

ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LAS REDES HACIA UN ENTORNO NETAMENTE ÓPTICO

Fredy Andrés Cantor Rivera

Estudiante de pregrado en Ingeniería Electrónica (en terminación de materias), Universidad Distrital Francisco José de caldas. Bogotá, Colombia.
facantorr@unal.edu.co

Omar Giovanni Russi Lazo

Estudiante de pregrado en Ingeniería Electrónica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
omargiovanni39@gmail.com

Danilo Alfonso López Sarmiento

Ing. electrónico, MSc. en Teleinformática, docente de planta de la Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", actualmente es Coordinador de la Maestría en Ciencias de la Información y las Comunicaciones de la misma Universidad.
dalopezs@udistrital.edu.co

Tipo: Artículo de revisión

Fecha de Recepción: Julio 17 de 2011

Fecha de Aceptación: Septiembre 28 de 2011

NETWORK EVOLUTION ANALYSIS TOWARDS A PURELY OPTICAL ENVIRONMENT

ABSTRACT

In Automatic Switching Transport Networks (ASTN), services can be configured, modified, and vacated on demand by using various mechanism associated to the control plane. Nowadays, this new provisioning paradigm is on its way to be standardized due to the benefits of using Automatic Switching Optical Networks (ASON) together with Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS). The present article offers an overview of both the ASON and GMPLS frameworks regarding their current development stages. First, accurate background information is provided, followed by an analysis of their particular functions associated to routing and signaling methods on a network, including network feature models and the control-plane architecture proposed for each of the models. Finally, a comparative framework of the main concepts is presented. Resource similarities and differences are analyzed, showing the current scope of networks supported by GMPLS/ASON merging architectures, which result from the new requirements posed on backbones in terms of information transmission and reliability.

Keywords: Optical networks, ATM, ASON, MPLS, GMPLS, SONET.

RESUMEN

En las redes de transporte de conmutación automática (ASTN), los servicios pueden configurarse, modificarse y liberarse bajo demanda utilizando diversos mecanismos en el plano de control. En la actualidad, este nuevo paradigma de aprovisionamiento se está estandarizando bajo las bondades de las redes ópticas con conmutación automática (ASON) y la conmutación generalizada por etiquetas multiprotocolo (GMPLS). Este artículo ofrece una visión general de los marcos de ASON y GMPLS en la etapa actual de su desarrollo, revisando primero sus antecedentes y luego analizando las funciones particulares de los métodos de enrutamiento y señalización de cada uno de ellos en la red, incluyendo los modelos de características de red y la arquitectura del plano de control que cada uno propone. Al finalizar se presenta un marco de comparación de los conceptos, revisando las semejanzas y diferencias de los dos recursos y presentando el alcance actual de las redes soportadas bajo una amalgama de arquitecturas GMPLS/ASON, como respuesta a los requerimientos actuales de transmisión de información y confiabilidad a nivel backbone.

Palabras clave: Redes ópticas, ATM, ASON, MPLS, GMPLS, SONET.

1. INTRODUCCIÓN

La arquitectura tradicional se basa en una pila de capas compuestas por el protocolo de Internet IP soportado por un modo de transferencia asíncrono (ATM) que hace más eficiente el uso de los niveles subyacentes, a través de una jerarquía digital síncrona (SDH) que proporciona la asignación de un ancho de banda adecuado y ofrece un mecanismo inteligente. El medio físico de transporte de las longitudes de onda que establece el ancho de banda que contienen datos se define a través de multiplexación por división de Longitud de onda (WDM).

Una estructura de cuatro capas tiene varias limitaciones; entre las que se encuentra:

- Dificultad de manejo y limitación, por parte de cualquiera de estos niveles desde el punto de vista de escalabilidad.
- Algunas funciones brindadas por una capa pueden ser duplicadas por otra, por ejemplo la protección que ofrece SDH puede solaparse con la protección óptica de WDM.

Estas complicaciones catalizaron la evolución a una arquitectura de dos capas con la integración de los clientes IP en un bloque y el nivel físico en otro. De allí surgieron dos propuestas de diferentes entidades de normalización con el objetivo de hacerse cargo del plano de control: GMPLS estandarizado por el IETF, y ASON como respuesta de la ITU-T. Las principales entidades de telecomunicaciones coinciden en una combinación adecuada de los dos métodos (ASON / GMPLS) como la alternativa más sólida para el manejo y la gestión IP que están por venir.

2. HISTORIA: DESDE ATM A MPLS

El enorme crecimiento de la Internet ha convertido al protocolo IP en la base de las actuales redes de telecomunicaciones, contando con más del 80% del tráfico cursado [1]. Con la evolución natural de las tramas de conectividad digital a redes de Servicios Integrados (agrupación de prestaciones de telefonía, audio, video, entre otras) comenzaron a aparecer aplicacio-

nes multimedia con altos requerimientos en las tasas de transferencia de datos y en la garantía de calidad de servicio (QoS) prestada. Entre los años 1995 y 1997, la demanda por parte de los clientes de mejores prestaciones, propició la introducción de ATM en la capa de enlace. Esta tecnología consta de "celdas" de información contenidos en un circuito virtual, donde cada una está compuesta por 53 bytes, de los cuales 48 (opcionalmente 44) contienen datos e información propia del usuario (Payload) y los restantes son para uso de campos de control (cabecera) con información de "quién soy" y "donde voy". ATM se soporta en un circuito virtual (VCI) y una etiqueta de direccionamiento (VPI) que incluyen tanto la conmutación de celdas como el tipo de conexión [2].

Para poder crear estas conexiones no físicas se pensó en la utilización de labels añadidos a los paquetes, dichas etiquetas definen el circuito virtual por toda la red y son asociadas a una calidad de servicio (QoS) determinada, según el Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA). Inicialmente se plantearon dos métodos diferentes de etiquetamiento, o en capa 3 o en capa 2. La opción de capa 2 es más interesante, porque es independiente de la capa de red y además permite un procesamiento más rápida.

El modelo IP/ATM tuvo un rendimiento óptimo conforme a los requisitos de las nuevas aplicaciones, utilizando el encaminamiento inteligente de capa 3 de los routers IP en la red de acceso, e incrementando el rango de frecuencias y rendimiento basándose en la alta velocidad de los conmutadores de capa 2 y los circuitos permanentes virtuales de los switches ATM en la topología troncal. Esta arquitectura, no obstante, presentaba ciertas limitaciones:

- La dificultad de operar una red basándose en dos tecnologías muy distintas (enrutamiento IP y conmutación en capa física),
- La aparición de un overhead cercano al 20% de la tasa de transferencia de datos (lo que implica desperdicio de ancho de banda, causado por la información adicional que debe viajar además de los datos) de una conexión

- La mayor capacidad de transmisión ofrecida por SDH/SONET y DWDM respecto a ATM.

