

**GMPLS**

**CONMUTACION DE ETIQUETAS MULTIPROTOCOLO GENERALIZADO**

**LUIS MARIANO ARRIETA**

**RANDY ATENCIA ROMERO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

**FACULTAD DE INGENIERIAS**

**DIRECCIÓN DE PROGRAMAS DE INGENIERÍA ELECTRICA Y**

**ELECTRÓNICA**

**CARTAGENA DE INDIAS, D. T. Y C**

**2006**

**GMPLS**

**CONMUTACION DE ETIQUETAS MULTIPROTOCOLO GENERALIZADO**

**LUIS MARIANO ARRIETA**

**RANDY ATENCIA ROMERO**

**Monografía presentada como registro de aprobación del Minor en**

**Telecomunicaciones**

**Director**

**JAIME CABARCAS GOMEZ**

**Ingeniero Electrónico**

**Especialista en Telecomunicaciones**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

**FACULTAD DE INGENIERIAS**

**DIRECCIÓN DE PROGRAMAS DE INGENIERÍA ELECTRICA Y**

**ELECTRÓNICA**

**CARTAGENA DE INDIAS, D. T. Y C**

**2006**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

Cartagena, Julio 19 de 2006

Cartagena, julio 19 del 2006

Señores

**COMITÉ DE REVISIÓN DE MONOGRAFÍA  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

La Ciudad

Apreciados señores:

Por medio de la presente nos permitimos informarles que la monografía titulada  
**“GMPLS: CONMUTACION DE ETIQUETAS MULTIPROTOCOLO  
GENERALIZADO”** ha sido desarrollada de acuerdo a los objetivos  
establecidos.

Como autores del proyecto consideramos que el trabajo es satisfactorio y  
amerita ser presentado para su evaluación.

Atentamente,

---

**LUIS MARIANO ARRIETA**

Código 0604360

---

**RANDY ATENCIA ROMERO**

Código 0004010

## **ARTICULO 105**

La Universidad Tecnológica de Bolívar, se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grado aprobados, y no se pueden ser explotados comercialmente sin autorización.

## CONTENIDO

---

Pág.

GLOSARIO	8
RESUMEN	15
INTRODUCCION	16

### **1. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACION**

---

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.2. OBJETIVOS	20
1.2.1. Objetivo General	20
1.2.2. Objetivos Específicos	20
1.3. JUSTIFICACION	21

### **2. MPLS**

---

2.1 Concepto de MPLS	23
2.2 Elementos de una red MPLS	24
2.3 Establecimiento de un LSP	27
2.4 Beneficios del MPLS	28

### **3. REDES ÓPTICAS BASADAS EN GMPLS**

---

3.1 Evolución del modelo de red óptica	29
3.2 GMPLS	32
3.3 Conmutación de servicios fotónicos	36

### **4. PLANO DE CONTROL ÓPTICO BASADO EN GMPLS**

---

4.1. Plano de control GMPLS	39
4.1.1. Evolución del estándar (IETF) formas de MPLS	40
4.1.2. Plano de Control MPLS-TE	41
4.2. Claves de GMPLS	41
4.3. Protocolos GMPLS	42
4.4. Soportes en el plano de control GMPLS	43

### **5. ARQUITECTURA GMPLS**

---

5.1 Jerarquía GMPLS	44
5.2. Capacidades de conmutación en la tecnología GMPLS	45
5.3. Extensión de MPLS	47
5.4. Extensiones de señalización	49
5.5. Extensiones de enrutamiento	57

5.6. Link Management Protocol – LMP	57
5.7. Evolución servicios Ópticos sobre IP	58
5.8. Señalización generalizada	59
5.9. Protección del enlace	61

## **6. DWDM**

---

6.1 Ventajas del DWDM	64
6.2 Evolución hacia las redes completamente ópticas	66
6.3 Elementos de una red Completamente ópticas	67
CONCLUSIONES	69
BIBLIOGRAFIA	70



## LISTA DE FIGURAS

---

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Red MPLS.	27
<b>Figura 2.</b> Evolución del modelo de capas	32
<b>Figura 3.</b> Red de conmutación de servicios fotónicos con integración vertical	34
<b>Figura 4.</b> Jerarquía de interfaces conmutados de GMPLS.	39
<b>Figura 5.</b> Conmutador PSS configurado para múltiples tipos de tráfico.	40
<b>Figura 6.</b> Plano de Control MPLS-TE.	43
<b>Figura 7.</b> Jerarquía GMPLS	46
<b>Figura 8.</b> Capacidades de Conmutación GMPLS	48
<b>Figura 9.</b> LSR	49
<b>Figura 10.</b> MPλS	50
<b>Figura 11.</b> Establecimiento de un LSP	50
<b>Figura 12.</b> SONET Label	52
<b>Figura 13.</b> SDH Label	53
<b>Figura 14.</b> Label Set (II)	56
<b>Figura 15.</b> Label Set (III)	56
<b>Figura 16.</b> Primera fase	60
<b>Figura 17.</b> Segunda fase	61

<b>Figura 18.</b> Tercera fase	61
<b>Figura 19.</b> DWDM	65
<b>Figura 20.</b> Tendencias a nivel de protocolos en la capa de transporte	68
<b>Figura 21.</b> Redes completamente ópticas.	69

## **GLOSARIO**

---

### **ACRONIMOS**

**AS** Autonomous System

**BGP** Border Gateway Protocol

**CR-LDP** Constraint-based Routing LDP

**CSPF** Constraint-based Shortest Path First

**DWDM** Dense Wavelength Division Multiplexing

**FA** Forwarding Adjacency

**FSC** Fiber Switched Channel

**GMPLS** Generalized Multi-Protocol Label Switching

**IGP** Interior Gateway Protocol

**IS-IS** Intermediate System to Intermediate System

**LDP** Label Distribution Protocol

**LMP** Link Management Protocol

**LSA** Link State Advertisement

**LSC** Lambda Switched Channel

**LSR** Label Switched Router

**LSP** Label Switched Path

**MPLS** Multi-Protocol Label Switching

**NMS** Network Management System

**OSPF** Open Shortest Path First  
**OXC** Optical Cross-Connect  
**PXC** Photonic Cross-Connect  
**RSVP** ReSource reserVation Protocol  
**SDH** Synchronous Digital Hierarchy  
**SPF** Shortest Path First  
**TDM** Time-Division Multiplexing  
**TE** Traffic Engineering  
**VCI** Virtual Circuit Identifier  
**WPQ** Weighted Priority Queuing  
**WRR** Weighted Round Robin

## **TERMINOS**

**ATM:** Asynchronous Transfer Mode. Modo de Transferencia Asíncrona. Es una tecnología de alto desempeño, orientada a conmutación de celdas y con tecnología de multiplexaje. Esta usa paquetes de tamaño fijo para llevar diferentes tipos de tráfico.

**BackBone:** Conexión de alta velocidad dentro una red que interconecta los principales sitios de la Internet.

**BGP:** Border Gateway Protocol. Protocolo de Intercambio de Borde. Es un protocolo para el intercambio de información de enrutamiento entre dos host gateways (cada uno con su enrutador) en una red de sistemas autónomos.

**Etiqueta:** Es un identificador corto, de longitud fija y con significado local empleado para identificar un FEC.

**FEC:** Forwarding Equivalence Class. Clase de Equivalencia de Reenvío. Clase que define un conjunto de paquetes que se envían sobre el mismo camino a través de una red, aun cuando sus destinos finales sean diferentes.

**FRAME RELAY:** Intercambio de Tramas. Una técnica de transmisión extremadamente eficiente, usada para mandar información digital como voz, datos, tráfico de redes de área local (LAN), y tráfico de redes de gran área (WAN) a muchos puntos desde una solo puerto de manera muy rápida.

**IETF:** Internet Engineering Task Force. Grupo voluntario que investiga y resuelve problemas técnicos.

**IGP:** Interior Gateway Protocol. Protocolo de Intercambio Interior. Es un protocolo para el intercambio de información de enrutamiento entre gateways (routers o host) adentro de una red autónoma.

**IP:** Internet Protocol. Protocolo De Internet. Se puede considerar el más importante de los protocolos que sobre los cuales se basa la Internet.

**IPsec:** Internet Protocol Security. Protocolo de Internet Seguro. Es un panel de trabajo para un conjunto de protocolos para proveer seguridad en la capa de procesamiento de paquetes de la red.

**LAN:** Local Área Network. Red De Área Local. Un tipo de arreglo para comunicación de datos a alta velocidad. Red limitada en el espacio, concebida para abastecer a subunidades organizativas.

**LDP:** Label Distribution Protocol. Protocolo de Distribución de Etiquetas. Es un protocolo para en intercambio y distribución de etiquetas entre los LSR de una red MPLS.

**LSP:** Label Switched Path. Camino de Intercambio de Etiquetas. Es una ruta a través de uno o más LSRs en un nivel de jerarquía que sigue un paquete de un FEC en particular.

**LSR:** Label Switching Router. Enrutador de Intercambio de Etiquetas. Es un enrutador de alta velocidad especializado en el envío de paquetes etiquetados por MPLS.

**MPLS:** Multi Protocol Label Switching. Intercambio De Etiquetas Multiprotocolares. Es un estándar del IETF que surgió para agrupar diferentes soluciones de conmutación multinivel.

**NSP:** Network Service Provider. Proveedor de Servicio de Red. Es una compañía que provee servicios de backbone a un ISP (Internet Service Provider), la compañía que muchos usuarios del Web usan como acceso a la Internet.

**OSI, Modelo de referencia:** Modelo de arquitectura de red desarrollado por ISO e UIT-T. El modelo está compuesto por siete capas, cada una de las cuales especifica funciones de red individuales, por ejemplo, direccionamiento, control de flujo, control de errores, encapsulamiento y transferencia confiable de mensajes. La capa superior (la capa de aplicación) es la más cercana al usuario; la capa inferior (la capa física) es la más cercana a la tecnología de medios. Las dos capas inferiores se implementan en el hardware y el software, y las cinco capas superiores se implementan sólo en el software. El modelo de referencia OSI se usa a nivel mundial como método para la enseñanza y la comprensión de la funcionalidad de la red. Las siete capas que describe son: Aplicación (7), Presentación (6), Sesión (5), Transporte (4), Red (3), Enlace de datos (2) y Física (1).

