



Redes Ópticas

Tecnologías para el transporte y conmutación óptica

XV Jornadas Técnicas RedIRIS y XVIII Grupos de Trabajo
Toledo, 25-29 de octubre de 2004

Unitronics Comunicaciones, S.A.

Adolfo García Yagüe
agy@unitronics.es



Versión 1.0



Agenda

- Transporte Óptico
 - Retos y Tendencias
 - Atributos
- Topologías y Componentes
 - Transpondedor óptico
 - Mux/Demux
 - Amplificación
 - AODM
 - Conmutador Óptico
 - Encapsulación
- Plano de Control y Señalización
 - GMPLS
 - Link Management Protocol
 - UNI y E-NNI
 - ASON



Retos y Tendencias

- En infraestructura:
 - Necesidad de maximizar la capacidad de la fibra actual
 - Incremento de ancho de banda
 - Red de transporte agnóstica: Transporte transparente de cualquier servicio
- Tecnología:
 - Importante desarrollo del mercado de componentes ópticos: Nuevos materiales y técnicas de fabricación, reducción de costes, etc.
 - Desarrollo y adopción de tecnologías que aportan un plano de control y señalización: MPLS y GMPLS



Atributos

- Multiplexación óptica según recomendaciones del ITU:
 - G.694.1 (DWDM). Establece la ubicación y separación de canales de comunicación dentro de las bandas S, C y L. Separaciones de 0.8nm (100GHz), 0.4nm (50GHz), 0.2nm (25GHz) y próximamente 12,5GHz.
 - G.694.2 (CWDM). 18 canales separados entre sí por 20nm dentro de las O, E, S, C y L
- Velocidad por canal: 1.25Gbps, 2.5 Gbps, 10 y 40Gbps.
- Multiservicio:
 - TDM, SDH, Ethernet
 - ATM, IP y MPLS
 - Fiberchannel, ESCON, FICON
 - DVB
 - ...



Agenda

- Transporte Óptico
 - Retos y Tendencias
 - Atributos
- Topologías y Componentes
 - Transpondedor óptico
 - Mux/Demux
 - Amplificación
 - AODM
 - Conmutador Óptico
 - Encapsulación
- Plano de Control y Señalización
 - GMPLS
 - Link Management Protocol
 - UNI y E-NNI
 - ASON



Transpondedor Óptico

Rango dinámico	
19dB	
23dB	
30dB	

Servicio	
SDH	
Gigabit Ethernet	
FiberChannel	
ESCON/FICON	
DVB-ASI	
E1, E3 PDH	
10G	

Lambda xWDM	
1270nm	1450nm
1290nm	1470nm
1310nm	1490nm
1330nm	1510nm
1350nm	1530nm
1370nm	1550nm
1390nm	1570nm
1410nm	1590nm
1430nm	1610nm

Lambda	
850nm	
1310nm	
1550nm	

Codificación	
NRZ	
8B/10B	
64B/66B	

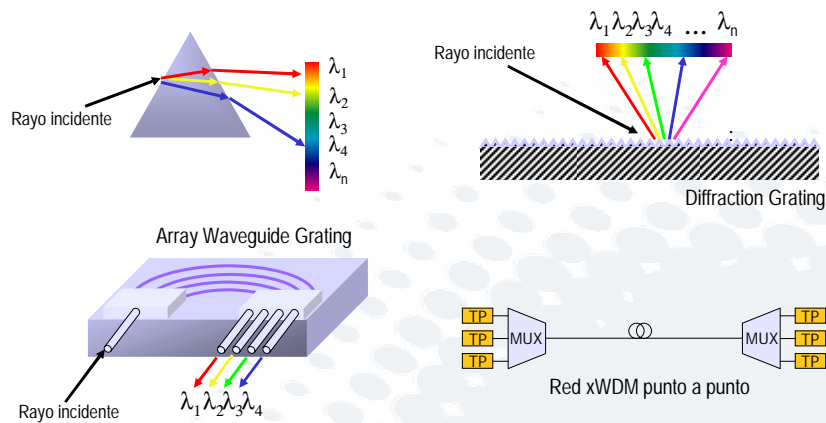
Interfaz Agregado

Interfaz Tributario

3R (Reamplify, Reshape, Retime)
 Encapsulación
 Monitorización
 Diagnósticos
 Protección
 Control de errores L2
 Filtrado Broadcast y Multicast L2
 Contadores de tráfico L2

Sitúa el tráfico de entrada en una determinada longitud de onda del espectro CWDM o DWDM