Durante 1996, empezaron a aparecer soluciones de conmutación de nivel 2 propietarias diseñadas para el núcleo de Internet que asociaba la conmutación ATM con el encaminamiento IP, lo que promovió el uso de Ingeniería de tráfico, aunque sin resultados satisfactorios. La base común de todas estas técnicas, era tomar el software de control de un nodo IP, integrarlo con el rendimiento de reenvío con cambio de etiqueta de un switch ATM y crear un encaminador extremadamente rápido y eficiente en cuanto a coste. No obstante los protocolos no eran compatibles entre sí y requerían aún de infraestructura ATM.

En el año de 1998 surge MPLS (Conmutación de etiquetas multiprotocolo) estandarizado en la RFC 3031 [3]. MPLS reutiliza los avances de la ingeniería de tráfico del modelo IP/ATM y añade a éste nuevas capacidades como una mayor escalabilidad y operación sobre cualquier estructura capa 2 facilitando así la migración a topologías ópticas basadas en infraestructuras SDH/SONET y DWDM. En la Fig. 1 se aprecia la evolución del transporte IP.

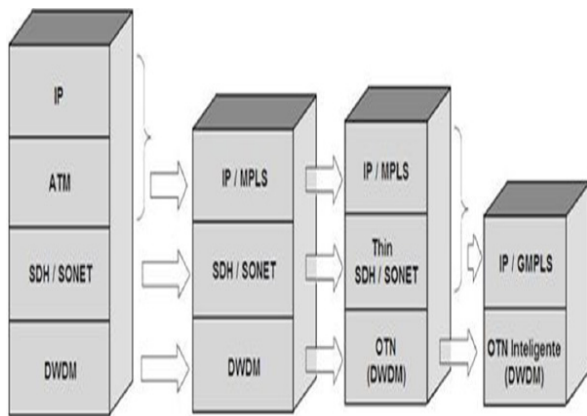


Fig. 1. Evolución del transporte de IP sobre DWDM desde el manejo de información en varios niveles (eléctrico, óptico, de tiempo) hasta la unificación de niveles [8].

2.1. Estructura MPLS

Contiene una serie de especificaciones usadas

para conmutar los paquetes mediante el uso de etiquetas que encapsulan los datagramas IP; estas son asignadas basándose en su dirección de destino, en los parámetros de tipo de servicio, en la pertenencia a una VPN, o siguiendo otro criterio.

En un backbone MPLS (Fig. 2), el encapsulamiento inicia en el primer dispositivo de enrutamiento conocido como router de frontera (LER), allí es clasificado todo el tráfico y es asignado una clase de equivalencia de reenvío o FEC, en la que se agrupan todos aquellos flujos con similares requerimientos. En todos los nodos siguientes, la etiqueta MPLS, y no la cabecera IP, se utiliza para tomar la decisión de reenvío a partir de la definición de un o LSP (Camino de conmutación de etiquetas); los Conmutadores pertenecientes a ésta fracción de la red se denominan nodos de conmutación de etiquetas (LSR). Por último, un nodo de frontera se encarga de remover los rótulos.

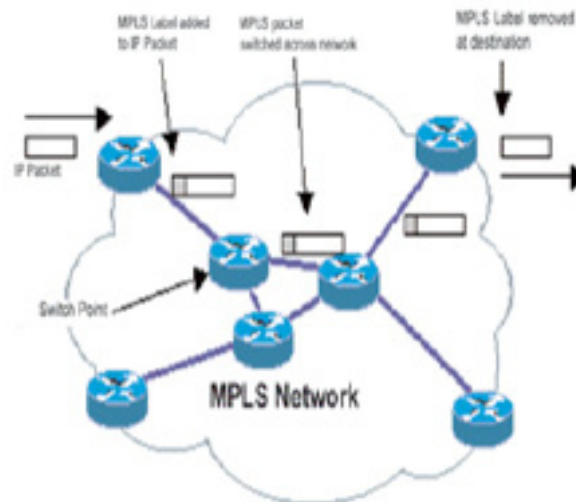


Fig. 2. Arquitectura MPLS, operación de los LER y LSR [14].

2.2. MPLS: Primer intento de evolución

La conmutación de lambdas multiprotocolo se fundamenta en el switcheo de longitudes de onda sustituyendo las etiquetas de MPLS por lambdas [11]; éste esquema utiliza un reducido número de hilos de fibra óptica y distintas longitudes luminosas para el transporte de gran

cantidad de flujos de alta velocidad a sus destinos. El mapeo de cada paquete puede apreciarse en la Fig. 3. A diferencia de la multiplexación por división en longitudes de onda, $MP\lambda S$ es un avance en el plano de control aplicado a la capa óptica a través del uso de conmutadores ópticos, también conocidos como OXC (Optical Cross Connect), ya que operan sin necesidad de convertir información a impulsos eléctricos (aunque están en capacidad de hacerlo).

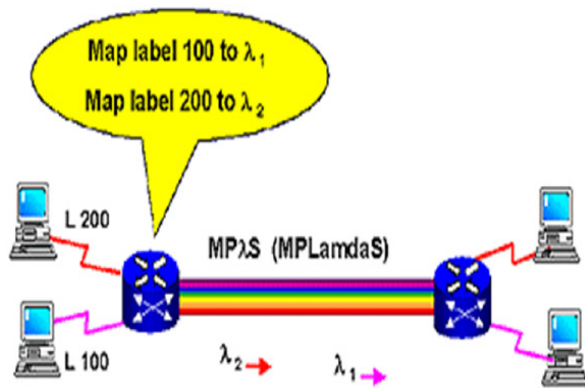


Fig. 3. Se aprecia el mapeo de etiquetas realizado para manejar señales a nivel óptico [25].

El aporte dado por $MP\lambda S$, fue la capacidad de conectarse de forma automática a los nodos finales o de frontera en las networks ópticas, ya que en el pasado se requería de una configuración tediosa y costosa; esto sucedía para protocolos de alto nivel especificados en redes SONET (redes ópticas síncronas). Sin embargo quedó pendiente la disposición para interconectar diferentes arquitecturas en un mismo plano de datos (Ópticas, temporales, espaciales, eléctricas).

3. GMPLS: EL SIGUIENTE PASO

La conmutación de etiquetas multiprotocolo generalizada corresponde al siguiente desarrollo evolutivo desde MPLS con ingeniería de Tráfico (MPLS-TE) encaminado a proporcionar características de redes orientadas a entornos no orientadas a conexión. Debido a la necesidad de asignar el tráfico IP directamente sobre la capa óptica para reducir la complejidad de las conexiones y permitir la rápida asignación del ancho de banda y flexibilidad IP, el grupo de

trabajo de MPLS continuó sus investigaciones y en Octubre de 2004 publican la RFC-3945 en la que se describe GMPLS [4] GMPLS extiende MPLS para abarcar división de tiempo (por ejemplo, SONET / SDH, PDH), longitud de onda (λ) y la conmutación en el espacio.