**PPP:** Point to Point Protocol. Protocolo Punto a Punto. Protocolo que le permite a un computador el uso de protocolos TCP/IP. Es normalmente utilizado para conexión a la Internet a través de una línea telefónica y un módem.

**PVC:** Permanent Virtual Circuit. Circuito Virtual Permanente. Es un camino virtual a través de una red, caracterizado por tener puntos de llegada definidos por el operador de la red en una subestación de suscripción. Un simple camino físico puede soportar varios PVCs.

**QoS:** Quality of Service. Calidad de Servicio. Es la idea de mejorar la tasa de transmisión, tasas de error y otras características que pueden ser medidas, y en muchos casos garantizar el servicio. QoS es de preocupación particular para las transmisiones continuas de alto ancho de banda para video y transmisiones multimedia.

**RSVP:** Resource Reservation Protocol. Protocolo de Reservación de Recursos. Es un conjunto de reglas de comunicación que permite canales o caminos en la Internet sean reservados para multicast (cuando un paquete se manda a muchos usuarios), transmisión de video o cualquier otro uso diferenciado. RSVP es parte del modelo IIS (Internet Integrated Service) el cual asegura servicios de mejor esfuerzo, tiempo real y control de compartición de links.



**TCP/IP:** Transmission Control Protocol/Internet Protocol. Protocolo para Control de Trasmisión/protocolo Internet. Software adecuado para proceso Internet originado en la Arpanet del departamento de Defensa de EEUU.

**TTL:** Time-To-Live. Es un campo dentro del encabezado IP que indica el tiempo de vida del paquete cuando este viaja por la red.

**VPN:** Virtual Private Network. Red Privada Virtual. Servicio ofrecido por carriers (portadoras comunes), en el cual la red pública conmutada provee capacidades similares aquellas de las líneas privadas, tales como acondicionamiento, chequeo de errores, transmisión a alta velocidad, full duplex, basada en cuatro hilos conductores con una calidad de línea adecuada para transmisión de datos.

## RESUMEN

---

El imparable crecimiento de servicios de banda ancha que las redes de telecomunicación ha de soportar, está llevando a una evolución en el diseño de dichas redes que permita de una manera eficiente la conmutación y enrutamiento de los grandes volúmenes de datos que han de transportarse.

GMPLS puede verse, por tanto, como un integrador de las arquitecturas ópticas y de datos, y como tal, su desarrollo necesita de mejoras de la señalización y de los protocolos de encaminamiento IP actualmente existentes para extenderlos al entorno óptico. Los trabajos más recientes en este sentido intentan adaptar el plano de control MPLS, y especialmente sus protocolos de señalización y encaminamiento (CR-LDP y RSVP-TE “*Constraint Based Routing Label Distribution Protocol*” y “*Resource Reservation Protocol-Traffic Engineering*” respectivamente), de manera que no solo sea utilizado por los routers y conmutadores ATM, sino también por los cross-conectores ópticos (OXCs). Así mismo, GMPLS ha marcado el desarrollo de nuevos protocolos como el LMP (“*Link Management Protocol*”).

Pero más allá de la solución tecnológica, GMPLS también resuelve el factor económico al posibilitar una arquitectura de red más optimizada para transportar grandes volúmenes de tráfico que las actuales.

## INTRODUCCION

---

Desde 1995 se ha producido un aumento dramático en el tráfico de datos, debido principalmente al crecimiento explosivo de Internet así como a la proliferación de redes privadas virtuales (VPNs). Poco antes de finalizar el milenio, el volumen de tráfico de datos a nivel mundial sobre pasaba al tráfico de voz y continuará aumentando en los próximos años. Al mismo tiempo se aumenta la demanda por parte de los clientes de mantener bajo el costo de acceso. Estos factores dan lugar a una situación en la que los proveedores de servicio necesitan soluciones que les permitan transportar un gran volumen de tráfico de la manera más eficiente posible en cuanto al costo.

Las redes de datos actuales se componen normalmente de cuatro capas: IP para el transporte de aplicaciones y servicios, ATM para la ingeniería de tráfico SONET/SDH para el transporte y DWDM para proporcionar la capacidad. La escalabilidad de esta arquitectura es muy lenta para volúmenes de tráfico muy grandes, además de ser ineficiente en coste.

El transporte efectivo debería optimizar el costo de la multiplexación de datos así como de la conmutación de datos sobre un amplio rango de volúmenes de tráfico. DWDM es una técnica de multiplexado eficiente que ofrece ventajas técnicas significativas. DWDM aumenta la capacidad de transporte de ancho de

banda de una única fibra óptica al crear de manera efectiva múltiples fibras virtuales, cada una de las cuales puede transportar varios gigabits de tráfico por segundo. Esto proporciona un gran aumento en la cantidad de ancho de banda disponible conservando la infraestructura de fibra existente. Análogamente se espera que los OXCs (optical cross-connects) se conviertan en la opción preferida para la conmutación de flujos de datos de gigabits o incluso terabits, ya que evita el procesamiento electrónico por paquete.

El tráfico predominante transportado sobre las redes de datos estará basado en IP. Esto sugiere que será necesario el desarrollo de tecnologías de router rápidas para agregar flujos más lentos de datos sobre flujos adecuados para los OXCs. Igualmente es muy probable que el multiplexado estadístico basado en paquetes IP sea la tecnología de multiplexado predominante para flujos de datos más pequeños que los adecuados para DWDM.

Mientras las capacidades de los routers y OXCs aumentan rápidamente, las altas tasas de datos del transporte óptico sugieren la posibilidad de eliminar las capas SONET/SDH y ATM. Para llegar a este punto los routers, OXCs y DWDMs deben implementar las funciones necesarias de dichas capas.

Como resultado final obtendremos una red más sencilla y eficiente en costo que transportará un amplio rango de flujos de datos y volúmenes de tráfico muy elevados.

En los últimos años el enrutamiento IP ha evolucionado para incluir nuevas funcionalidades desarrolladas en la arquitectura MPLS. Recientemente se ha extendido MPLS como un plano de control que puede utilizarse con nuevos dispositivos como los OXCs. Esta generalización proporciona el plano de control común estandarizado necesario en la evolución de redes ópticas abiertas e inter operables. En primer lugar, un plano de control común simplifica las operaciones y la gestión, lo que reduce el costo de las operaciones. En segundo lugar, un plano de control común proporciona un amplio rango de escenarios de desarrollo.

Esta monografía describe la arquitectura de GMPLS (Generalized MPLS), Pero primero hacemos una descripción del MPLS para luego profundizar en el GMPLS que extiende al MPLS al incluir nuevos tipos de conmutación: división en el tiempo, longitud de onda y espacial. El principal foco de GMPLS es el plano de control de estas diversas capas de conmutación, ya que cada una de ellas puede utilizar físicamente distintos planos de datos o de envío.

## CAPITULO 1

---

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El enorme crecimiento de la red Internet ha convertido al protocolo IP en la base de las actuales redes de telecomunicaciones, contando con más del 80% del tráfico cursado. Por su desempeño, tiene la posibilidad de correr sobre redes versátiles. La red IP hoy en día se ha convertido en una extensa red en la que las posibilidades de negocio y los mercados de consumo inducen al desarrollo de nuevas aplicaciones de voz y multimedia que requieren mayor ancho de banda y QoS (Calidad de Servicio) durante todo el servicio.

En el escenario de desarrollo de las redes IP y de transporte óptico, la calidad de servicio ofrecida por la tecnología MPLS, unida a la extraordinaria capacidad soportada por las redes ópticas basadas en DWDM, aparece como la combinación ideal para afrontar el reto de las futuras redes de telecomunicación. Esta combinación se refleja en lo que se ha dado en llamar MP $\lambda$ S (“Multi-Protocol Lambda Switching”), o más comúnmente, GMPLS (“Generalized Multi-Protocol Label Switching”).

En síntesis, GMPLS es una evolución del plano de control multipropósito de MPLS, que tiene el objetivo de ser utilizado no sólo por dispositivos de

conmutación de paquetes, sino también por dispositivos que lleven a cabo la conmutación en los dominios del tiempo, longitud de onda y espacio.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo General**

Desarrollar una visión general sobre la nueva Arquitectura de red GMPLS, analizando sus características generales y principales aspectos técnicos.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

Describir el funcionamiento básico de la arquitectura GMPLS y sus principales componentes.

Identificar las ventajas y desventajas de su implementación.

Brindar una visión futura de las redes con arquitectura GMPLS como solución tecnológica altamente viable.

Describir una visión de conjunto analizando las principales diferencias entre la arquitectura MPLS y GMPLS.

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

GMPLS puede verse, por tanto, como un integrador de las arquitecturas ópticas y de datos, y como tal, su desarrollo necesita de mejoras de la señalización y de los protocolos de encaminamiento IP actualmente existentes para extenderlos al entorno óptico. Los trabajos más recientes en este sentido intentan adaptar el plano de control MPLS, y especialmente sus protocolos de señalización y encaminamiento (CR-LDP y RSVP-TE “*Constraint Based Routing Label Distribution Protocol*” y “*Resource Reservation Protocol-Traffic Engeneering*” respectivamente), de manera que no solo sea utilizado por los routers y conmutadores ATM, sino también por los OXCs. Así mismo, GMPLS ha marcado el desarrollo de nuevos protocolos como el LMP (“*Link Management Protocol*”).

Pero más allá de la solución tecnológica, GMPLS también resuelve el factor económico al posibilitar una arquitectura de red más optimizada para transportar grandes volúmenes de tráfico que las actuales.

Hoy, típicamente, las redes de datos tienen cuatro niveles:

- ✓ IP para el transporte de aplicaciones y servicios.
- ✓ ATM para realizar ingeniería de tráfico.
- ✓ SONET/SDH para proveer transmisión.
- ✓ DWDM para aumentar la capacidad de transporte.