Multiplexor/Demux Óptico



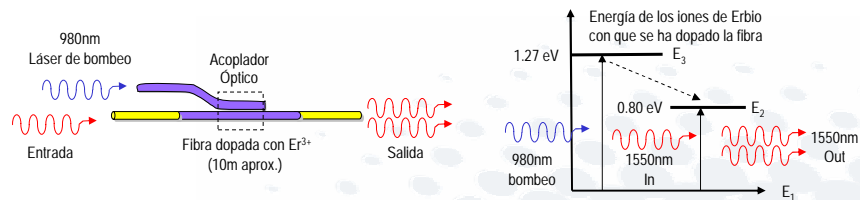
- Multiplexa diferentes longitudes de onda sobre una fibra óptica, y viceversa (demux)
- Se emplean, entre otras técnicas, prismas ópticos, retículas de difracción y matrices de guiondas integradas

Amplificación Óptica y Regeneración O-E-O

- Factores que determinan la necesidad y ubicación física de un punto de Amplificación o Regeneración:
 - **Rango dinámico** o la relación entre la potencia y sensibilidad del láser y receptor de cada transpondedor.
 - **Distancia de la fibra óptica** entre los nodos
 - **Atenuación de las fibra por Km** (valor del fabricante), por ejemplo 0.28db/Km
 - **Estado de fibra:** nº empalmes, pérdidas en cada empalme, etc.
 - **Perdidas de inserción** de cada elemento óptico (conectores, Mux/Demux, OADM, etc)
- **Amplificación óptica** de las portadoras en el dominio fotónico, sin necesidad de conversión eléctrica (1R). De las diversas tecnologías existentes destacan **EDFA**, **SOA** y **Raman**.
- En **Regeneración O-E-O** el proceso de amplificación se obtiene tras la conversión de cada portadora óptica a nivel eléctrico donde es tratada (3R) para su posterior conversión óptica.



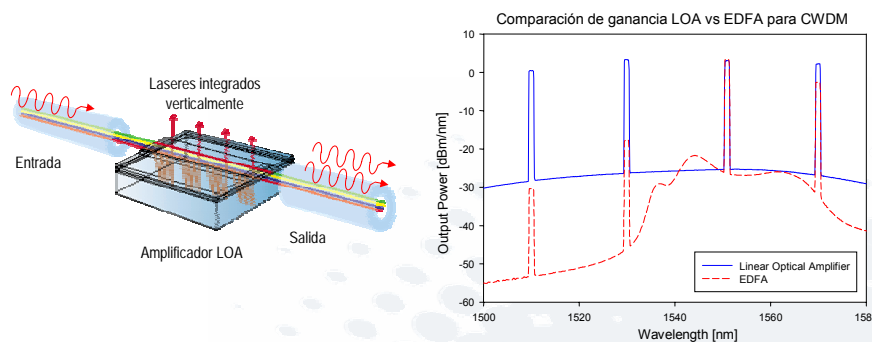
Amplificador Óptico EDFA



- Con ayuda de un láser de bombeo, los iones de Erblio con los que se ha dopado una fibra óptica alcanzan el estado de excitación. Tras la colisión de los fotones de entrada con los átomos de erbio se liberan fotones con la misma frecuencia, fase y dirección. (Emisión estimulada)
- Principales parámetros que definen a un amplificador: Espectro de ganancia, saturación de ganancia y ruido de amplificación
- Los amplificadores EDFA operan en el rango 1530-1565nm (Banda C) con ganancias en torno a los 20dB

