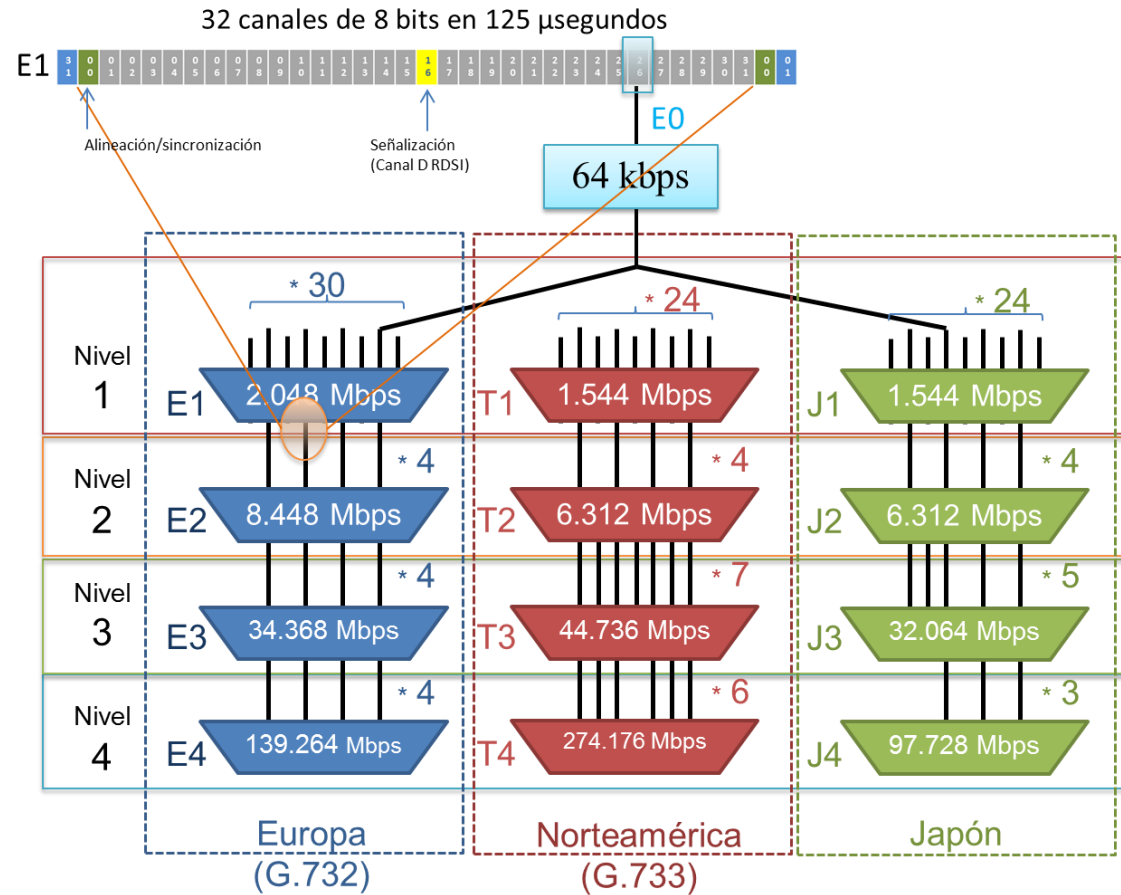


Tema 3 – Redes de Capa Física (SONET/SDH, WDM, GMPLS, ETH)

Alberto E. García
Grupo de Ingeniería Telemática
agarciaae@unican.es

PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)

- Basado en TDM para la multiplexación de circuitos digitales de VOZ



T1 ≈ DS1
T2 ≈ DS2
T3 ≈ DS3
T4 ≈ DS4

PDH: (???)