Esta arquitectura en cuatro niveles tiene el inconveniente de la lentitud en su escalado para volúmenes de tráfico muy grandes, y al mismo tiempo resultan caras. Las arquitecturas de múltiples capas normalmente sufren de extrapolar las deficiencias de la capa menos efectiva. Si una de las capas puede limitar la capacidad de crecimiento de la red, esta se verá afectada en su conjunto, lo que al final se traduce en un aumento del coste de la red en su totalidad.

Por lo tanto, podemos decir que a parte de las mejoras técnicas, GMPLS conlleva una optimización del transporte, que reducirá significativamente los costes de los operadores tanto en inversión, como en operación y mantenimiento.

## CAPITULO 2

---

### 2. MPLS

En 1997, el IETF establece el grupo de trabajo MPLS (*MultiProtocol Label Switching*) para producir un estándar que unificase las soluciones de conmutación de nivel 2. El resultado fue la definición en 1998 del estándar conocido por MPLS, recogido en la RFC 3031.

MPLS proporciona los beneficios de la ingeniería de tráfico del modelo de IP sobre ATM, pero además, otras ventajas; como una operación y diseño de red más sencillo y una mayor escalabilidad. Por otro lado, a diferencia de las soluciones de conmutación de nivel 2, está diseñado para operar sobre cualquier tecnología en el nivel de enlace, no únicamente ATM, facilitando así la migración a las redes ópticas de próxima generación, basadas en infraestructuras SDH/SONET y DWDM.

#### 2.1 Concepto de MPLS

MPLS es un estándar IP de conmutación de paquetes de la IETF, que trata de proporcionar algunas de las características de las redes orientadas a conexión a las redes no orientadas a conexión.

En el encaminamiento IP sin conexión tradicional, la dirección de destino junto a otros parámetros de la cabecera, es examinada cada vez que el paquete

atraviesa un router. La ruta del paquete se adapta en función del estado de las tablas de encaminamiento de cada nodo, pero, como la ruta no puede predecirse, es difícil reservar recursos que garanticen la QoS; además, las búsquedas en tablas de encaminamiento hacen que la latencia aumente y esta se incrementa en función de la longitud de la tabla. Sin embargo, MPLS permite a cada nodo, ya sea un switch o un router, asignar una etiqueta a cada uno de los elementos de la tabla y comunicarla a sus nodos vecinos. Esta etiqueta es un valor corto y de tamaño fijo transportado en la cabecera del paquete para identificar un FEC, que es un conjunto de paquetes que son reenviados sobre el mismo camino a través de la red, incluso si sus destinos finales son diferentes. La etiqueta es un identificador de conexión que sólo tiene significado local y que establece una correspondencia entre el tráfico y un FEC específico.

Dicha etiqueta se asigna al paquete basándose en su dirección de destino, los parámetros de tipo de servicio, la pertenencia a una VPN, o siguiendo otro criterio. Cuando MPLS está implementado como una solución IP pura o de nivel 3, que es la más habitual, la etiqueta es un segmento de información añadido al comienzo del paquete.

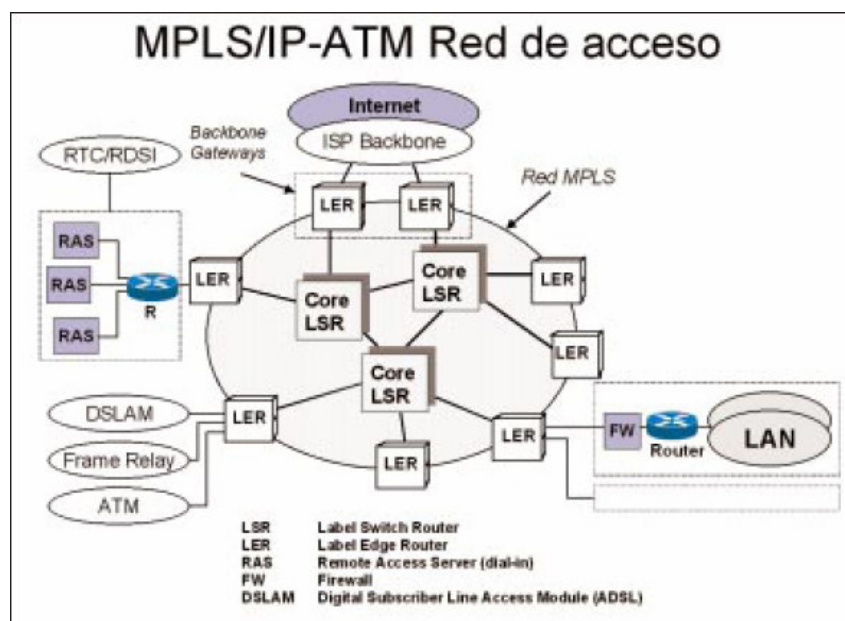
## **2.2 Elementos de una red MPLS**

En MPLS un concepto muy importante es el de LSP (*Label Switch Path*), que es un camino de tráfico específico a través de la red MPLS, el cual se crea

utilizando los LDPs (*Label Distribution Protocols*), tales como RSVP-TE (*Resource reservation Protocol – Traffic Engineering*) o CR-LDP (*Cons-traint-based Routing – Label Distribution Protocol*); siendo el primero el más común.

El LDP posibilita a los nodos MPLS descubrirse y establecer comunicación entre sí con el propósito de informarse del valor y significado de las etiquetas que serán utilizadas en sus enlaces contiguos. Es decir, mediante el LDP se establecerá un camino a través de la red MPLS y se reservarán los recursos físicos necesarios para satisfacer los requerimientos del servicio previamente definidos para el camino de datos.

Una red MPLS está compuesta por dos tipos principales de nodos, los LER (*Label Edge Routers*) y los LSR (*Label Switching Routers*), tal y como se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Red MPLS

Los LSR son *Routers* de gran velocidad ubicados en el núcleo de la red MPLS para efectuar encaminamiento de alto rendimiento basado en la conmutación por etiqueta, considerando únicamente hasta el nivel 2. Sus principales funciones son: participar en el establecimiento de los circuitos extremo-extremo de la red o LSPs usando un protocolo de señalización apropiado y conmutar rápidamente el tráfico de datos entre los caminos establecidos.

Cuando le llega un paquete a una interfaz del LSR, éste lee el valor de la etiqueta de entrada de la cabecera MPLS, busca en la tabla de conmutación la etiqueta e interfaz de salida, y reenvía el paquete por el camino predefinido escribiendo la nueva cabecera MPLS. Si un LSR detecta que debe enviar un paquete a un LER, extrae la cabecera MPLS; como el último LER no conmuta el paquete, se reducen así cabeceras innecesarias.

Los LER son los routers situados en la frontera de la red. Son responsables de enviar el tráfico entrante a la red MPLS utilizando un protocolo de señalización de etiquetas y distribuir el tráfico saliente hacia las distintas redes destino. Los LERs se clasifican en nodos de entrada (*ingress node*) y nodos de salida (*egress node*). El LER analiza y clasifica el paquete IP entrante considerando hasta el nivel 3, es decir, considerando la dirección IP de destino y la QoS demandada; añadiendo la etiqueta MPLS que identifica en qué LSP está el paquete. Es decir, el LER en vez de decidir el siguiente salto, como haría un router IP normal, decide el camino entero a lo largo de la red que el paquete

debe seguir. Una vez asignada la cabecera MPLS, el LER enviará el paquete a un LSR.

Los nodos MPLS al igual que los routers IP normales, intercambian información sobre la topología de la red mediante los protocolos de encaminamiento estándar, tales como OSPF (*Open Shortest Path First*), RIP (*Routing Information Protocol*) y BGP (*Border Gateway Protocol*), a partir de los cuales construyen tablas de encaminamiento basándose principalmente en la alcanzabilidad a las redes IP destinatarias.

Teniendo en cuenta dichas tablas de encaminamiento, que indican la dirección IP del siguiente nodo al que le será enviado el paquete para que pueda alcanzar su destino final, se establecerán las etiquetas MPLS y, por lo tanto, los LSP que seguirán los paquetes. No obstante, también pueden establecerse LSP que no se correspondan con el camino mínimo calculado por el protocolo de encaminamiento.

### **2.3 Establecimiento de un LSP.**

En una primera fase, el LSR de entrada a la red debe establecer un LSP por el que se van a transmitir los paquetes. Para ello envía un mensaje hacia el LSR destino, el cual contesta con la transmisión, siguiendo el camino inverso, de la etiqueta que se debe emplear. Cada uno de los nodos de este camino procesa el mensaje guardando la etiqueta que debe usar para transmitir los paquetes hacia el LSR siguiente y lo reenvía hacia el nodo anterior incluyendo la etiqueta

que éste debe emplear para comunicarse con él. De esta manera queda establecido el LSP. El encargado de esta misión es siempre el nodo destino de cada enlace en el que se utiliza una etiqueta: es éste el que, tras tomar la decisión sobre el significado, la distribuye a sus antecesores.

## **2.4 Beneficios de MPLS**

MPLS nació con el fin de incorporar la velocidad de conmutación del nivel 2 al nivel 3; a través de la conmutación por etiqueta; pero actualmente esta ventaja no es percibida como el principal beneficio, ya que los gigarouters son capaces de realizar búsquedas de rutas en las tablas IP a suficiente velocidad como para soportar todo tipo de interfaces.

Los beneficios que MPLS proporciona a las redes IP son: realizar ingeniería del tráfico o TE (*Traffic Engineering*), cursar tráfico con diferentes calidades de clases de servicio o CoS (*Class of Service*) o grados de calidad de servicio o QoS (*Quality of Service*), y crear redes privadas virtuales o VPN (*Virtual Private Networks*) basadas en IP.

La TE permite a los ISP mover parte del tráfico de datos, desde el camino más corto calculado por los protocolos de encaminamiento, a otros caminos físicos menos congestionados o menos susceptibles a sufrir fallos. Es decir, se refiere al proceso de seleccionar los caminos que seguirá el flujo de datos con el fin de balancear la carga de tráfico entre todos los enlaces, routers y switches en la red; de modo que ninguno de estos recursos se encuentre infrutilizado o sobrecargado.