GMPLS abarca, además de los routers IP y los switches ATM, dispositivos como conmutadores digitales de señales multiplexadas en el tiempo (DXC), conmutadores de longitudes de onda con conversión electroóptica (OXC) y los Photonic Cross Connect (PXC) [5]. Para ello, GMPLS extiende ciertas funciones base del tradicional MPLS y, en algunos casos, añade nueva funcionalidad. Estas adaptaciones han supuesto la extensión de los mecanismos de etiqueta [5] y de LSP para crear labels generalizados y G-LSP (Generalized LSP); afectando también los protocolos de encaminamiento y señalización para actividades tales como la distribución de etiquetas, la ingeniería del tráfico, y la protección y restauración de enlaces.

El enfoque de este modelo, descrito a modo general en la Fig. 4, muestra su primera diferencia en la manera de cubrir tanto la señalización como el routing desde un plano de control [24] totalmente separado del plano de datos (ver Fig. 5), a través del uso de unas reglas de gestión de enlace conocido como LMP (Link Management Protocol). Entre sus funciones principales se encuentran:

- Descubrimiento de vecinos: Con el fin de gestionar el backbone, cada componente conectado debe ser conocido de antemano. Entre otros dispositivos se incluye switches, routers, multiplexores y conmutadores.
- Difusión de estado del enlace: En GMPLS, los protocolos de enrutamiento de primero el camino más corto (OSPF) y de sistema intermedio a sistema intermedio (IS-IS) son modificados para tal fin, añadiéndose vínculos de tipo TE.
- Gestión de rutas: El protocolo de distribución de etiquetas (CR-LDP) y el de reserva de recursos con Ingeniería de tráfico (RSVP-TE) se encargan del proceso de

señalización.

- Gestión de enlaces: Necesaria para desarrollar y lanzar un total de canales ópticos con el fin de aumentar la escalabilidad.
- Protección y recuperación: Se pueden crear una estructura malla que permita la aparición de un número de caminos diferentes.

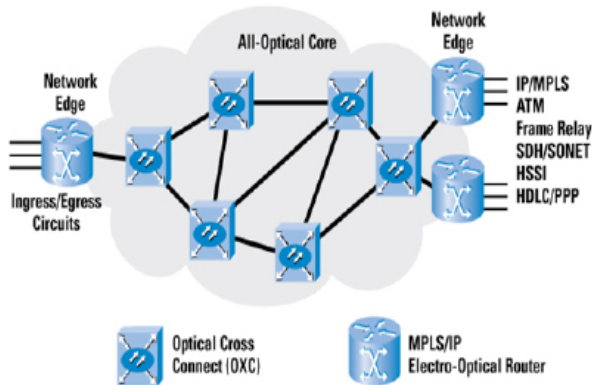


Fig. 4. Arquitectura GMPLS. Conexión a través de nodos conmutadores OXC de varios tipos de redes en los routers de frontera [17].

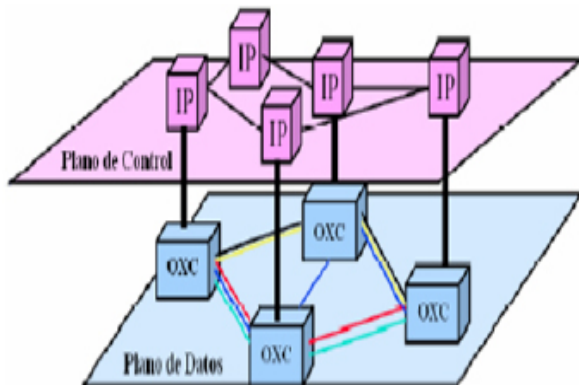


Fig. 5. Separación del plano de datos y el plano de Control de la arquitectura GMPLS [25].

3.1. Enrutamiento en GMPLS

Hace uso de modelos conocidos en el entorno IP, aplicando ingeniería de tráfico, para establecer un uso óptimo de la red. Entre ellos esta OSPF-TE, e IS-IS-TE (sistemas intermedios-sistemas intermedios), que uso Dijkstra para realizar enrutamiento[15]. Los apéndices TE, presumen ingeniería de tráfico. Este tipo de adiciones ofrecen las siguientes características:

- Detección automática de la topología de la red
- Anunciación de la disponibilidad de recursos
- Detalle del tipo de protección de enlace (dedicado 1+1, dedicado 1:1, sin protección, tráfico extra, compartido, mejorado)
- Aplicación de derivación de enlace para mejorar la escalabilidad

Particularmente un enlace TE es una conexión lógica con propiedades TE, algunos de los cuales pueden ser configurados en los LSR anunciando, otros pueden obtenerse de otros LSRs mediante algún proceso. Tradicionalmente el TE es anunciado como adjunto a un enlace OSPF o IS-IS "normal" incluyendo la métrica (SPF básicamente) y las propiedades TE del medio.

No obstante, GMPLS cambia esta noción de tres maneras:

Primero, los enlaces que no son PSC (Packet Switch Capable), pueden enviar datos basándose en el contenido de la cabecera de paquete, adicionalmente pueden tener propiedades TE; sin embargo no pueden establecer adyacencias OSPF directamente en dichos enlaces.

Segundo, un LSP puede ser publicado como una ruta TE punto a punto en el protocolo de enrutamiento como una adyacencia de routing; así un enlace TE anunciado no tiene que estar entre dos vecinos OSPF directos.

Tercero, se puede anunciar una cantidad indeterminada de rutas como un único enlace TE (para mejorar la escalabilidad), por lo que de nuevo no hay una relación uno a uno entre una adyacencia regular y un enlace TE.

3.2. Señalización en GMPLS

Comprende todo el trabajo para construir un LSP unicast (de forma bidireccional) o multicast, así como también el desarrollo de rutas de seguridad o de soporte, brindando una adecuada QoS y determinando con efectividad el jitter

y el ancho de banda utilizado. Para ello extiende ciertas funciones básicas de los protocolos de señalización RSVP-TE, CR-LDP. Estos cambios afectan las propiedades básicas de los LSP [28], entre los que se encuentran la forma en que se solicitan y comunican las etiquetas, la naturaleza unidireccional de los LSPs, la manera en que se propagan los errores y a la información proporcionada para sincronizar el ingreso y la salida de los paquetes.

La especificación de la señalización GMPLS se compone de tres partes: Una descripción de la funcionalidad de la señalización, extensiones RSVP-TE, y extensiones CR_LDP [13],[18].