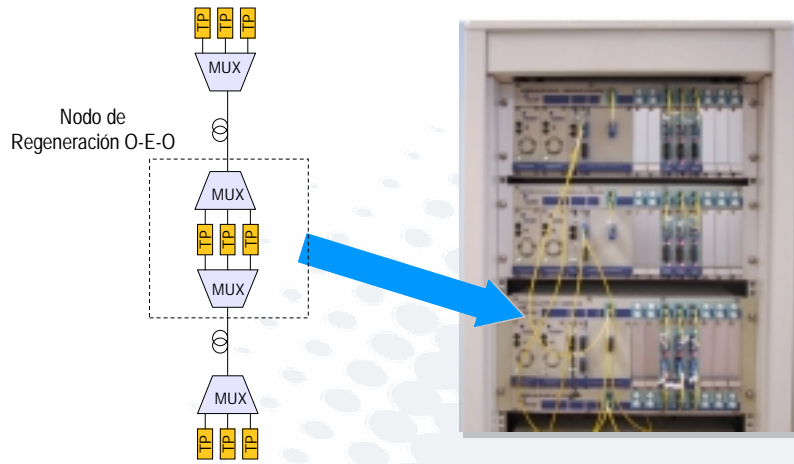


Amplificador Óptico SOA y LOA



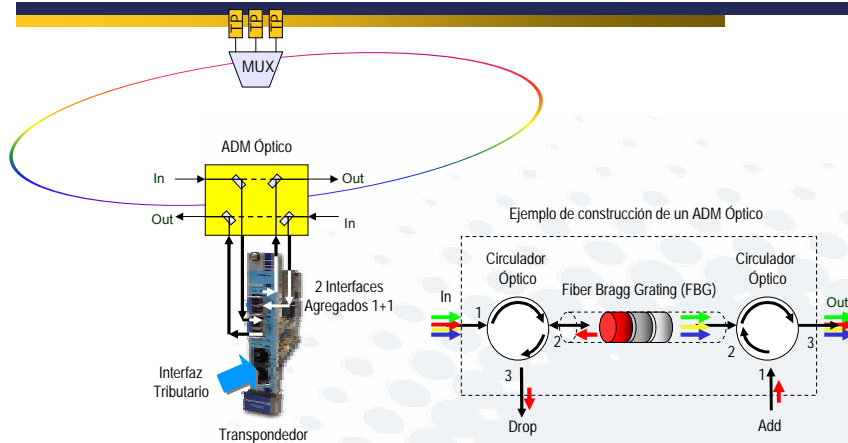
- Los amplificadores SOA (Semiconductor Optical Amplifier) se basan en el principio de emisión estimulada. Funcionalmente es un láser semiconductor donde los electrones excitados son estimulados por los fotones entrantes
- Las ganancias ofrecidas por LOA oscilan, según modelo y fabricante, entre los 10dB y 25dB sobre cuatro lambdas.
- Frente a EDFA, la tecnología SOA permite amplificar otras regiones del espectro. Es posible amplificar 8 portadoras ópticas CWDM con dos LOA
- Otra utilidad de SOA son los convertidores de lambda

Regeneración O-E-O



- Aporta regeneración eléctrica: 3R (Reamplify, Reshape, Retime)
- Facilita establecer nodos de inserción, extracción y cross-connect

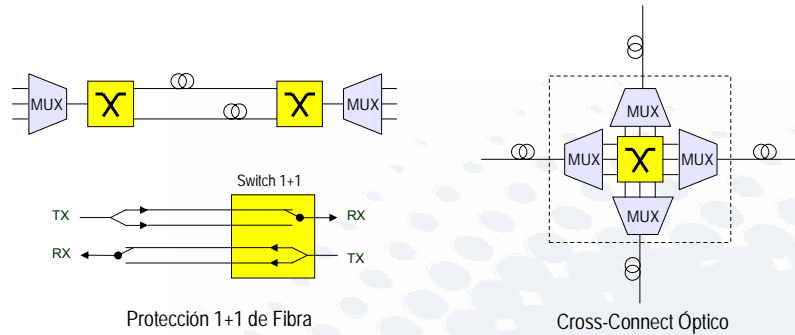
Optical ADM



- Permiten la extracción e inserción selectiva de una longitud de onda
- Facilitan el establecimiento de rutas alternativas para la protección de la línea:
 - 1 Transpondedor con 2 Agregados en 1+1 (ver diagrama)
 - 2 Transpondedores en 1+1 con 1 Agregado cada uno
- OADM de configuración fija para una λ . Existen también OADM ajustables