## **CAPITULO 3**

---

### **3. REDES ÓPTICAS BASADAS EN GMPLS**

#### **3.1. Evolución del modelo de red óptica**

Las redes ópticas en la actualidad presentan un gran número de capas. Cada una de estas capas está preparada para manejar un determinado tipo de tráfico y proporcionar unos servicios específicos. Con el tiempo han surgido incluso equipos independientes que están especializados en una capa y en un tipo de tráfico como por ejemplo: enrutadores IP, conmutadores ATM, dispositivos SONET/SDH o conmutadores DWDM. Si bien este planteamiento permite simplificar el diseño de los dispositivos, conduce a redes complejas y difíciles de gestionar. Por ello, últimamente se está tendiendo a reducir el número de dispositivos distintos que podemos encontrar en la red, consolidando determinadas capas y mejorando sus funcionalidades, a la vez que se eliminan otras redundantes.

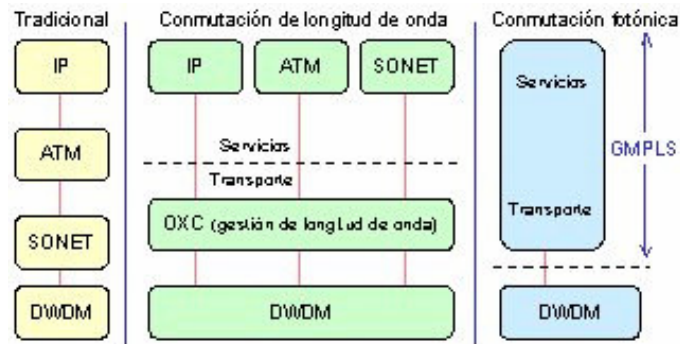
Se tiende a un esquema de red con tan sólo dos capas. En este escenario, el modelo "peer" proporciona una mayor eficiencia de red que el modelo "overlay" tradicional, ya que se puede desarrollar un plano de control común para todas las capas con una única serie de protocolos como GMPLS.

Para el correcto funcionamiento de esta red basada en GMPLS, se requieren además elementos de conmutación ópticos capaces de encaminar o conmutar



el tráfico de cualquier tipo: TDM, paquetes o longitudes de onda.

En la figura 2. Se puede ver la evolución que está sufriendo el modelo de capas de las redes ópticas.



**Figura 2.** Evolución del modelo de capas.

Actualmente, los esfuerzos para mejorar la eficiencia y escalabilidad de las redes se centran en tres planteamientos distintos: IP sobre DWDM, MPLS y GMPLS con conmutación fotónica. IP sobre DWDM utiliza direccionamiento y enrutamiento IP sobre redes DWDM. La mayoría de los desarrollos emplean paquetes sobre SONET/SDH directamente sobre canales DWDM con el fin de consolidar los planos IP y de datos sobre las longitudes de onda y la fibra. No obstante, esto conduce finalmente a un sacrificio de velocidad y además no existe ningún mecanismo de comunicación entre los enrutadores y otros equipos de transporte.

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.

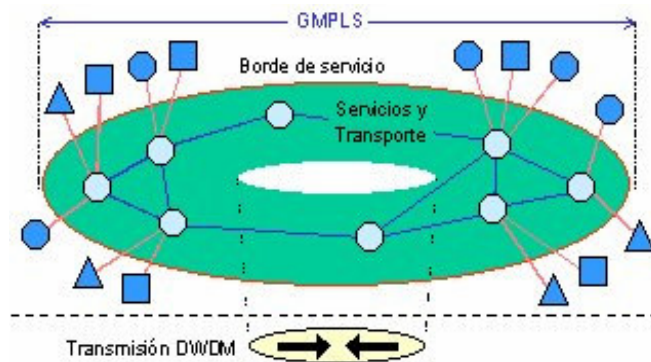
Al igual que IP sobre DWDM, MPλS se construye sobre una estrategia ya existente, por lo que tiene al apoyo de diversos fabricantes de OXCs. Sin embargo, este planteamiento asume un modelo "overlay" basado en un interfaz usuario-red y, por lo tanto, no integra el plano de encaminamiento de los paquetes de datos.

Las redes MPλS requieren pues enrutadores en su núcleo para procesar los paquetes, así como ADMs y DXCs de banda ancha para procesar las ranuras temporales de los canales SONET/SDH. Dado que MPλS se aplica sobre los OXCs, y los OXCs disponibles comercialmente ofrecen una conmutación relativamente lenta y no pueden manejar paquetes o tráfico TDM de una forma eficiente, el plano de control proporciona mejoras tan solo a un número limitado de servicios. Luego no se espera que MPλS gane aceptación en más de unas pocas aplicaciones de larga distancia específicas.

### 3.2. GMPLS

GMPLS combinado con la conmutación fotónica representa el planteamiento más prometedor para la consolidación de las redes troncales. GMPLS es el resultado de una serie de esfuerzos del Optical Internetworking Forum, Optical Domain Service Interconnect Consortium y la Internet Engineering Task Force para desarrollar un protocolo que pueda ser utilizado con cualquier tipo de tráfico. Así, ofrece un plano de control integrado, el cual extiende el conocimiento de la topología y la gestión de ancho banda a lo largo de todas las capas de red, permitiendo de forma efectiva la consolidación de los servicios y el transporte.

El resultado final es un desplazamiento del punto de demarcación entre ambos. Ahora tanto los servicios como el transporte permanecen juntos y separados de la transmisión, dejando la transmisión de larga distancia como el único elemento sin conmutación. En la figura 3. Se representa esquemáticamente el modelo de red que se plantea.



**Figura 3.** Red de conmutación de servicios fotónicos con integración vertical.

En definitiva, GMPLS consiste en una serie de extensiones de protocolo que proporcionan un control común sobre los servicios de paquetes, TDM y longitudes de onda. Estas extensiones afectan a los protocolos de señalización y de enrutamiento MPLS para actividades tales como distribución de etiquetas, ingeniería de tráfico o protección y restauración, permitiendo un rápido aprovisionamiento y gestión de los servicios de red.

GMPLS puede utilizarse también con las arquitecturas "overlay" tradicionales en las que cada tipo de tráfico se gestiona por medio de su propio plano de control. Sin embargo, el gran potencial de GMPLS es que hace posible la evolución hacia un modelo "peer" en el cual cada elemento de red posee información completa sobre el resto de elementos y sus capacidades de enlace.

Los modelos "overlay" y "peer" se aplican tanto en el enrutamiento como en la señalización. El modelo "overlay" mantiene capas de red separadas para cada tipo de tráfico y dominios administrativos diferentes. En cambio, las redes basadas en un modelo "peer" se construyen con dispositivos que tienen información completa sobre los otros dispositivos en todas las capas de red. Por lo tanto, el modelo "overlay" es adecuado para realizar funciones de red entre operadores, ya que permite que la información de enrutamiento de cada operador de red se mantenga dentro de su propio dominio administrativo. Por otro lado, el modelo "peer" resulta mucho más adecuado para las funciones de red dentro del dominio de un proveedor de servicios o entre proveedores de

servicios con protocolos compatibles, dado que permite mayor flexibilidad en la optimización de las labores enrutamiento.

El plano de control GMPLS incluye funcionalidades tales como enrutamiento, gestión del enlace, señalización y recuperación. Bajo GMPLS, existen tres componentes principales involucrados en el establecimiento de un canal:

Exploración de recursos: se obtiene información acerca de los recursos de red tales como conectividad o capacidad de los enlaces. Los mecanismos utilizados para diseminar esta información de estado se basan en una extensión del Internet Gateway Protocol (IGP).

Selección de ruta: se utiliza para seleccionar una ruta apropiada a través de la red óptica inteligente en base a unas ciertas restricciones impuestas por el entorno y las limitaciones de la capa física.

Gestión de ruta: incluye distribución de etiquetas, así como establecimiento, mantenimiento y terminación de ruta. Estas funciones se realizan por medio de un protocolo de señalización extendido como Resource Reservation Protocol for Traffic Engineering (RSVP-TE) o Constraint-routed Label Distribution Protocol (CR-LDP).

Estos componentes del plano de control son separables e independientes entre

sí, y precisamente esta modularidad es la que permite que el plano de control pueda configurarse de forma flexible.

Sin lugar a dudas, uno de los beneficios clave de GMPLS es que deja libertad a los operadores para diseñar sus redes de acuerdo a sus necesidades específicas y objetivos empresariales.

GMPLS puede utilizarse tanto con redes "overlay" como "peer", o bien con una configuración híbrida que consolide algunos, pero no necesariamente todos los tipos de tráfico.

Luego GMPLS permite cumplir con el requisito de los proveedores de servicio que desean iniciar, y completar de forma progresiva, una transición hacia un plano de control consolidado para los tipos de servicio y de transporte de su elección. Para ello se necesita un elemento de red capaz de manejar simultáneamente tráfico de paquetes, TDM y longitudes de onda a velocidades ópticas.

La solución es la conmutación fotónica, la cual se basa en el plano de control común creado por GMPLS para conmutar servicios y transporte sobre una única infraestructura óptica.

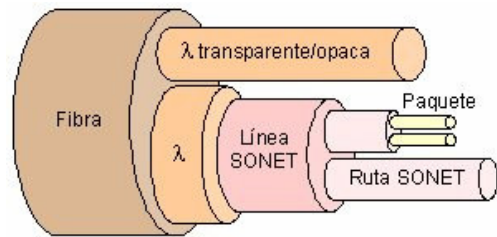
### **3.3. Conmutación de servicios fotónicos**

El desarrollo de GMPLS comenzó con los siguientes planteamientos:

- Los protocolos de señalización y de enrutamiento desarrollados y utilizados en las redes IP pueden extenderse y adaptarse para cumplir con las necesidades de otros tipos de tráfico, como TDM y longitudes de onda.
- Esta extensión permitiría una completa integración para todos los tipos de tráfico.
- Asimismo, las mejoras en la tecnología de conmutación fotónica permitirían la conversión de longitud de onda con los protocolos apropiados, la conmutación óptica inteligente sería posible.

Luego GMPLS tiene una completa serie de capacidades que pueden utilizarse para unir diversas partes de la red diseñadas para transportar múltiples tipos de tráfico. La figura 4. Representa esquemáticamente la jerarquía de interfaces conmutados de GMPLS.