La señalización GMPLS define los siguientes bloques constructivos:

- Un nuevo formato de solicitud de etiqueta genérico.
- Etiquetas para las interfaces TDM, LSC y FSC llamada Etiqueta Generalizada [16].
- Soporte para la conmutación de una banda de longitudes de onda [27].
- Sugerencia de etiqueta por el canal de subida con propósitos de optimización.
- Restricción de etiquetas por el canal de subida para soportar restricciones ópticas.
- Establecimiento de LSP bidireccionales con resolución de contienda.
- Extensiones para la notificación de fallos rápida.
- Parámetros específicos de tráfico por tecnología
- Manejo del estado administrativo del enlace.

Las recomendaciones de las extensiones necesarias para llevar a cabo la señalización [30] están expuestas en el draft G709-03 de la IETF.

3.3. Ventajas de GMPLS

GMPLS ofrece un panel de control único e integrado y extiende la disponibilidad de recursos y gestión del ancho de banda a lo largo de todas las capas de la red; es decir, los equipos dejan de estar separados en diferentes capas, todos

los elementos pueden tener información sobre el resto [5]. Es más, puesto que está diseñado para soportar diferentes tipos de tráfico, las networks podrían ser escaladas y simplificadas mediante el desarrollo de una nueva clase de elemento diseñado para manejar diferentes tipos de flujos simultáneamente.

Según ello, el principal beneficio que GMPLS ofrece actualmente a los operadores es una rápida provisión de servicios de cualquier tipo, con garantías de QoS, con cualquier grado de disponibilidad. Esta provisión tiene además un coste operativo muy bajo, por utilizar las ampliamente disponibles herramientas de gestión IP y apoyarse en un plano de control idéntico para gestionar la estructura óptica. Pero GMPLS permite también evolucionar gradualmente de una compleja red de transporte de datos de varias capas, a un modelo formado únicamente por dos. Esto es debido a que la funcionalidad proporcionada actualmente por las capas ATM y SONET/SDH, como la TE, la QoS, o las VPN serán progresivamente proporcionadas por la red fotónica DWDM mediante GMPLS.

3.4. Análisis del desempeño de la arquitectura GMPLS

Existen varios simuladores de red de código libre, no obstante el que más se ha utilizado para investigación y desarrollo es el Network Simulator NS-2, caracterizado por permitir el análisis de las características de la red a nivel de topologías y de gráficas de comportamiento. Para el caso concreto de GMPLS se analizó y evaluó el desarrollo obtenido en [6].

La topología propuesta para la evaluación del desempeño se define en la Fig. 6. La red cuenta con cinco generadores de tráfico, los nodos S0, S1, S2, S3 y S4, cinco destinos distintos, uno por cada fuente, D0, D1, D2, D3 y D4. Los datos son enviados desde de las fuentes a los receptores a través de los conmutadores de etiquetas G-LSR1 y G-LSR2 que a su vez cuentan con tres señales portadoras λ_1 , λ_2 y λ_3 para transportar el flujo a través del enlace.

El rango de frecuencias para la conmutación (ancho de banda entre G-LSR1 y G-LSR2) es de aproximadamente 15 Mbps, los generadores son de dos tipos: De tasa constante de bits (CBR), con paquetes de 200 bytes a través de λ_1 y λ_3 , y de tipo Pareto con un tamaño de paquete de 1500 bytes, una ráfaga de tiempo de 0,5 s y un tiempo de inactividad de 0,2 s a través de λ_2 . Este tipo de paquetes es adecuado para representar el tráfico de voz y video.

El ancho de banda requerido por cada uno de las fuentes, a excepción de S3, está definido en 2 Mbps, esto con el fin de simular un tráfico de datos de voz/video sobre S3 y un flujo constante de información en el resto de los generadores; el ancho de banda de conexión entre la fuente y el G-LSR1, y entre el G-LSR2 y el destino es de 3 Mbps. El ancho de banda central se divide en partes iguales entre las tres lambdas, por lo tanto, λ_1 , λ_2 y λ_3 transmiten a 5 Mbps cada uno al mismo tiempo. La duración total de la simulación es de 3,5 s.

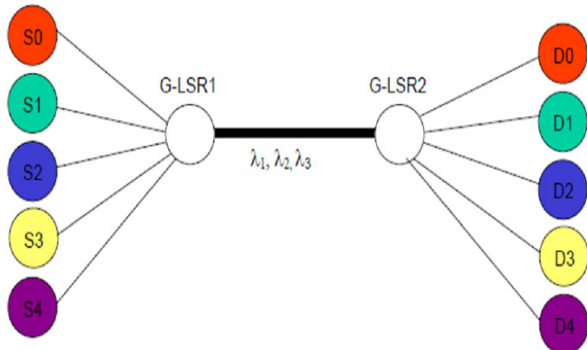


Fig. 6. Topología propuesta para simulación de una red GMPLS [6]

En la Fig. 7 se aprecia el uso compartido de dos tráficos distintos a través de un solo LSP definido por los nodos 5, 6 y 9; de allí se observa como la topología mapea las etiquetas y las traduce en una misma señal óptica para poder enviar la información.

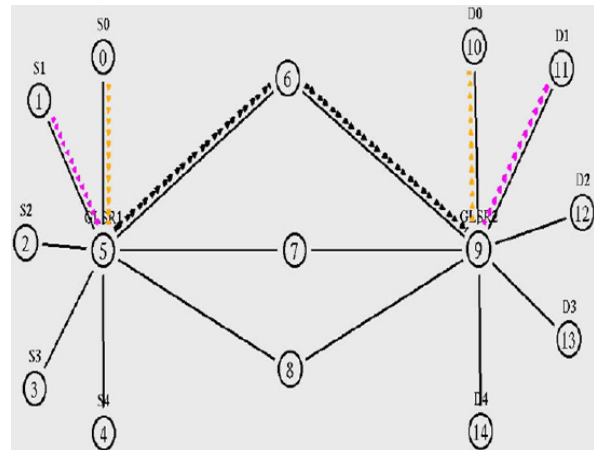


Fig. 7. Transmisión y recepción de dos tráficos de datos distintos a través de la misma línea óptica en GMPLS

En la Fig. 8 se muestra la topología y el tráfico de los cinco generadores mapeados en los tres LSP establecidos que depende enteramente del protocolo de señalización utilizado, que para el caso concreto fue RSVP.

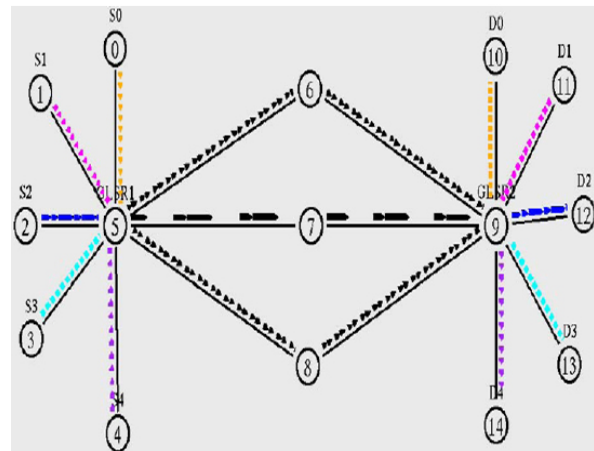


Fig. 8. Transmisión y recepción de todo el tráfico propuesto para la simulación a través de las tres líneas ópticas establecidas para el experimento en GMPLS.