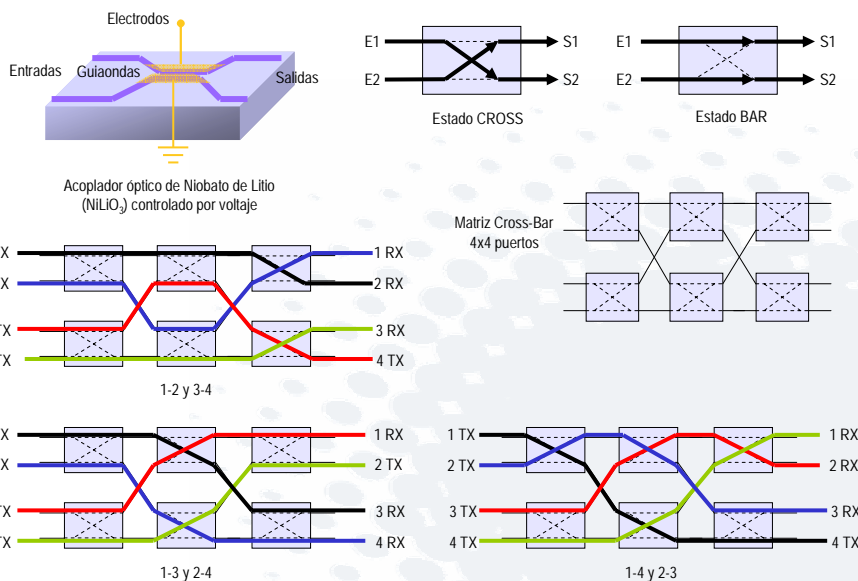
Conmutadores Ópticos



- Permiten, sin necesidad de conversión electrónica, la conmutación espacial de una señal óptica
- Aplicación común en dispositivos de protección y cross-connect ópticos
- Tecnologías para la construcción de conmutadores ópticos: Acoplador Óptico, Interferómetro Mach-Zender, MEMS, Burbuja, etc
- Elemento clave para el desarrollo de mallas ópticas

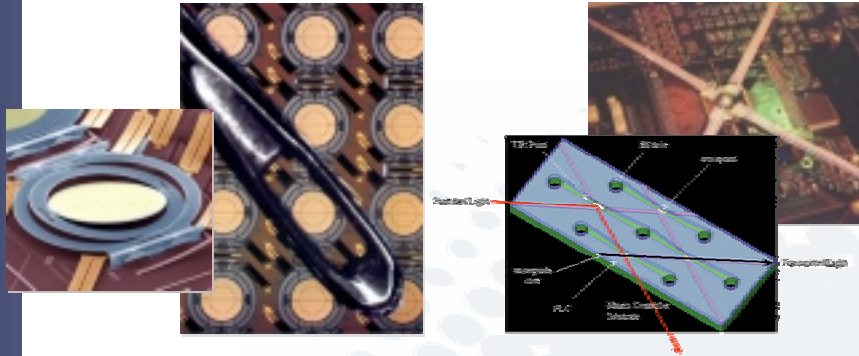


Acoplador óptico como elemento básico de conmutación Cross-bar





Otras técnicas de conmutación óptica



MEMS – Micro-Electro-Mechanical Systems

Micromáquinas construidas sobre un sustrato de Silicio. Mediante la apropiada señal de control es posible cambiar la orientación de cada espejo para reflejar un haz de luz entrante hacia un puerto de salida

Burbuja – Conmutador Óptico Agilente

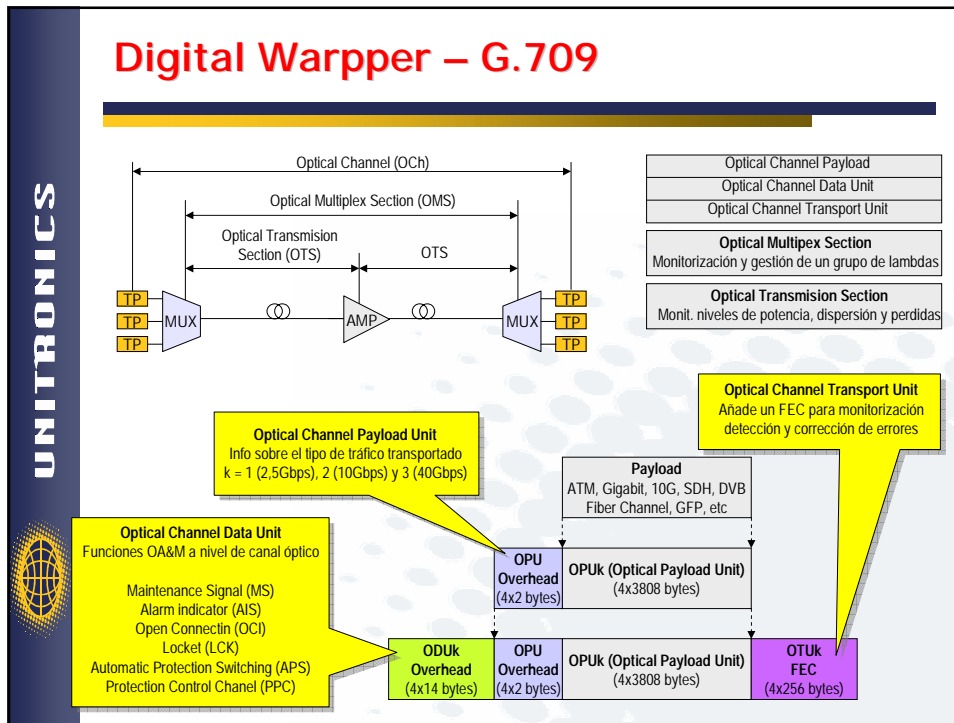
Basado en la tecnología de los cabezales de las impresoras de burbuja. Se controla la inyección de una burbuja en los puntos de intersección de un trazado mallado de guiaondas. La aparición de la burbuja provoca el desvío del haz de luz.