De este modo, sobre una misma fibra podemos transportar simultáneamente longitudes de onda, canales SONET/SDH y paquetes IP, conmutando y gestionando todos estos servicios en los nodos ópticos de una forma completamente flexible.



**Figura 4.** Jerarquía de interfaces conmutadas de GMPLS.

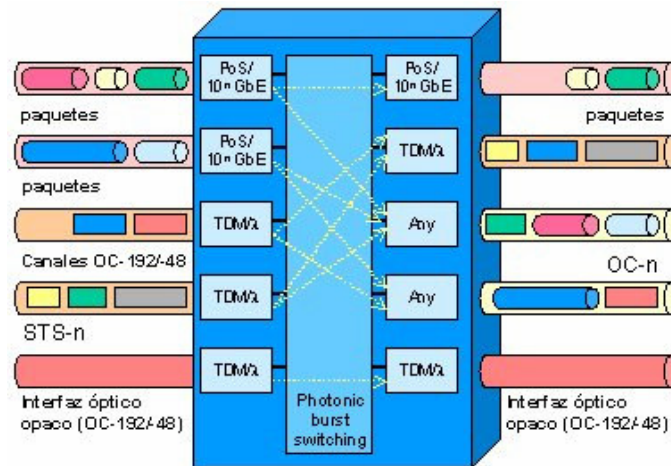
Una arquitectura de red con integración vertical como la presentada anteriormente requiere de un veloz conmutador fotónico opaco que sea capaz de conmutar simultáneamente los diferentes tipos de tráfico. Al mismo tiempo, esta clase de red reduce el tipo de dispositivos desplegados, pues no son necesarios dispositivos específicos de cada capa de red, sino un único dispositivo llamado conmutador PSS (photonic service switching). Con tarjetas de línea eléctrica y una veloz infraestructura óptica, este dispositivo combina los mejores atributos de las tecnologías óptica y eléctrica.

Esta infraestructura óptica le asegura una escalabilidad prácticamente ilimitada. Por otro lado, las tarjetas de línea son específicas para cada tipo de tráfico, por lo que el conmutador se puede adaptar fácilmente a diferentes entornos simplemente con un cambio de las tarjetas. Precisamente esta versatilidad hace que el conmutador PSS sea perfecto para una posible migración de un modelo "overlay" a una arquitectura de red basada en GMPLS. En la figura 5. Se muestra la arquitectura de un conmutador PSS configurado para múltiples



tipos de tráfico.

Se puede observar cómo existen tarjetas específicas para cada tipo de tráfico, las cuales se pueden sustituir y configurar en función de las demandas.



**Figura 5.** Conmutador PSS configurado para múltiples tipos de tráfico.

## **CAPITULO 4**

---

### **4. PLANO DE CONTROL ÓPTICO BASADO EN GMPLS**

Para ejercer control con el nivel óptico, GMPLS (Generalized MPLS) extiende el concepto de plano de control para abarcar los dominios de MPLS tales como SONET/SDH, ATM y Gigabit Ethernet. GMPLS es un paradigma de plano de control multipropósito que soporta no solamente dispositivos que realicen conmutación de paquetes, sino también dispositivos que realicen conmutación en el dominio del tiempo (TDM), longitud de onda (Lambda) y espacio (Fibra/Puerto).

#### **4.1. Plano de control GMPLS**

Solución propuesta por la IETF

- Existe un gran consenso en que los modelos de direccionamiento y enrutamiento IP se puedan adaptar al control de la red óptica
- En particular se propuso el plano de control MP $\lambda$ S
- Más recientemente se ha propuesto GMPLS para extender MPLS a múltiples tipos de conmutación.

La idea principal es adaptar el **plano de control de una red óptica** al **plano de control de MPLS-TE**. Esto es posible gracias a las enormes similitudes que existen entre un OXC y un LSR (Routers que utilizan MPLS). Esta extensión de MPLS a la capa óptica se conoce como MPλS, extendido posteriormente a GMPLS.

#### 4.1.1. Evolución del estándar (IETF) formas de MPLS

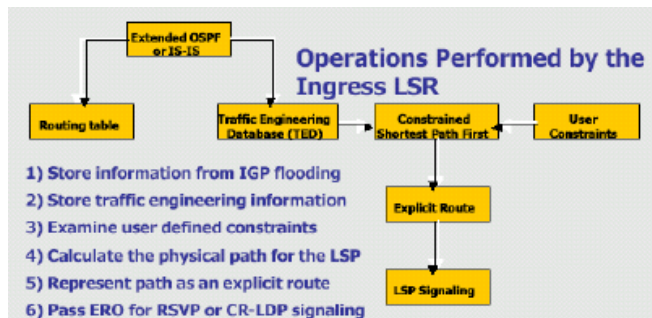
- MPLS (Multiprotocol Label Switching)
  - La tecnología base orientada a paquete IP
  - Packet traffic Engineering (MPLS-TE).
  
- MP-S (Multiprotocol Lambda Switching)
  - MPLS para el control de canales ópticos y extensiones IGP TE.
  
- GMPLS (Generalized MPLS)
  - MPLS para el control de paquetes, circuitos, lambdas y puertos y extensiones IGP TE.

MPλS es un subconjunto de GMPLS está definido basándose en drafts de MPλS anteriores.

Hace re uso de los mecanismos de túnel LSP y de ingeniería de tráfico

#### 4.1.2. Plano de Control MPLS-TE

- El modelo operacional para establecer un canal óptico con un enrutamiento basado en restricciones seria como se muestra en la figura 6.



*Figura 6. Plano de Control MPLS-TE*

#### 4.2. Claves de GMPLS

- Cálculo de LSP Explicit TE-Router en forma distribuida y dinámica. (En la actualidad: simulación, planificación manual y acción humana).
- Establecimiento / Modificación / Eliminación de un LSP intra e inter – dominio de forma distribuida y dinámica (En la actualidad manual y aprovisionamiento paso a paso).

- Optimización de los recursos de red cuando se utiliza un modelo de interconexión peer con traffic engineering multi capa y protección / restauración (En la actualidad: El modelo de aprovisionamiento implica al menos un desperdicio del 40% - 60% de los recursos de la operación).
- Control y gestión simplificada de la red (en la actualidad cada capa de transporte tiene su propio plano de control y gestión, implicando un desperdicio del 60 -80 % de los recursos de las operadoras)

#### **4.3. Protocolos GMPLS**

- El plano de control GMPLS incluye varias extensiones de los bloques MPLS-TE:
  - Descubrimiento dinámico de vecinos (automatic Neighbor discovery)
- Link management Protocol (LMP).
  - Descubrimiento y diseminación de la topología y recursos de forma dinámica mediante link-state routing protocols
- Protocolos de enrutamiento intra-dominio: OSPF-TE y ISIS-TE

- Protocolo de enrutamiento interdominio: BGP- 4
  - Señalización para el establecimiento, modificación y eliminación de un canal óptico a tiempo real.
  
- Reuso de los protocolos RSVP-TE y CR-LDP.

#### **4.4. Soportes en el plano de control GMPLS**

Modelos de interconexión del plano de control overlay, augmented & Peer

Mejora de la escalabilidad y flexibilidad del TE-Routing

- Link Bundling (TE-links)
- Interfaces Unnumbered generalizados
- Enrutamiento expícito extendido.

## CAPITULO 5

### 5. ARQUITECTURA GMPLS

#### 5.1 Jerarquía GMPLS

GMPLS soporta múltiples tipos de conmutación: conmutación TDM, lambda y por fibra (puerto). Para incluir estos tipos adicionales de conmutación se han extendido ciertas funciones bases de MPLS. Estos cambios afectan a las propiedades básicas de los LSP, a como se solicitan y comunican las etiquetas, a la naturaleza unidireccional de los LSPs a como se propagan los errores y la información proporcionada para sincronizar los LSR de entrada y salida (frontera) figura 7.

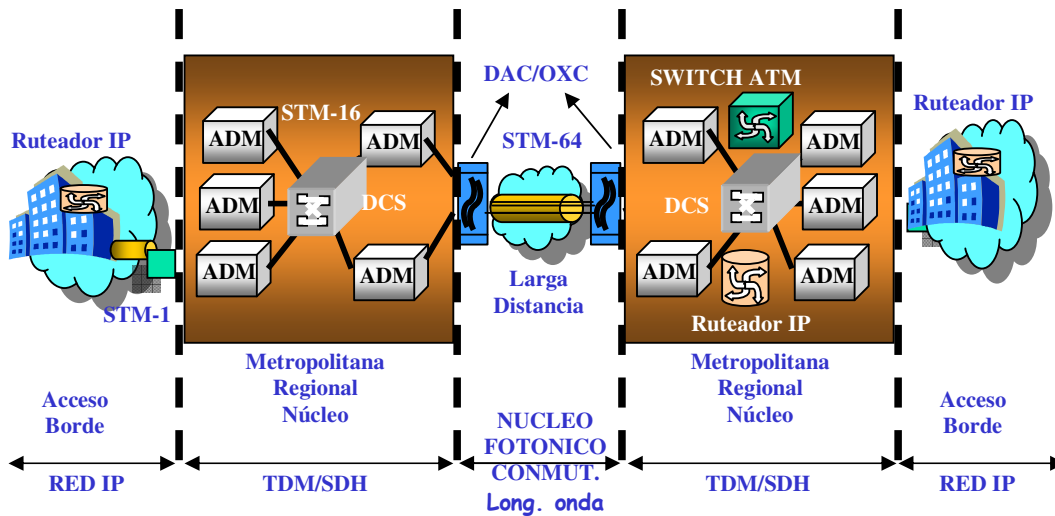


Figura 7. Jerarquía GMPLS

## 5.2. Capacidades de conmutación en la tecnología GMPLS

GMPLS soporta 5 tipos de interfaces.

Generaliza a MPLS en el sentido que define etiquetas para conmutar diversos tipos de tráfico de capas 1, 2 o 3. Los nodos GMPLS pueden tener enlaces con una o más de las siguientes capacidades de conmutación.

### 1. Interfaces PSC - Packet Switching Capable: IP/MPLS.

Estas interfaces reconocen los límites de paquetes y pueden enviar datos basándose en el contenido de la cabecera de paquete.