El rendimiento de la topología de la red GMPLS propuesta se observa en la Fig. 9 donde se muestra el comportamiento de los paquetes transmitidos contra los perdidos a lo largo

del tiempo de simulación por cada tráfico entre nodo generador y receptor. Claramente se deduce que el flujo entre S2 y D2 no presenta pérdidas sino falta de paquetes transmitidos en algunos instantes de tiempo.

Las tasas de transferencia permanecen constantes durante todo el tiempo de simulación, lo que indica que al agregar tráficos nuevos sobre los enlaces (entre el instante inicial y cerca a los 0,5 s) no se presentan pérdidas de información y no se ven afectados los flujos entre sí. La adecuada conmutación realizada por GMPLS permite escalar el tráfico de esta red sin consecuencias aparentes.

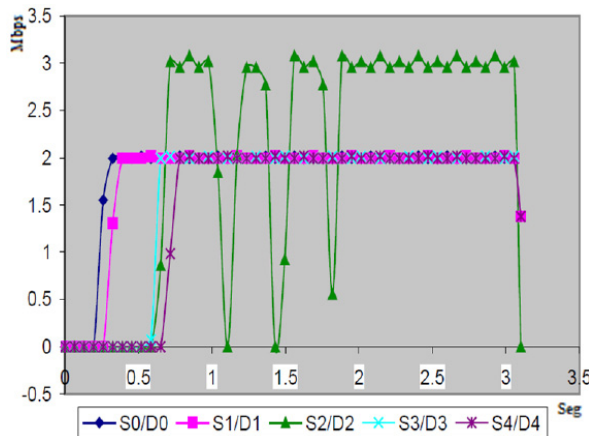


Fig. 9. Rendimiento o Throughput de la topología GMPLS del experimento.

La medida efectiva del ancho de banda utilizado puede apreciarse en la Fig. 10; de allí se aclara que cuanto mayor sea el porcentaje de uso, mejor será la eficiencia del mismo. Si el valor es pequeño, indica que un enlace es subutilizado y que no hay desperdicio de ancho de banda. Para el caso que es abordado, el tráfico de λ_2 es un flujo real de voz y video, por lo tanto no será constante sino que se comportará como ráfagas de datos; esto significa que no existirá un consumo de ancho de banda constante como en los otros casos (donde el uso está fijo en 80% = 4 Mbps).

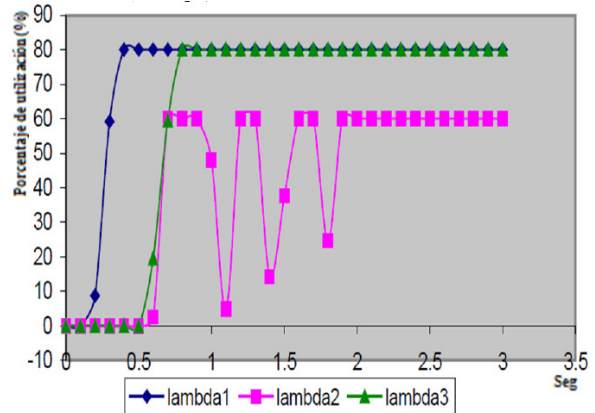


Fig. 10. Uso del ancho de banda por cada LSP lambda.

La tabla 1 presenta la recopilación de los retardos promedios entre la transmisión y la recepción de un paquete dependiendo del tráfico analizado. Mientras que se mantiene homogénea la medida para casi todos los tráficos, en S2 / D2 hay un incremento del 16% con respecto a la media obtenida, a raíz del tráfico en ráfagas (no constante) y del tipo de datos transmitidos (audio y video) [6]. Hay que recordar que el retardo máximo en transmisiones de voz y video no debe sobrepasar los 150ms para garantizar una adecuada comunicación.

Tabla 1. Retardos de transmisión (End to end Delay) [6]

Generador / Destino	Latency (ms)
S0 / D0	41.838
S1 / D1	41.8964
S2 / D2	49.2295
S3 / D3	41.8565
S4 / D4	41.9187

La tabla 2 expone la variación de los retardos de los paquetes transmitidos para cada tráfico en particular, esta variación, que se conoce como jitter, afecta la calidad de la información durante la reproducción o la recuperación de datos en su forma original [6]. Para la aplicación de video, por ejemplo, si la fluctuación es dema-

siado grande y no puede ser compensada, la reproducción del video comenzará a parpadear, lo que resulta en baja calidad de presentación.

El jitter introducido por la data desde el origen S2 es más considerable que el resto de los datos, lo que se debe al modo de transmisión por ráfagas. Por lo tanto, el retraso de variación para el flujo de información sería mucho más alto que el resto del tráfico de tasa constante.

Tabla 2. Retardos de procesamiento (Jitter) [6]

Generador / Destino	Jitter (ms)
S0 / D0	0.107727
S1 / D1	0.107005
S2 / D2	0.667854
S3 / D3	0.101977
S4 / D4	0.0992789

4. REDES ÓPTICAS DE CONMUTACIÓN AUTOMÁTICA ASON

Desarrollado por el grupo de estudio 15 del UIT-T, un sector de normalización de las telecomunicaciones; el trabajo fue iniciado en respuesta a una demanda de los miembros de la UIT para crear una definición completa de la operación de las redes de transporte condicionando su evolución para la interconexión de dispositivos de diversos dominios de transmisión de información a nivel de gestión, control y datos.

Las redes ASON son topologías de transporte óptico capaces de formar una conexión de dispositivos de forma dinámica sin problemas; éstas pueden ser consideradas como el conjunto de componentes que comprenden el plano de control óptico y la interacción entre los mismos. Soporta funciones de gestión y operación automática de un conmutador de red basado en el envío óptico, así como un modelo que posee funciones de enrutamiento y de señalización aplicadas a la red óptica [12].

4.1. Arquitectura de la red ASON

Primero que nada hay que aclarar el término “conmutación automática”, éste hace referen-

cia a la capacidad que una red tiene para introducir nuevos servicios, como asignación de un rango de frecuencias de trabajo bajo demanda, habilidad de realizar enrutamiento dinámico, y restauración eficiente de servicios, por citar los tópicos más importantes.