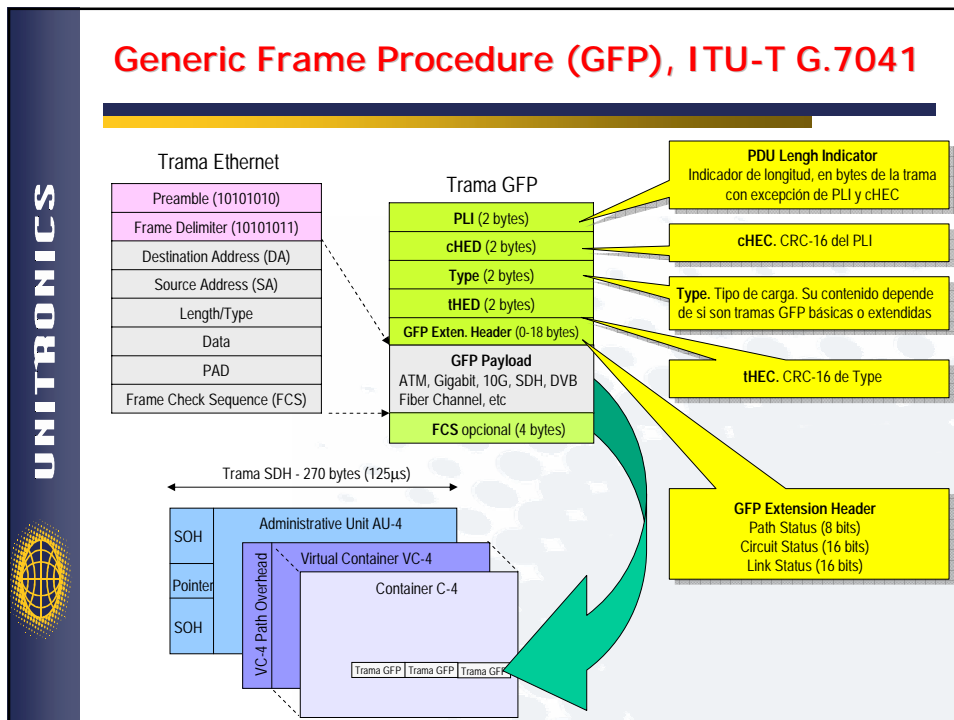
Encapsulación Objetivos y Aportaciones

- Unificar una estructura de datos
 - Las redes ópticas permiten transportar numerosos canales ópticos
 - Amplia variedad de tráficos. Cada uno con su velocidad, formato de trama, FEC, etc.
- Habilitar funciones de OA&M para cada canal óptico:
 - Monitorización, Alarmas, Restauración canal, etc.
- Opciones:
 - Digital Wrapper, recomendación G.709
 - Generic Frame Procedure (GFP), ITU-T G.7041
 - LAPS

Digital Wrapper – G.709



Generic Frame Procedure (GFP), ITU-T G.7041





Agenda

- Transporte Óptico
 - Retos y Tendencias
 - Atributos
- Topologías y Componentes
 - Transpondedor óptico
 - Mux/Demux
 - Amplificación
 - AODM
 - Conmutador Óptico
 - Encapsulación
- Plano de Control y Señalización
 - GMPLS
 - Link Management Protocol
 - UNI y E-NNI
 - ASON



La importancia de un Plano de Control y de Señalización

- Descubrimiento de nodos adyacentes, e intercambio entre ellos de información sobre atributos del enlace: estado, nº canales, etc
- Difusión entre todos los miembros de la red de los recursos disponibles y su estado
- A partir de la información anterior, cada nodo es capaz tener una visión de la topológica de la red, incluyendo los posibles trayectos
- Mecanismo de señalización para el establecimiento y liberación dinámica de trayectos a través de la red
- Sobre la topología de red, se dispone de mecanismos y estrategias a seguir para la protección y restauración de trayectos
- Idealmente, el plano de control y la señalización deben abstraerse del plano de datos, es decir, de la tecnología de conmutación empleada: paquetes IP, celdas ATM o tramas Frame Relay o Ethernet, etc.



... y en las Redes Ópticas?