### 2. Interfaces L2SC - layer-2- Switching Capable: ATM, FR, Ethernet.

Estas interfaces reconocen los límites de trama/celda y pueden enviar datos basándose en el contenido de la cabecera de la trama/celda.

### 3. Interfaces TDM - Time Division Multiplexing: SONET, SDH, G.709 ODU.

Estas interfaces enrutan los datos basándose en la ranura temporal de los datos de un ciclo de repetición.

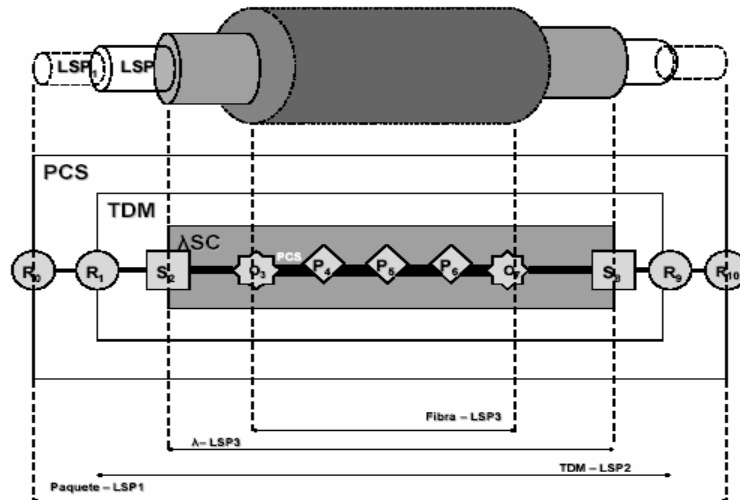
### 4. Interfaces LSC - Wavelength Switching: Lambda, G.709 OCh

Estas interfaces enrutan los datos basándose en la longitudes de onda sobre la que se recibe los datos.



## 5. Interfaces FSC - Fiber switching capable.

Estas Interfaces enrutan los datos basándose en la posición en que se reciben estos en el espacio físico (puerto).



**Figura 8.** Capacidades de Conmutación GMPLS

Notaciones:

**Ri:** Encaminador actuando como un LSR IP.

**Si:** Conmutador/Multiplexor SONET.

**Oi:** Conmutador Óptico OEO.

**Pi:** Conmutador Fotónico.

Genéricamente todas las diversas clases de circuitos que se pueden establecer entre dos capacidades de conmutación del mismo tipo reciben el nombre de LSPs. Un LSP debe iniciar y terminar sobre enlaces con la misma capacidad de conmutación (interfaces del mismo tipo). Un LSP puede anidarse dentro de otro creándose una jerarquía de LSPs, Figura 8.

### 5.3. Extensión de MPLS

La extensión de MPLS al plano de control de la capa óptica (MPλS) se basa en los siguientes factores:

- Las longitudes de onda se utilizan como etiquetas.
- Los canales ópticos se consideran como LSPs
- Existe una clara relación entre <puerto de entrada, etiqueta de entrada>, <puerto de salida, etiqueta de salida> y <puerto de entrada, lambda de entrada>, <puerto de salida, lambda de salida> (La etiqueta óptica podría contener un identificador de enlace (link ID) además del valor de la longitud de onda cuando solo se utiliza un único canal de comunicaciones de datos para controlar múltiples canales ópticos.)

#### Label Switching Router (LSR)



• Tabla de conexiones

(port, label)	(port, label)	Label
(1,35)	(4,56)	SWAP
(1,45)	(6,34)	SWAP
(2,12)	(4,13)	SWAP
(3,24)	(5,24)	SWAP
(3,37)	(6,49)	SWAP
(3,19)	(6,19)	SWAP

Figura 9. (LSR)

## MPLS + WDM MPλS

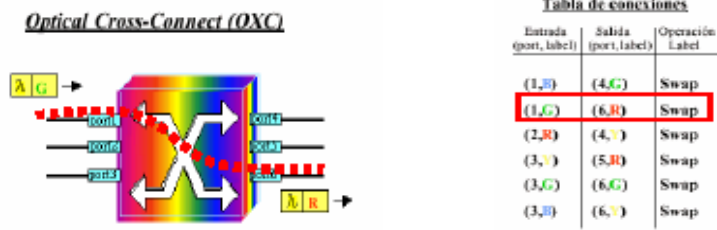


Figura 10. MPλS

OXC + MPλS suministran caminos ópticos estableciendo relaciones entre <puerto de entrada, canal óptico de entrada> y <puerto de salida, canal óptico de salida>

### Establecimiento de un LSP

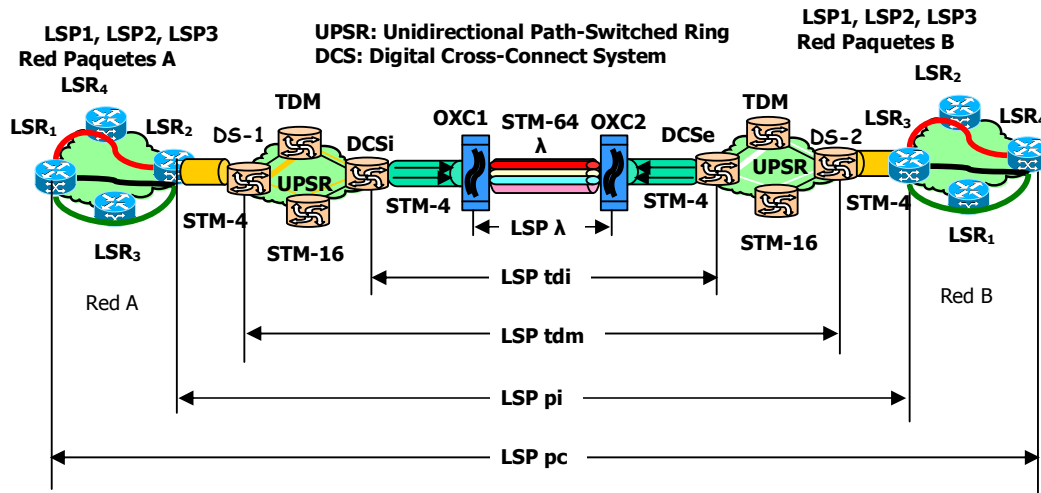


Figura 11. Establecimiento de un LSP

Red de Paquetes (PSC) conectada mediante un tubo STM-64 a un DCS1 en la red TDM. Ambas redes TDM mostradas utilizan una arquitectura de red en anillo UPSR STM-1. Las 2 redes se conectan mediante 2 OXCs capaces de entregar múltiples λ STM-64. El objetivo es establecer un LSP (LSPc) entre LSR1 de la red A y LSR4 de la red B.

## 5.4. Extensiones de señalización

Los drafts de IETF suministran las siguientes extensiones de señalización para GMPLS:

### ❖ **Generalized Label Request**

Indica la clase de conmutación que se va a pedir:

LSP Encoding Type: 8 bits.

- Indica la codificación del LSP que se está solicitando, eje. SDH, PDH, Digital Wrapper, Lambda, Fiber, etc.

Switching Type: 8 bits.

- Indica el tipo de conmutación que se debería llevar a cabo.

G-PID

- Identifica el tráfico (capa cliente) transportado por el LSP.

### ❖ **Generalized Label (Extended Label Space)**

Es la nueva definición de Label que soporta las cuatro clases de conmutación para SONET/SDH, Puertos, Longitudes de Onda y paquetes.

- Wavelength (Waveband) & port label space
- SDH/SONET Label Space
- G.709 OTN Label Space
- Este nuevo tipo de objeto label viaja upstream en RSVP/Mapping como el label tradicional.

Consiste en un Link ID y un Label, El link ID se utiliza cuando un canal de control controla múltiples enlaces. El nodo downstream puede asignar un identificador de link (Link Id) y una etiqueta (Label) en ese enlace. Ej., fibra y longitud de onda, o longitud de onda y timeslot.

- El formato del Label depende en la clase de enlace por el que se utiliza el label. Actualmente hay descripciones para SDH, SONET, Port, Longitud de onda, Waveband y labels genéricos.

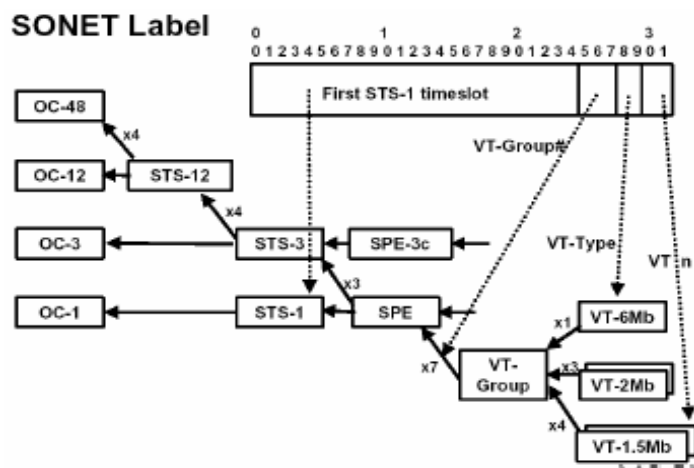
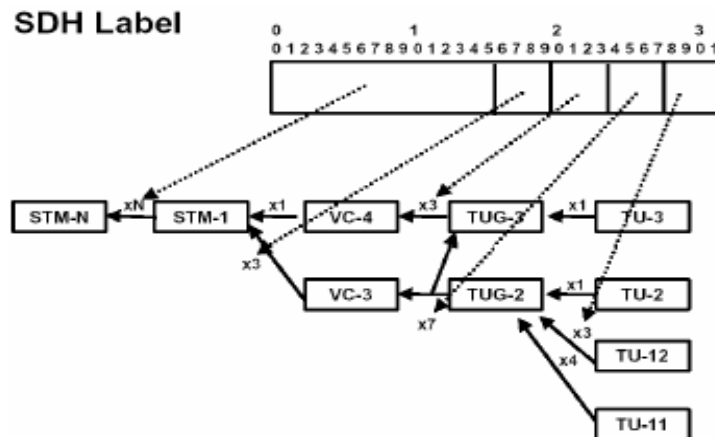


Figura 12. SONET Label



*Figura 13.* SDH Label

### Port and Wavelength Labels

- Longitud Fija.
- Indica el puerto (fibra) o Lambda a utilizar, desde la perspectiva del que envía el label.
- Los valores utilizados solo tienen significado entre dos vecinos, y el receptor podría necesitar convertir el valor recibido en un valor con significado local.
- Estos valores pueden ser configurados o aprendidos dinámicamente mediante LMP.