En [22], las redes ASON están determinadas por la topología y los elementos de transmisión que conforman los nodos: Las topologías malladas (como en este caso) requieren menos recursos de red, otorgan mayor flexibilidad, facilitan su crecimiento y simplifican la disponibilidad de sus recursos, lo cual redundaría en un mejor aprovisionamiento de servicios en general cuando se establece un enlace entre dos puntos de la red y en particular, en procesos de protección y restauración de enlaces. De otro lado, las redes clásicas, basadas en anillos, son de aprovisionamiento mucho más complejo, son más rígidas, requieren más recursos de red y son de difícil crecimiento e interoperabilidad [29].

Este tipo de topologías ópticas hace uso de varias interfaces para comunicar a un usuario con la red óptica (UNI (interfaz de usuario-red)) y comunicar una red o un dominio de red con otro (NN (interfaz red a red)) [26]. En la Fig. 11 se observa la aparición de NNI externos (E-NNI) concebidos para interconectar dominios distintos, del mismo modo existen NNI internos (I-NNI) encargados de la conexión de topologías del mismo dominio de red. [7] En realidad, una ASON está formada por tres planos (Fig. 11):

- El plano de transporte, formado por conmutadores ópticos y enlaces (fibras) DWDM [19], el cual suministra canales unidireccionales o bidireccionales entre usuarios.
- El plano de control, implementado por un controlador de conexiones ópticas OCC (Optical Connection Controller) en cada nodo y una red de señalización, quien dota de inteligencia a la red óptica, soportando el establecimiento, modificación y eliminación de canales como resultado de una petición de la red cliente o del sistema de gestión.
- El plano de gestión, que lleva a cabo las

funciones de supervisión de averías, configuración, contabilidad y seguridad para las capas de transporte y control.

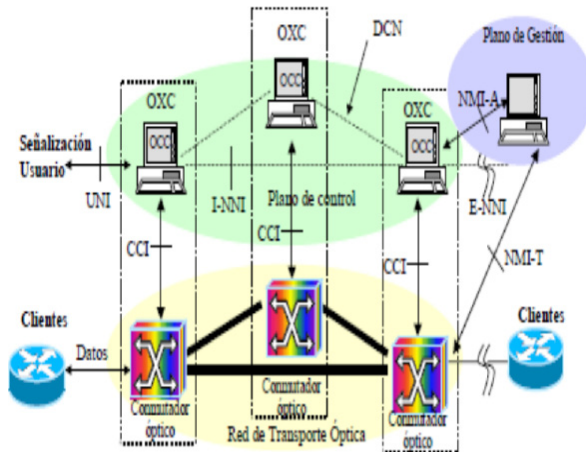


Fig. 11. Arquitectura lógica de una red ASON [20]

4.2. Enrutamiento en las redes ASON

En [8] se establece que los usuarios finales en una troncal basada en fibra se comunican entre ellos por medio de canales en el dominio óptico llamados “lightpaths”, donde uno de estos caminos atraviesa varios enlaces de fibra para interconectar dos nodos con alta carga de tráfico mediante una técnica de “conmutación de circuitos”, además el canal se establece con independencia de la proximidad física de los clientes [21]. Cada nodo intermedio actúa como catalizador en el dominio óptico para el establecimiento y mantenimiento de los senderos ópticos. Sin embargo el problema del routing óptico radica en el sostenimiento de dichos enlaces a través de un algoritmo llamado RWA o de asignación de longitudes de onda y encaminamiento (Routing and Wavelength Assignment) [14].

Ello implica que RWA está encargado del descubrimiento de rutas ópticas donde las diferentes longitudes de onda de los tráficos instalados para una red ASON puedan ser transmitidas entre nodos [23]. Sin embargo, al tratar de realizar conmutación a nivel óptico se presenta un fenómeno conocido como “blocking” que consiste en la probabilidad que tiene un enlace óptico de bloquearse y así evitar la conexión, [19],

en este caso la solicitud de conexión será negada hasta que se libere el espacio suficiente a lo largo de toda la ruta (ésta última condición es conocida como la restricción de la continuidad de longitud de onda).

Además este tipo de bloqueos también puede ocurrir debido a la falta de actualizaciones globales sobre la red, a razón de los retrasos causados por la necesidad de transmitir la información de estado del enlace y las demoras de propagación, lo que se traduce en que cuando un mensaje de control llegue a un enlace con el fin de reservar un canal lambda, es posible que la capacidad que estaba disponible cuando el dato sobre el estado de la conexión se adquirió, haya sido reservado por otro requerimiento.

Todas estas características deberán ser estudiadas a fin de encontrarles posibles soluciones si se quiere en realidad migrar hacia una network totalmente óptica en un futuro cercano.

4.3. Ventajas de las redes ASON

A pesar de las problemáticas que puedan contener las estructuras netamente ópticas, poseen un sin número de ventajas que las posicionan muy por encima de los modelos utilizados hoy en día en la Internet:

- Descubrimiento automático de los recursos.
 - Cada nodo puede encontrar a su vecino en la red de forma automática.
 - Cada nodo puede construir la topología de la red por sí mismo.
- Configuración de servicios extremo a extremo (Selección del destino y la fuente, ancho de banda, QoS, restricciones y establecimiento del servicio)
 - Realización rápida y automática de rutas en cada nodo.
 - Operación a través de las rutas y señalización entre la red.
 - Adición de restricciones con el propósito de establecer el trayecto óptimo.
- Servicio de ancho de banda en demanda (BODS- Band-width On Demand Service) y redes privadas virtuales ópticas (OVPN),

donde el BODS es implementado básicamente por las conexiones conmutadas, y está dirigido a usuarios con gran demanda de capacidad y que necesitan nuevas conexiones o reconexiones por períodos cortos.

- ASON puede proveer nuevas conexiones en segundos, en lugar de los días u horas que tardaban las peticiones vía TMN (Telecommunications Management Network).
- Además el servicio de OVPN cumple con los requerimientos establecidos por operadores IP, en el sentido de permitirle al usuario tener visibilidad y un control más o menos limitado sobre los recursos de la red reservados para este fin [20].

4.4. Análisis y desempeño de la arquitectura ASON

En el ejemplo mostrado en [9] (diseñado bajo el simulador de red NS-2), se evalúa el algoritmo RWA con fines alternativos de enrutamiento a través de la premisa “del camino más corto” y se calcula un primer ajuste a la asignación de longitud de onda. Para el caso concreto el factor de conversión de longitud de onda denota el porcentaje de nodos en una red que tienen la capacidad de realizar conmutación a nivel óptico.

La topología se generó de forma aleatoria para poder observar el fenómeno de capacidad de la red y de enrutamiento con mayor claridad; el tipo de tráfico de los host generadores es exponencial. La simulación se configuró para que finalizara en el momento en que el número de solicitudes de tráfico recibidas alcanza un valor tope.