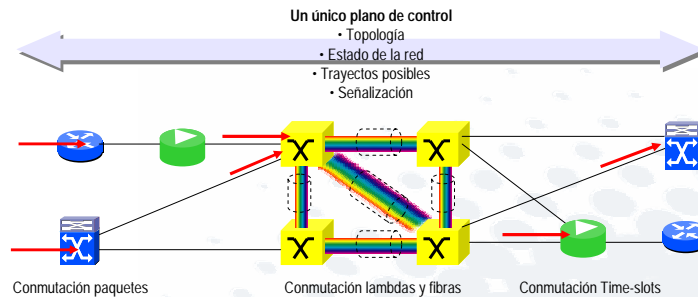
- En la mayor parte de las redes ópticas la provisión de trayectos o rutas se realiza a través de un sistema de gestión centralizado
- Las tareas de provisioning de un trayecto pueden llevar horas e incluso días
- A nivel lógico, los mecanismos de recuperación, se articulan en torno al conocimiento de la red centralizado en bases de datos TMN
- Diferentes planos de gestión: IP, ATM, TDM, SDH y xWDM



Objetivos, iniciativas y aportaciones

- Desarrollo y estandarización de un plano de control en redes ópticas para:
 - Descubrimiento de nodos vecinos
 - Intercambio de información entre nodos
 - Conocimiento topológico de la red
 - Protección y restauración a nivel red
- Establecer un mecanismo de señalización para la solicitud y liberación de un trayecto
- Iniciativas y aportaciones:
 - IETF
 - Tecnología GMPLS y el protocolo LMP
 - OIF (Optical Internetworking Forum):
 - Protocolos UNI y E-NNI
 - ITU-T
 - Modelo de Referencia ASON (G.8080)

GMPLS – Generalized MPLS - RFC 3471



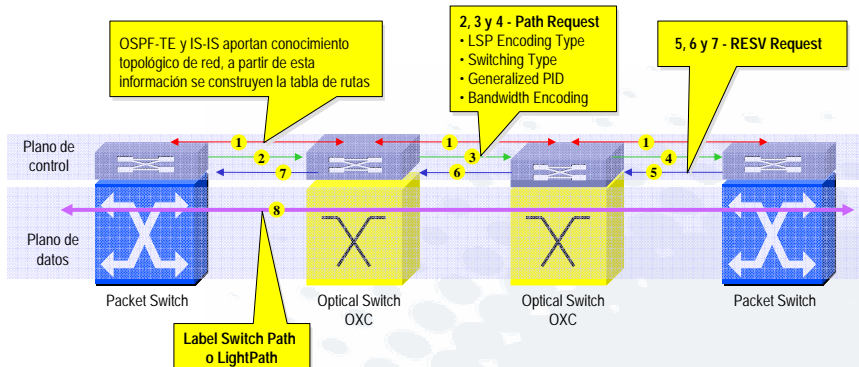
- Extiende los conceptos de MPLS a redes TDM/SDH y Ópticas
 - Plano de control basado en IP: empleo de protocolos de routing OSPF-TE y IS-IS
 - Capacidades de señalización para el establecimiento de LSP a través de RSVP-TE (RFC 3473) y CR-LDP (RFC 3472)
 - Intercambio de información entre nodos mediante LMP
- MPLS puede considerarse como un subconjunto dentro de GMPLS

Generalized Labels

- **Generalized Labels.** Extensión del modelo tradicional de etiquetas MPLS para, a través de ellas, poder identificar:
 - Una fibra completa
 - Longitud de onda
 - Grupo de longitudes de onda
 - Timeslot

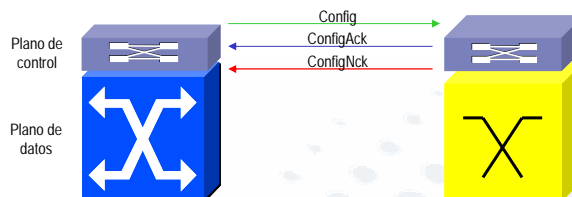
! El intercambio de etiquetas en GMPLS de hace fuera de banda
! En RSVP se introduce el objeto Generalized Label. Mientras que en CR-LDP se añade Generalized Label TLV
- **Generalized Label Request.** La solicitud de un LSP se acompaña de nueva información
 - **LSP Encoding Type** indica la naturaleza del LSP: Paquete, Ethernet, Digital Wrapper, SDH, FiberChannel, Lambda y Fibra entre otros
 - **Switching Type** o modalidad de conmutación solicitada en un enlace: Paquete, layer-2, TDM, Lambda y Fibra
 - **Generalized PID** para identificar 47 tipos de payload dentro LSP: E1, Ethernet, ATM, POS y Fiberchannel entre otros
 - **Bandwidth Encoding** indica el ancho de banda que precisa el LSP. Para simplificar están codificadas velocidades de diferentes jerarquías, desde DS0 (64Kbps) hasta STM-256 (40Gbps)