■ Inconvenientes

- Incompatibilidad E/T/J
- Sin soporte de FO
- Capacidades suficientes para voz, pero no para datos
- La sincronización penaliza con overheads adicionales y crecientes y la imposibilidad de multiplexar niveles disjuntos
- No provee funciones OAM

■ Soluciones

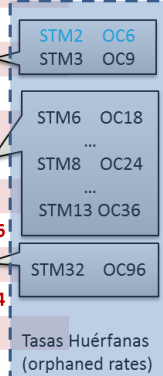
- Compatibilizar al menos los sistemas
- Dar soporte óptico
- Proveer capacidades en el orden de Gbps
- Sincronización universal
- Proveer al menos funciones de gestión y recuperación de errores

SONET/SDH

PDH al mundo óptico

- SONET (ANSI) – Synchronous Optical NETwork
 - T3 es la unidad fundamental
- SDH (ITU-T) – Synchronous Digital Hierarchy
 - E4 es la unidad fundamental
 - Trama básica acordada: **STM-1 ≈ STS-3/OC-3**

Señal eléctrica	Portadora óptica	Velocidad binaria (Mbit/s)	Equivalencia SDH	
STS2 OC2 103,68	STS-1	OC-1	51,84	STM-0
STS4 OC4 207,36	STS-3	OC-3	155,52	STM-1
STS5 OC5 259,2	STS-9	OC-9	466,56	-
STS6 OC6 311,04	STS-12	OC-12	622,08	STM-4
STS7 OC7 362,88	STS-18	OC-18	933,12	-
STS8 OC8 414,72	STS-24	OC-24	1244,16	-
	STS-36	OC-36	1866,24	-
	STS-48	OC-48	2488,32	STM-16
	STS-96	OC-96	4976,64	-
	STS-192	OC-192	9953,28	STM-64
	STS-256	OC-256	13271,04	-
	STS-384	OC-384	19906,56	-
	STS-768	OC-768	39813,12	STM-256
	STS-1536	OC-1536	79626,24	-
	STS-3072	OC-3072	159252,48	-



Una trama STS-1:
90 columnas * 9 filas = 860 bytes

Una trama STS-N = N x 860 bytes

Una trama STM-1:
270 columnas * 9 filas = 2430 bytes

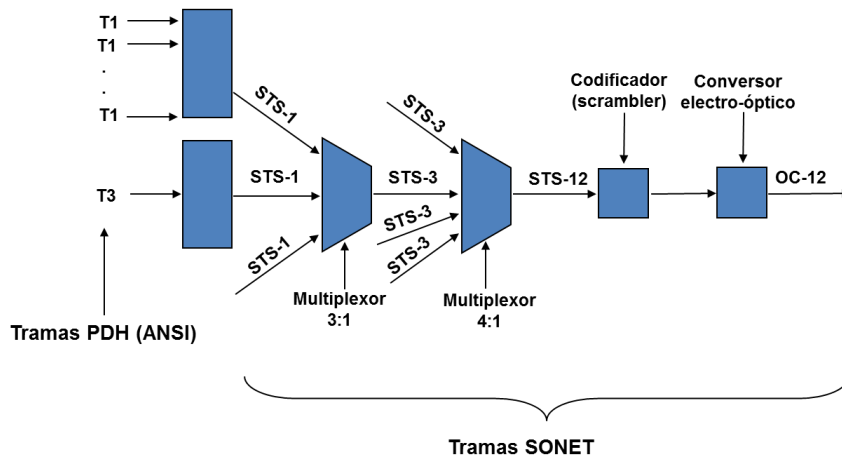
Una trama STM-M = M x 2430 bytes

Una trama **STM-M = STS-N** solo si N=3M

Filofías similares... y compatibles!

