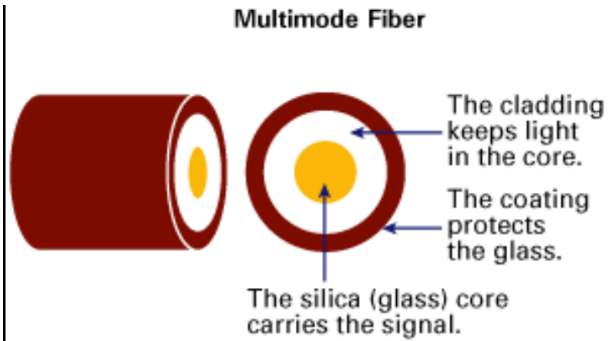


Figura 5. Modelo OSI. Tomado de *Desing of Virtual Private Networks with MPLS* [?].