## Conmutación Waveband: Labels

- Waveband Id
  - Valor significativo localmente que identifica la banda de longitudes de onda.
  
- Star Label
  - Identifica la primera longitud de onda en la banda.
  
- End Label
  - Identifica la última longitud de onda en la banda.

### ❖ **Suggested Label**

Sugiere un label para optimizar de ciertos tipos de conmutación.

- Es un Generalized Label que se da por un nodo upstream a un nodo downstream en un mensaje PATH/REQUEST.
  
- El nodo downstream debería intentar utilizar esta label si es posible y pasar la misma label de vuelta en el mensaje MAPPING/RESV.

- Esta característica puede ayudar a aumentar la velocidad del establecimiento del path en los LSRs (OXC), que necesitan tiempo para configurar los conmutadores ópticos. Si se preposicionan la configuración del conmutador óptico cuando se realiza la petición se puede reducir el tiempo de establecimiento de un canal.
- Puede ser ignorado por el nodo downstream.

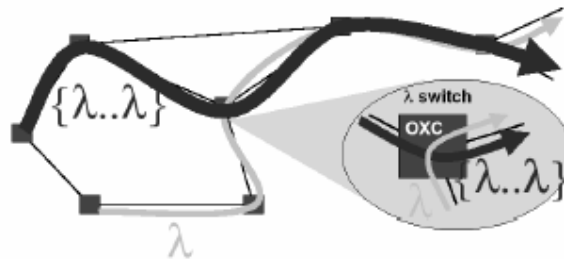
#### ❖ **Label Set**

Impone un conjunto de etiquetas de las que se debe utilizar una de ellas obligatoriamente.

- Es anexado por un nodo upstream a un mensaje REQUEST/PATH para restringir la elección del label por parte del nodo downstream.
- Es literalmente un conjunto de objetos generalized label
- Difiere de Suggested Label:
  - Debe utilizar una de los labels suministrados.

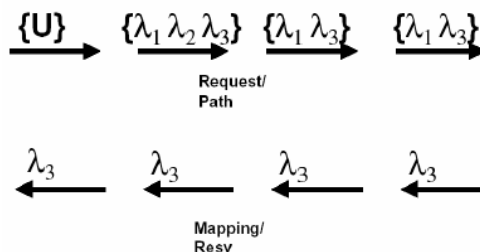


- Tiene un significado por Hop
- Un nodo puede restringir los labels en downstream basados en el Label Set recibido de upstream.
  - Para el uso de paths continuos para longitudes de onda.



**Figura 14. Label Set (II)**

- Existen casos de Optical Cross Connects, OXCs, que no pueden (o bien no se desea) realizar una conversión de longitud de onda / Waveband. En términos de MPLS es lo mismo que utilizar el mismo label en un LSP en cada hop.



**Figura 15. Label Set (III)**

## ❖ **Upstream Label**

Permite el establecimiento de LSP bidireccionales

- Es incluido en el mensaje Path para el establecimiento de LSP bidireccionales.
- Tiene el mismo formato que el Generalized Label.

## **Parámetros de tráfico**

➤ Parámetros de tráfico independientes de la tecnología:

- Paquete
- ATM / Frame Relay
- MPLambdas

➤ Parámetros de tráfico dependientes de la tecnología

- TDM: SDH (ITU - T G.707) y SONET (ANSI T1.105)
- Óptico: G.709 OTN (ITU-T G.709)

## GMPLS TE - Routing Extensions

- GMPLS se basa en los modelos de enrutamiento y direccionamiento IP
- Se utilizan las direcciones de IPv4/v6 Para identificar interfaces PSC y non-PSC.
- El re-uso de los protocolos de enrutamiento existentes permite:
  - Beneficiarse de las extensiones de traffic engineering intra e ínter dominio existentes
  - Beneficiarse de las políticas inter-dominio existentes
- Para cubrir las tecnologías de transmisión SDH/SONET y G.709 OTN, GMPLS define extensiones TE dependientes de la tecnología
- Incremento de la escalabilidad utilizando Link Bundling y Unnumbered Interfaces
- Jerarquía LSP a través del concepto de Forwarding Adjacency (FALSP)

## 5.5. Extensiones de enrutamiento

- Identificador (ID) de puerto y OXC (Unnumbered Links)
- Tipo y velocidad de enlace
- Estado del canal y del puerto

## 5.6. Link Management Protocol - LMP

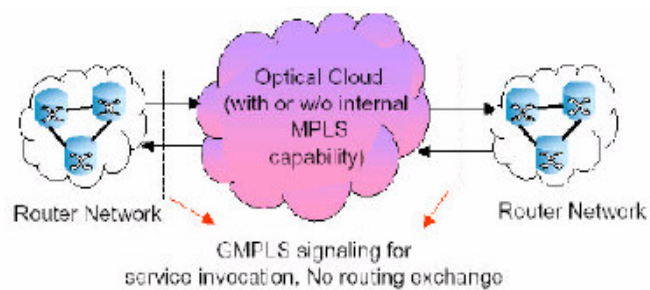
- El protocolo LMP suministra
  - Configuración dinámica del canal de control
  - Mantenimiento del canal de control (hello protocol)
  - Verificación del enlace (Discovery, Mis - Wiring)
  - Link property Correlation (Link Bundling)
  - Gestión de averías
- Detección (utilizando LoS / LoL/ Etc)
- Localización / correlación (supervisión de alarmas)
- Notificación

➤ LMP extendido al OIF para cubrir

- Descubrimiento de servicios y vecinos UNI
- Adyacencia NNI

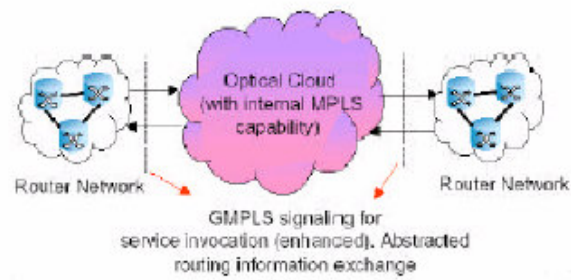
## 5.7. Evolución servicios Ópticos sobre IP

- Primera fase: Modelo de servicios de dominio (domain Services) realizando señalización GMPLS apropiada. Interfaz Usuario – Red Cliente: UNI



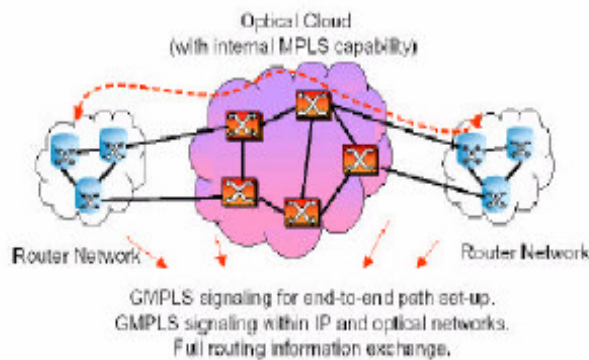
**Figura 16.** Primera fase

- Segunda fase: Señalización GMPLS mejorada para un mayor control del path fuera de la red óptica. Intercambio de información de enrutamiento resumida entre dominios ópticos



**Figura 17. Segunda fase**

- Tercera fase: Organización Peer con el conjunto completo de mecanismos GMPLS.



**Figura 18. Tercera fase**

### **5.8. Señalización generalizada**

La señalización GMPLS extiende ciertas funciones básicas de los protocolos de señalización RSVP-TE y CR-LDP y en algunos casos añade unas nuevas. Estos cambios afectan las propiedades básicas de los LSP's respecto a cómo se solicitan y comunican las etiquetas, a la naturaleza unidireccional de los

LSP's, a cómo se propagan los errores y a la información proporcionada para sincronizar la entrada y la salida.

La especificación de la señalización GMPLS se compone de tres partes:

1. Una descripción de la funcionalidad de la señalización.
2. Extensiones RSVP-TE.
3. Extensiones CR\_LDP.

La señalización GMPLS define sobre MPLS-TE los siguientes bloques constructivos:

1. Un nuevo formato genérico de solicitud de etiqueta.
2. Etiquetas para las interfaces TDM, LSC y FSC llamada Etiqueta Generalizada.
3. Soporte para la conmutación de una banda de longitudes de onda.
4. Sugerencia de etiqueta por el canal ascendente con propósitos de optimización.
5. Restricción de etiquetas por el canal ascendente para soportar restricciones ópticas.
6. Establecimiento de LSP's bi-direccionales con resolución de contiendas.
7. Extensiones para la rápida notificación de fallos.
8. Información de protección, centrándose realmente en la protección del enlace más indicación de LSP primario y secundario.

9. Enrutamiento explícito con control explícito de etiquetas para un grado de control fino.
10. Parámetros específicos de tráfico por tecnología.
11. Manejo del estado administrativo del enlace.

### **5.9. Protección del enlace**

La información de protección se transporta en un nuevo objeto/TLV (Time, Length, Value) de la opcional (*Protection Information*). Este objeto indica la clase de protección deseada del enlace. Si se solicita un tipo particular de protección (1+1, 1:N, ...), sólo se procesa la petición de conexión si se puede garantizar dicha protección. GMPLS anuncia las posibilidades de protección de un enlace en los protocolos de enrutamiento. El algoritmo de cálculo del camino utiliza esta información para calcular los caminos y establecer un LSP. La información de protección también indica si el LSP es primario o secundario.

Un LSP secundario es un backup para el LSP primario. Actualmente hay definidos seis tipos de indicadores individuales de protección de enlace, los cuales también se pueden combinar, estos son: *mejorado*, *dedicado 1+1*, *dedicado 1:1*, *compartido*, *no protegido*, *tráfico extra*.

- *Mejorado (enhanced)*: Indica que se debe utilizar un esquema de protección más fiable que el esquema dedicado 1+1.