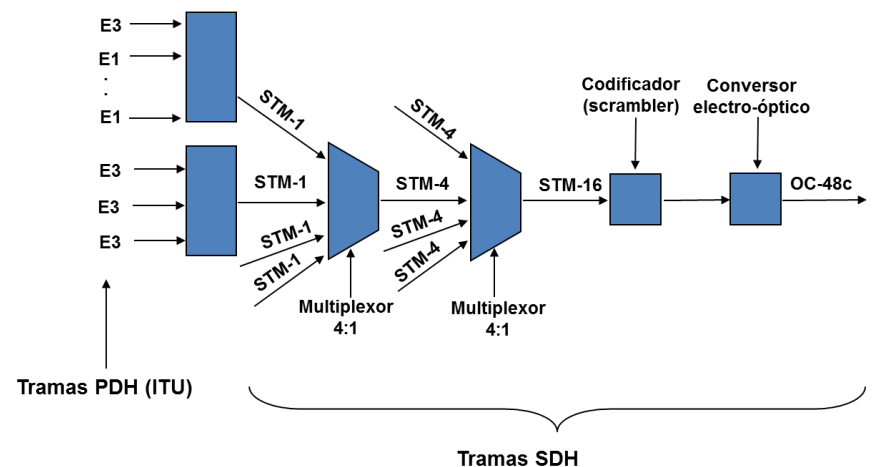
SONET

- No rompe con PDH
- Agregación de diferentes niveles



SDH

- Límites de agregación por nivel por debajo del máximo
- Agregación de diferentes niveles de trama



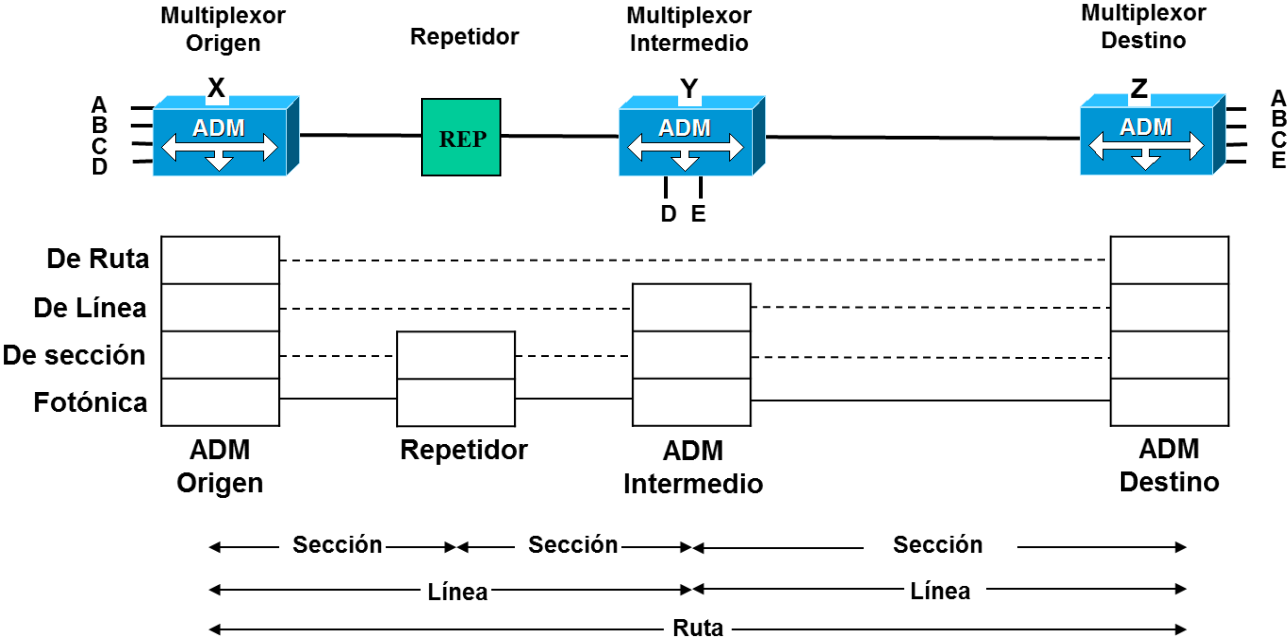
SONET/SDH: Arquitectura

▪ Capa física compuesta de cuatro subcapas:

- **Fotónica:** transmisión de la señal y las fibras
- **De sección:** interconexión de equipos contiguos
- **De línea:** mux/demux de circuitos entre ADMs
- **De rutas:** extremo a extremo

▪ Relación con tipos de enlace:

- **Sección:** unión directa entre dos equipos cualesquiera
- **Línea:** unión entre dos ADMs contiguos
- **Ruta:** unión entre dos equipos finales (end-to-end)