Establecimiento de un LSP



- En Path Request es posible sugerir ciertas etiquetas, por ejemplo indicando el uso de una determinada lambda
- En el mensaje RESV se puede forzar el uso de una determinada lambda
- En GMPLS define el establecimiento de LPS bidireccionales
- Es posible especificar el grado de protección que tendrá un LSP
 - Unprotected, Dedicated 1+1, Enhanced, Dedicated 1:1, Shared, Extra Traffic

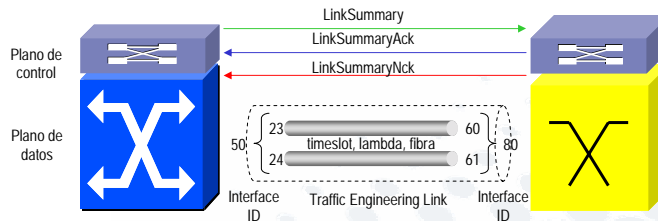
Link Management Protocol (LMP)



- LMP opera entre nodos adyacentes
- Además de las siguientes funciones, LMP puede emplearse para el intercambio de etiquetas y distribución de topología
 - Control Channel Management
 - Negociación, establecimiento y mantenimiento del enlace entre nodos adyacentes.
 - Cada mensaje puede describir diferentes objetos y parámetros
 - Mensajes: Hello, Config, ConfigAck, ConfigNck
 - Link Verification
 - Verificación de la conexión entre nodos
 - Mensajes: BeginVerify, BeginVerifyAck, BeginVerifyNck, TestStatusFail, TestStatusSuccess, TestStatusAck, EndVerify y EndVerifyAck



Link Management Protocol (LMP)



- Link Property Correlation
 - Intercambio de identificadores (ID) para cada interface
 - Info sobre la agregación de varios enlaces (timeslots, lambdas o fibras) dentro de un único link con TE
- Fault Management
 - Localización de fallos a nivel 1, es decir en conmutadores que no tienen capacidades L2, por ejemplo conmutadores de fibra de fibra (PXC)
 - En el proceso de detección y localización pueden participar varios conmutadores presentes en un trayecto
 - Mensajes: ChannelFail, ChannelFailAck, ChannelFailNck, ChannelActive
- Authentication
 - Negociación del uso de MD5 como algoritmo de autenticación de los mensajes LMP

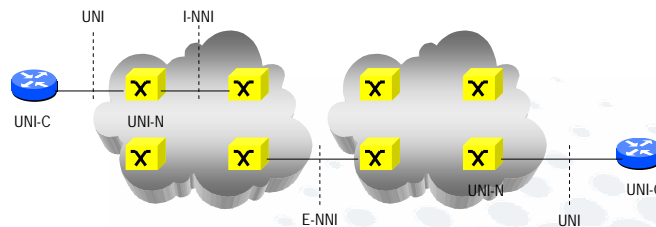


UNI y E-NNI

- En GMPLS, tal y como se recoge en RFC 3741, la relación existente entre los nodos es Peer-to-peer.
 - ↑ No existen diferencias jerárquicas entre nodos. Todos tienen el mismo conocimiento de la red
 - ↑ Este modelo simplifica el establecimiento de LSP extremo a extremo
 - ↑ La existencia de un único plano de control facilita la restauración de un trayecto
 - ↓ Presenta ciertas complejidades por la necesidad de integrar a cualquier dispositivo bajo el mismo plano de control
 - ↓ La propagación de la información de estado y control a lo largo de toda la red consume más recursos
 - ↓ Su concepción no se adapta a la estructura establecida por el ITU para una red de transporte de operador donde, entre otras cosas, es preciso separar la red de transporte de la red de usuario
- El OIF (Optical Internetworking Forum), inspirándose en las recomendaciones del ITU y añadiendo ciertas extensiones a los protocolos del IETF para GMPLS, ha desarrollado las especificaciones:
 - UNI – User-to-Network Interface
 - E-NNI – External Network-to-Network Interface



User-to-Network Interface External Network-to-Network Interface



- UNI. Interfaz estandarizado entre la red de transporte y el cliente.
 - Separa totalmente la red del operador del usuario. Aspectos como la topología, direccionamiento, recursos y señalización permanecen opacos al cliente
 - A través de este interfaz el cliente podrá conocer los servicios disponibles e iniciar una conexión solicitando un determinado ancho de banda, clase de servicio, etc
 - La especificación del OIF añade ciertas extensiones a LMP para el descubrimiento de nodos y servicios disponibles, y a LDP y RSVP para la señalización
- E-NNI. Interfaz estandarizado entre dominios
 - Separación de dominios y establecimiento de áreas de routing
 - Cada área de routing puede contener subáreas (jerarquías de routing)
 - Interoperabilidad entre áreas de routing adyacentes