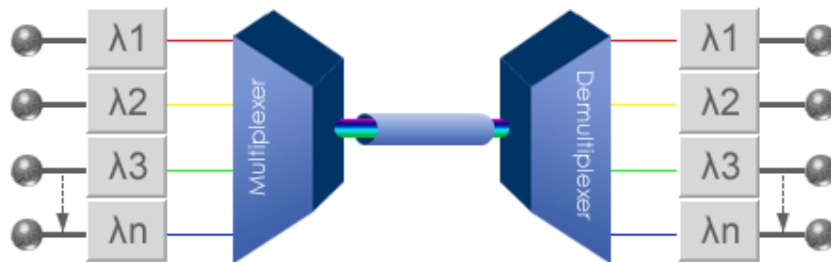
- *Dedicado 1+1*: Indica que se debe utilizar un esquema de protección dedicado del nivel de enlace.
- *Dedicado 1:1*: Significa que se debe utilizar un esquema de protección del nivel de enlace dedicado 1:1, estos es protección 1:1, podría ser usada para soportar el LSP.
- *Compartido (Shared)*: Indica que se debe utilizar un esquema de protección compartido del nivel de enlace, tal como protección 1:N, puede se utilizado para soportar el LSP.
- *No protegido*: Indica que el LSP no podría utilizar ningún esquema de protección del nivel de enlace.
- *Tráfico Extra (Extra Traffic)*: Significa que el LSP podría utilizar enlaces que están destinados a proteger otro tráfico de alta prioridad. Dichos LSP's pueden ser apropiados (preempted) cuando los enlaces que transportan tráfico de alta prioridad fallan.

## CAPITULO 6.

---

### 6. DWDM

El principio de funcionamiento de WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) y DWDM (*Dense WDM*) se basa en el transporte de varios flujos de información, cada uno codificado sobre una longitud de onda distinta y multiplexados dentro de una única fibra. Como se muestra en la figura. De esta manera se logra incrementar de manera considerable la capacidad de las redes de fibra óptica.



**Figura 19.** DWDM

Este aumento de capacidad se puede lograr generalmente de varias formas distintas:

- Incrementando el número de longitudes de onda incluidas en una fibra y, con ello, el número de canales transportados por la misma. DWDM

permite alcanzar altas densidades de empaquetado de portadoras dentro de una sola fibra óptica. Hoy en día son típicos valores de 16 ó 32 longitudes de onda por fibra, pudiendo llegar en el caso de enlaces submarinos hasta 128 o incluso 256.

- Aumentando la velocidad de transmisión soportada por cada una de las longitudes de onda. A esto contribuye la fabricación de unas fibras de cada vez mayor calidad, pero existe un límite físico determinado por su dispersión. Actualmente se trabaja con valores de 2,5 Gbit/s (STM-16 / OC-48), llegando en algunos casos a 10 Gbit/s (STM-64 / OC-192).

#### **6.4 VENTAJAS DEL DWDM**

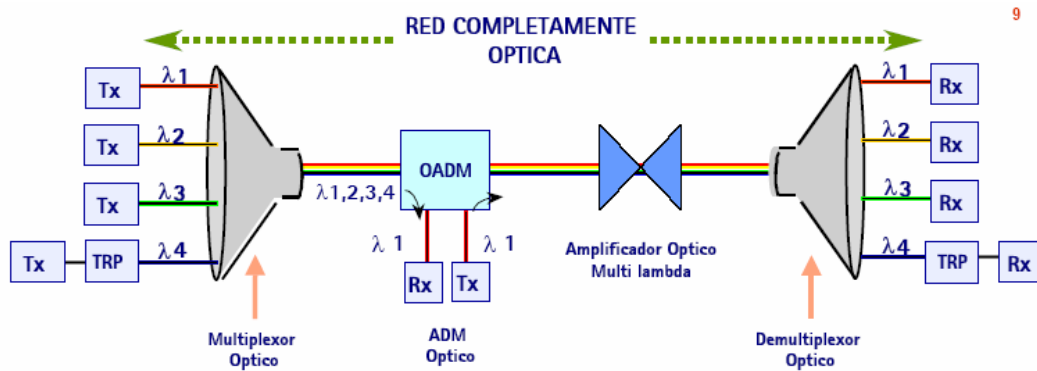
- DWDM trae consigo una reducción de costes en la instalación de fibra óptica. Al ser mayor su capacidad, debido principalmente al hecho de que se pueden transportar varias longitudes de onda dentro de una sola fibra, será necesario desplegar un número menor de fibras, o aprovechar la ya instalada, para atender una demanda de tráfico creciente.
- Permite a los operadores aumentar la capacidad de sus redes, dándoles la posibilidad de ajustarse a la demanda que exista en cada momento. Para ello, les basta con instalar la fibra e ir activando sus diferentes

longitudes de onda de manera progresiva conforme se vayan necesitando. Esto también se traduce en una mayor rapidez a la hora de afrontar aumentos en la capacidad de la red. Esta característica resulta fundamental para que nuevos agentes entren al mercado sin tener que hacer frente a un elevado coste de inversión inicial. Para ello les basta con desplegar una fibra e ir activando longitudes de onda conforme vayan necesitando más capacidad de transmisión.

- Cada una de las longitudes de onda puede incluir información transmitida a diferentes velocidades y con distinto formato. Es decir, que DWDM permite transportar información de diversas naturalezas y procedente de aplicaciones distintas dentro de una misma fibra.
- Se puede aumentar la capacidad de la fibra para adaptarse a incrementos de la demanda con sólo cambiar las interfaces de los equipos de transmisión. Por ejemplo, se puede pasar de 16 STM-16 a 80 STM-16 con sólo cambiar las tarjetas de dichos equipos.
- En DWDM, las funciones de gestión se simplifican en gran medida, puesto que la propia capa óptica goza de una mayor sencillez. La eficiencia del sistema de gestión óptico pasa porque la mayoría de las tareas se puedan realizar en el dominio óptico, sin necesidad de realizar



*CrossConnects*). Todos estos desarrollos tienen como objetivo común conseguir realizar en el dominio óptico tareas que hasta ahora sólo podían llevarse a cabo en el dominio eléctrico y requiriendo, por tanto, conversiones optoelectrónicas que aumentan el coste. Los dispositivos desarrollados actualmente en este contexto son ver la figura 21.



**Figura 21.** Red completamente óptica

## 6.6 ELEMENTOS DE UNA RED COMPLETAMENTE OPTICA

**Amplificadores ópticos EDFA (Erbium-Doped Fiber Amplifiers).** La fibra, como todo medio de transmisión, introduce una determinada atenuación que provoca la necesidad de emplear amplificadores o regeneradores cuando los enlaces superan una cierta longitud. Los amplificadores EDFA, amplificadores de fibra dopados con erbio, capaces de completar todo el proceso de amplificación en el dominio óptico.

***Multiplexores de Inserción/Extracción (OADM).*** Estos dispositivos son capaces de extraer la información contenida en cualquiera de las longitudes de onda de la fibra en cualquier punto intermedio de la misma. Además de la extracción, también permiten introducir canales a mitad de fibra.

***Conmutadores ópticos (OXC).*** Son dispositivos que permiten realizar la conmutación sin pasar al dominio eléctrico incluso entre longitudes de onda de distintas fibras. Las versiones más sencillas presentan matrices de conmutación de 16x16, aunque ya hay quien habla de matrices de incluso 256x256.

## CONCLUSIONES

GMPLS será parte integral de las redes ópticas y de datos de próxima generación. Provee el nexo adecuado entre las capas IP y óptica, proveyendo de una evolución consecuente de la red en ambos entornos. Las funcionalidades derivadas de GMPLS permiten a los operadores escalar sus redes bastante más allá de las limitaciones actuales, derivadas implícitamente de la segregación de la red de transporte respecto a los datos que se mueven sobre esta. Las capacidades de señalización de GMPLS permitirán a los proveedores de servicio construir rápidamente infraestructuras que soporten la creación de conexiones y provisiones rápidas. Además, la flexibilidad de las capacidades de protección y restauración de GMPLS permitirán mejorar la disponibilidad de la red, además de posibilitar la inclusión de nuevos tipos de servicios.

Además cabe destacar que este protocolo evolutivo de MPLS soporta no solo dispositivos que conmutan paquetes sino también los que conmutan en el dominio del tiempo, la  $\lambda$  o el espacio. La introducción de este protocolo en las redes ópticas e IP producirá de este modo, una integración total en el plano de control de estas redes, posibilitando una rápida y sencilla provisión de servicios a un costo muy bajo.



## BIBLIOGRAFIA

- M. Klinkowski and M. Marciniak. "QoS Guarantees in IP Optical Networks Using MPLS/MPLambdaS". IEEE – ICTON, 2001.
- H. Christiansen and H. Wessing. "Modeling GMPLS and optical MPLS networks". IEEE,
- [Rick Gallaher](#). "Introduction to Multi-Protocol Lambda Switching (MPλS) and Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS)". 2001.
- Jay Kumarasamy. "MPLS Architecture Overview" Cisco Systems
- Ayan Banerjee, J. Drake, J. Lang and B. Tuner, D Awduche, L. Berguer. "Generalized Multiprotocol Label Switching: An overview of Routing and Management Enhancements". IEEE Communications Magazine. January 2001
- Ayan Banerjee, J. Drake, J. Lang and B. Tuner, D Awduche, L. Berguer. "Generalized Multiprotocol Label Switching: An overview of Signaling

Enhancements and Recovery Techniques. IEEE Communications Magazine. July 2001

- Peter Tomsu and cristian Schmutzer. “ Next Generation Optical Networks: The convergence of IP Intelligence and optical technologies”. Prentice Hall series in computer networking and distributed systems, 2002, pp 138-179.
- Generalized MPLS signaling Funcional Description. Draf-ashwood-generalized-mpls-signaling.
- International telecommunication Union (ITU): [www.itu.ch](http://www.itu.ch)
- Internet Engineering Task Force (IETF): [www.ietf.org](http://www.ietf.org)
- Optical Internetworking Forum (OIF): [www.oiforum.com](http://www.oiforum.com)
- Viaary Ravuri's GMPLS/MPLS page: [www.gmpls.org](http://www.gmpls.org)