SONET/SDH: Arquitectura

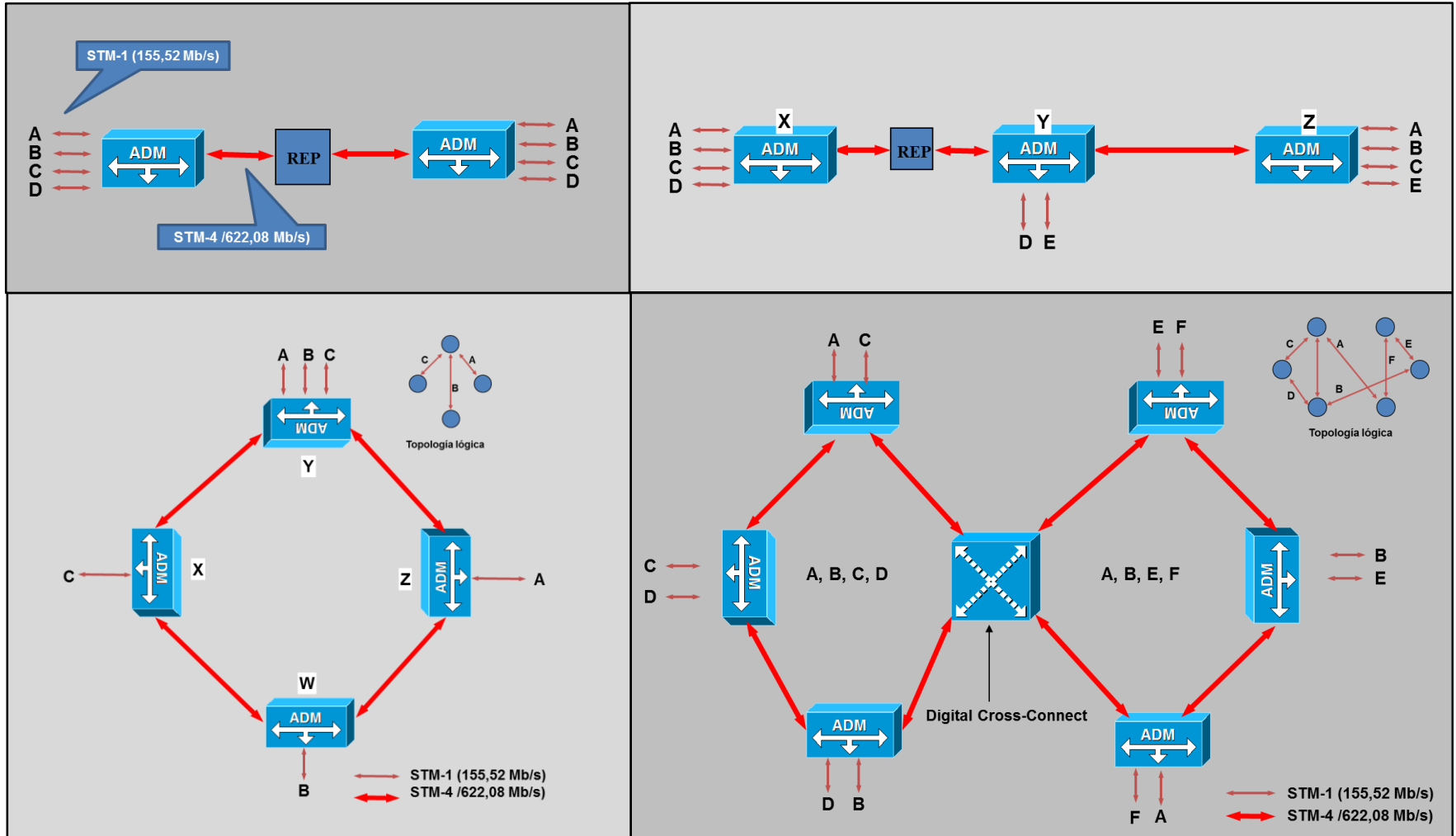
Dispositivos de interconexión

- **Repetidores**
 - Regeneran la señal óptica cuando la distancia supera el máximo permitido.
- **ADMs (Add-Drop Multiplexor)**
 - Multiplexores
 - Inyectan/extraen tramas de un nivel inferior en uno superior (ej. una STM-1 en una STM-4).
 - Soporte para anillos.
- **Digital Cross-Connect**
 - Similares a los ADMs
 - Interconexión de topologías complejas (ej. Interconexión de anillos).