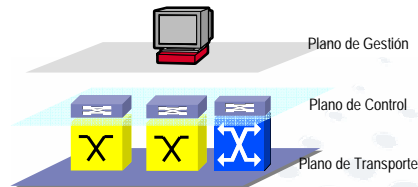


Automatic Switched Optical Network ASON – ITU.T G.8080

- ASON es un modelo de referencia que describe la arquitectura y los requisitos que debe satisfacer una red de transporte Óptica de *conmutación automática*
- Frente al modelo tradicional de red de transporte, el termino «conmutación automática» se refiere:
 - Capacidad para introducir nuevos servicios, por ejemplo:
 - Ancho de banda bajo demanda
 - Redes privadas virtuales ópticas
 - Capacidad de enrutamiento dinámico
 - Plano de control distribuido Vs centralizado basado en TMN
 - Restauración eficiente de servicios
- En ASON no se definen nuevos protocolos. Se contempla el uso de GMPLS, las especificaciones UNI y E-NNI del OIF además de otros trabajos del ITU
- ASON es también conocida como G.ASON



Modelo de Referencia ASON

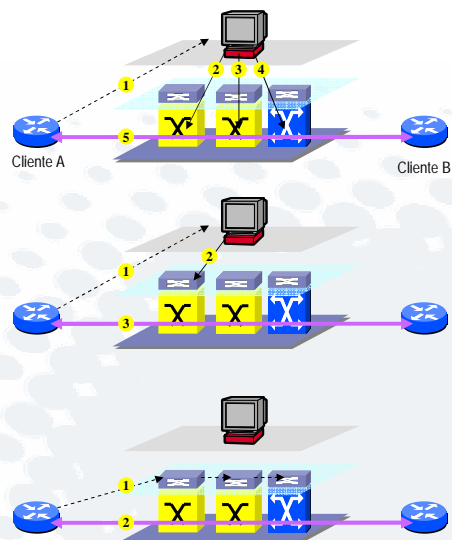


- Definición de tres planos:
 - **Control.** Topología de la red, gestión de recursos de red, protección y recuperación, señalización para establecimiento, supervisión, mantenimiento y liberación de servicios
 - **Gestión.** Supervisión, configuración, seguridad y facturación
 - **Transporte.** Transferencia de información entre usuarios
- Interfaces en el plano de control:
 - UNI del OIF
 - I-NNI según GMPLS
 - E-NNI del OIF



Servicios de conexión en ASON

- **PC (Permanent Connection).** El cliente A solicita un servicio de conexión a través del plano de gestión. A continuación, desde el plano de gestión, se actúa sobre el plano de transporte para configurar en cada conmutador implicado en la ruta el establecimiento de una cross-conexión (modelo tradicional)
- **SPC (Soft Permanent Connection).** A través del plano de gestión el cliente solicita un servicio. Desde el plano de gestión se traslada al plano de control la configuración de la conexión. De manera autónoma el plano de control decide la ruta.
- **SC (Switched Connection).** A través del interfaz UNI, el cliente solicita un servicio de conexión al plano de control.





Conclusiones

- Hoy, las redes de naturaleza óptica aportan:
 - Aprovechamiento de las fibras existentes unido a un notable incremento de la capacidad
 - Integración de servicios tradicionales junto con servicios de última generación
 - Desarrollo de topologías punto a punto, anillos y mallas
 - Capacidades de protección y recuperación comparables a las ofrecidas en SDH
 - Unificación desde la perspectiva tecnológica, y convergencia entre organismos estandarizadores... y fabricantes
- Mañana la próxima frontera será la Internet Óptica:
 - All-Optical Label Swapping (AOLS)[1]
 - Routers y conmutadores ópticos con capacidad de leer, borrar y re-escribir el contenido de una etiqueta en el dominio óptico
 - La latencia de estos dispositivos será inferior a 1ns
 - El reto actual es la fabricación y miniaturización de nuevos componentes: buffers ópticos, puertas lógicas ópticas, etc.

[1] Blumenthal, Daniel J., Routing Packets with Light, Scientific American (Jan. 2001)
All-Optical Label Swapping for the Future Internet (Mar. 2002)

Gracias por su Atención