La Fig. 12 muestra el modelo formado por 25 nodos de tipo WDM generados aleatoriamente al igual que el retardo de propagación o latencia; el ancho de banda de cada canal creado se establece en 16Mb y el número de lambdas

por cada enlace es 16, lo que significa que cada longitud de onda podrá abarcar un máximo de 1MB. Para el tráfico exponencial generado, cada paquete posee una longitud de 1KB.

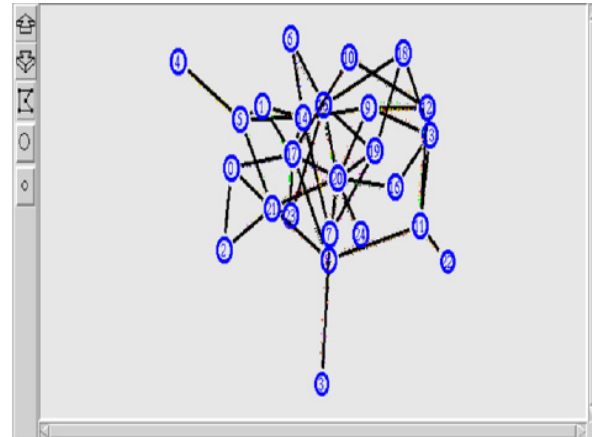


Fig. 12. Topología generada para simulación de una red ASON (Gráfico obtenido con NAM en NS-2) [9]

La Fig. 13 presenta los resultados de la medición del rendimiento de dos de los 25 nodos WDM creados, los cuales presentan 48 y 64 lambdas en cada enlace respectivamente. Cabe destacar que la topología física fue creada por un generador aleatorio con una probabilidad de conectividad de 0,03.

El estudio se enfocó al análisis de dos métricas que fueron: probabilidades de bloqueo y retrasos medios de paquetes. En la simulación propuesta se generó tráfico con una densidad de carga del 60%, la variación de carga de tráfico estuvo en un rango desde 0,05 hasta 0,5 Erlangs, y el cambio de valor del factor de conversión de longitud de onda estuvo entre cero y uno (0 – 1).

La Fig. 13 en su primera parte presenta los efectos de variar el factor de conversión de longitud de onda sobre la probabilidad de bloqueo de los caminos ópticos; como se puede apreciar al aumentar el valor de la constante de conver-

sión, el "blocking" disminuye. En la misma Fig. 13, en la parte inferior se deduce que el incremento del volumen de tráfico (en Erlangs) incrementa las oportunidades de bloqueo.

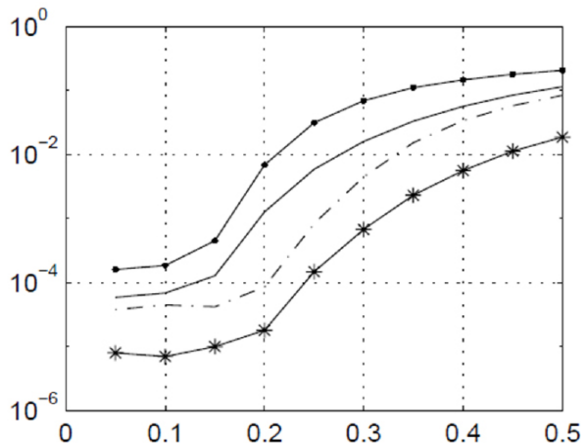


Fig. 13. Efecto de la variación de la longitud de la onda en el rendimiento de la red [9].

5. CONCLUSIONES

En el pasado, al tratar de instalar cualquier elemento nuevo o modificar una función en un elemento existente se hacía de forma manual y se utilizaba una gran variedad de protocolos, lo que tomaba mucho tiempo por lo que el aprovisionamiento era lento. Aquí ASON juega un papel fundamental, ya que tiene la capacidad de formar conexiones de forma dinámica.

La posibilidad de utilizar el plano de control de forma más eficiente en GMPLS permite la migración del modelo IP/MAF/SDH/DWDM en uno más simple y a la vez robusto que es IP/GMPLS/DWDM.

Aunque desarrolladas por dos organismos internacionales que están cabeza a cabeza en la investigación de arquitecturas en telecomunicaciones, las redes ASON (UIT-T), y GMPLS (IETF), presentan solo pequeñas diferencias en el plano de control; estas diferencias pueden ser superadas con un modelo de interconexión entre redes que faciliten la interacción de dispositivos mixtos, como podría ser MPLS-TP.

La interoperabilidad de señalización y enrutamiento se está asegurando en múltiples dominios de diferentes modelos, y por lo tanto, esto lleva a la aceleración del despliegue de las redes ASON y GMPLS; sin embargo, con respecto al protocolo de adición de rutas siguen existiendo problemas que redundan en fallas de escalabilidad de red.

Uno de los beneficios de GMPLS es que ofrece un panel de control único e integrado y extiende la disponibilidad de recursos y gestión del ancho de banda a lo largo de todas las capas de la red. Los equipos de las redes dejan de estar separados en diferentes capas, todos los elementos pueden tener información sobre el resto siendo una solución que integra todas las networks existentes.

Con los niveles de servicio que ofrece ASON se puede crear un diseño de acuerdo a las necesidades, permitiendo asignar prioridades sobre el tráfico.

Implementando GMPLS en las estructuras de transporte, se va a tener un beneficio en cuanto al costo de la red ya que se crea un plano de control que integra tecnologías como IP, ATM, SONET/SDH, FRAME RELAY, etc; que son conmutadas a través de un equipo que posea una tarjeta de red con una interfaz que incorpore este tipo de tecnologías.

Las topologías ópticas están dotadas de funcionalidades que proporcionan transporte, multiplexación, enrutamiento, gestión, protección y restauración, que tienen como medio físico de transmisión la fibra óptica y la información enrutada a través de nodos ópticos.

GMPLS define un conjunto de protocolos para la gestión de enlaces con el fin de determinar la topología, la señalización y el enrutamiento de las redes IP y comunicarlas de forma efectiva y sencilla, mientras que la arquitectura ASON es una arquitectura de red óptica. Sin embargo, pueden apoyarse mutuamente para resolver problemas [10].

Las redes ASON se enmarcan dentro de una

tecnología de gestión de recursos para apoyar la función del trabajo ejercido por los conmutadores de red en el transporte de datos ópticos. No obstante esta tecnología requiere del protocolo GMPLS para separar el plano de control del de datos en la red. En la actualidad GMPLS puede ser instalado en una variedad de dispositivos tales como ADM, SONET, OXC y DWDM.

GMPLS desarrolla un mapa de tráfico IP directamente sobre la capa óptica (DWDM) para reducir la complejidad de las conexiones y agilizar la asignación de ancho de banda y flexibilidad para el tráfico IP; está diseñado para superar los problemas en el momento de aprovisionamiento de red a través de diversos sistemas y protocolos.