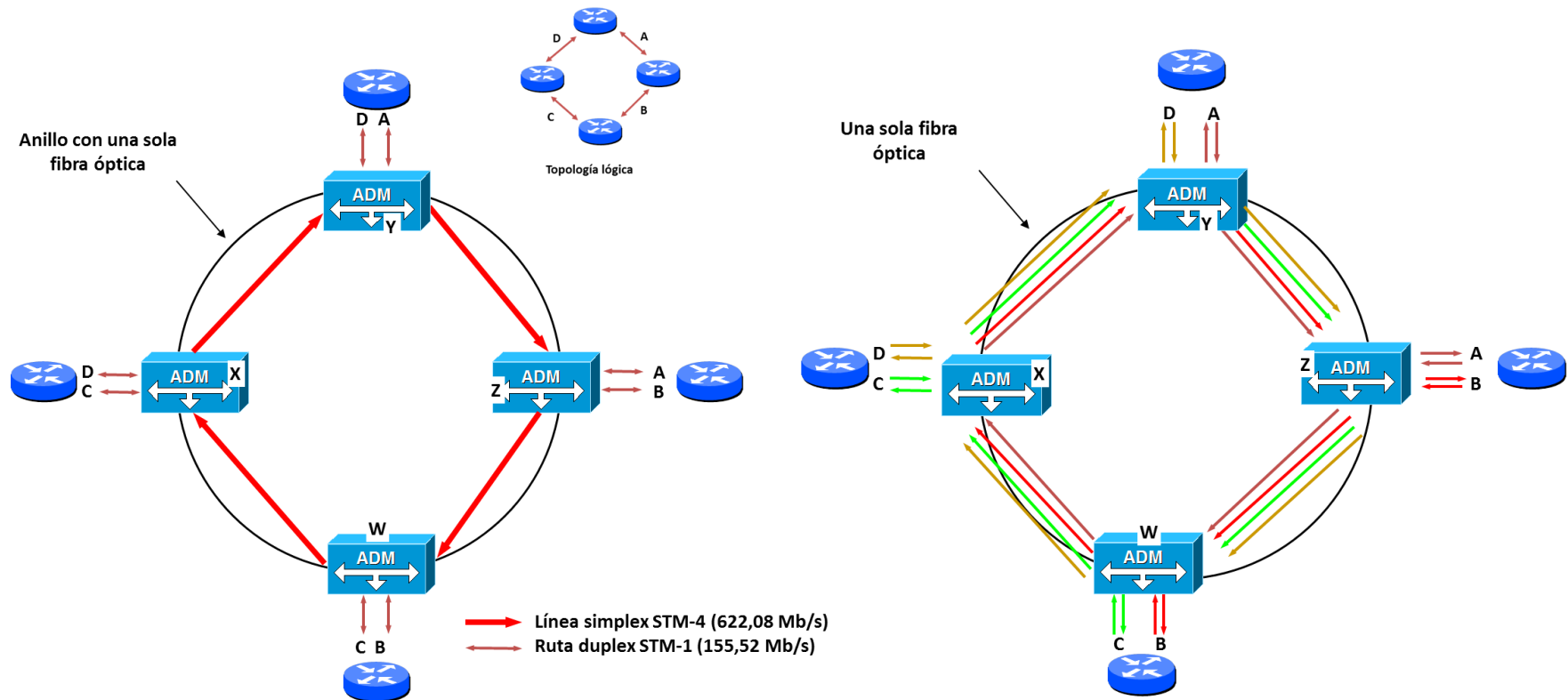
Topologías

- Punto a punto
 - todos los circuitos empiezan y terminan en el mismo equipo.
- Punto a multipunto
 - los circuitos empiezan o terminan en equipos diferentes.
- Anillo
 - Proveen redundancia de caminos
- Red mallada
 - Composición de una o varias de las topologías anteriores.