Referencias Bibliográficas

- [1] J. Huidobro, M. Millán, MPLS (multi-protocol label Switching). [En línea], consultado en Marzo 10 de 2011, disponible en <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/mpls.php>
- [2] Oswaldo Diaz. MPLS (MultiProtocol label switching). [En línea], consultado en Junio 15 de 2011, disponible en http://www.docstoc.com/docs/47605031/MPLS-_Multiprotocol-Label-Switching
- [3] RFC-3031: Multiprotocol label switching architecture. [En línea], consultado en Febrero 1 de 2011, disponible en <http://www.ietf.org/rfc/rfc3031.txt>
- [4] RFC-3945: General multiprotocol label switching architecture. [En línea], consultado en Marzo 12 de 2011, disponible en <http://www.ietf.org/rfc/rfc3945.txt>
- [5] R. Millán, Integración de redes ópticas e IP mediante GMPLS. [En línea], consultado en Enero 18 de 2011, disponible en <http://www.ramonmillan.com/documentos/gmpls>
- [6] S. Binti. Traffic engineering IP/GMPLS over WDM. [En línea], consultado en Febrero 10 de 2011, disponible en <http://eprints.utm.my/5344/1/SharifahAzwaShaayaMFKE2005TTT.pdf>
- [7] X. Masip, R. Muñoz, Mecanismo de Encaminamiento Dinámico en Redes ASON. [En línea], consultado en Abril 22 de 2011, disponible en <http://www.craax.upc.edu/papers/2002/telecom2002.pdf>
- [8] M. García Manrubia, Planificación de redes ópticas wave-length-routing con demanda dinámica de tráfico. [En línea], consultado en Febrero 27 de 2011, disponible en: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/275/1/pfc2457.pdf>
- [9] B. Wen, N. Bhide, Optical wavelength división multiplexing (WDM) network simulator (OWns): architecture and performance studies. [En línea], consultado en Mayo 9 de 2011, disponible en: <http://www.eecs.wsu.edu/~dawn/Papers/2001/ONM01b.pdf>
- [10] J. Castrejo, Arquitecturas en anillo para redes IP. [En línea], consultado en Abril 7 de 2011, disponible en: <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfctelexco/lecturas/20080723JuanManuelCastrejo.pdf>
- [11] M. Ali, Enhancements to multiprotocol lambda switching (MPS) to accommodate transmission impairments. [En línea], consultado en Enero 20 de 2011, disponible en: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?tp=&arnumber=965082
- [12] S. Okamoto, Multi-ASON and GMPLS network domain interworking challenges. [En línea], consultado en Enero 5 de 2011, disponible en: <http://www.lcs.poli.usp.br/~jra/ptc2426/%20Multi-ASON%20and%20GMPLS%20network%20domain%20interworking%20challenges%20.pdf>
- [13] L. Velasco, On the design of MPLS-ASON/GMPLS interconnection mechanisms. [En línea], consultado en

- Febrero 11 de 2011, disponible en: http://www.it.uc3m.es/~rromeral/web/rromeral_files/GMPLS08.pdf
- [14] A. Garcia, Redes MPLS y GMPLS - servicios y aplicaciones. [En línea], consultado en Abril 13 de 2011, disponible en www.ccapitalia.net/netica/teleco/mpls-gmpls-v4.pdf
- [15] N. Larkin, ASON and GMPLS - The battle of the optical control plane. [En línea], consultado en Junio 17 de 2011, disponible en: www.dataconnection.com/download/asongmpls.pdf
- [16] R. Hayashi, GMPLS light GMPLS operation for interoperating WSON and non WSON. [En línea], consultado en Mayo 3 de 2011, disponible en: www.pilab.jp/ipop2011/info/online-proceedings.html
- [17] F. Palmieri, GMPLS Control plane Services in the next generation optical. [En línea], consultado en Febrero 19 de 2011, disponible en: http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/archived_issues/ipj_11-3/113_gmpls.html
- [18] A. Belda, Arquitectura GMPLS: Generalizad multiprotocol label switching. [En línea], consultado en Abril 29 de 2011, disponible en: http://pitagoras.usach.cl/~eflores/lcc/cd_redes/arquitectura-gmpls.pdf
- [19] K. Lu, Analysis of blocking probability for distributed lightpath establishment in WDM optical. [En línea], consultado en Mayo 27 de 2011, disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.59.9310&rep=rep1&type=pdf>
- [20] PLONE: Redes de telecomunicaciones, redes de transporte ASON. [En línea], consultado en Enero 21 de 2011, disponible en: <http://teleportal.cujae.edu.cu/mtelematica/cursos/redes-de-telecomunicaciones-2/bibliografia/referente-a-la-actividad-3/ASON%20R%20II.ppt/view>
- [21] W. Muellner, ASON and GMPLS – overview and comparison. [En línea], consultado en Abril 15 de 2011, disponible en: www.springerlink.com/index/J6210636516K6647.pdf
- [22] H. Chu, Analysis of switching control channels in ASON. [En línea], consultado en Febrero 8 de 2011, disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/4149701/4117415/04149705.pdf>
- [23] S. Lázaro, Evaluación de prestaciones de algoritmos RWA para redes todo ópticas WDM en tiempo real, considerando restricciones físicas. [En línea], consultado en Junio 1 de 2011, disponible en: <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20101117SaraLazaro.pdf>
- [24] J. Solé. Some open issues in the optical networks control plane. [En línea], consultado en Mayo 15 de 2011, disponible en: <http://academic.research.microsoft.com/Publication/4466780/some-open-issues-in-the-optical-networks-control-plane>
- [25] D. Buschiazzo, Ingeniería de tráfico y MPLS. [En línea], consultado en Marzo 5 de 2011, disponible en: http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/telef/mpls_te.pdf
- [26] W. Hu, Enhanced connectivity in ASON/GMPLS network with demonstrations. [En línea], consultado en Abril 10 de 2011, disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F4911415%2F4937757%2F04937764.pdf%3Farnumber%3D4937764&authDecision=-203>
- [27] H. Yoon, Dynamic connection control scheme considering network topology in an optical network. [En línea], consultado en Marzo 6 de 2011, disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download%3Fdoi%3D10.1.1.122.5435%26rep%3Drep1%26type%3Dpdf>
- [28] Li Xingua, Research on the working mechanism of ASON routing protocol based on GMPLS. [En línea], consultado en Febrero 17 de 2011, disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/5581174/5588666/05588794.pdf>

- [29] E. Escalona, Evolution of current transport networks to ASON/GMPLS PLONE. [En línea], consultado en Junio 14 de 2011, disponible en: www.craax.upc.edu/papers/2004/Girona_Eduard.pdf
- [30] W. Colitti, Adaptive multilayer routing in the next generation GMPLS. [En línea], consultado en Abril 11 de 2011, disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/4545865/4554360/04554515.pdf>