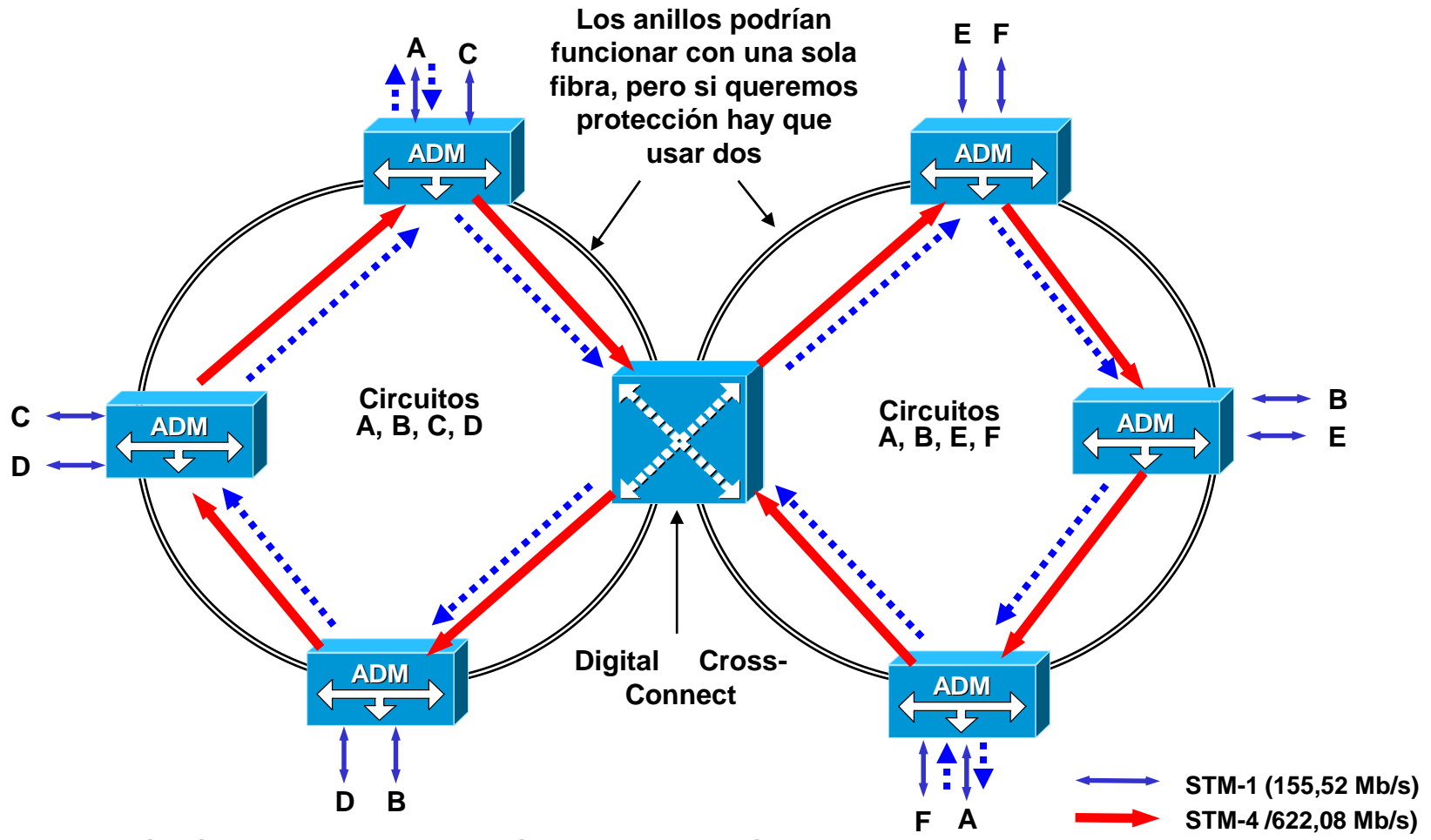
SONET/SDH: Ejemplos



SONET/SDH: La robustez del anillo

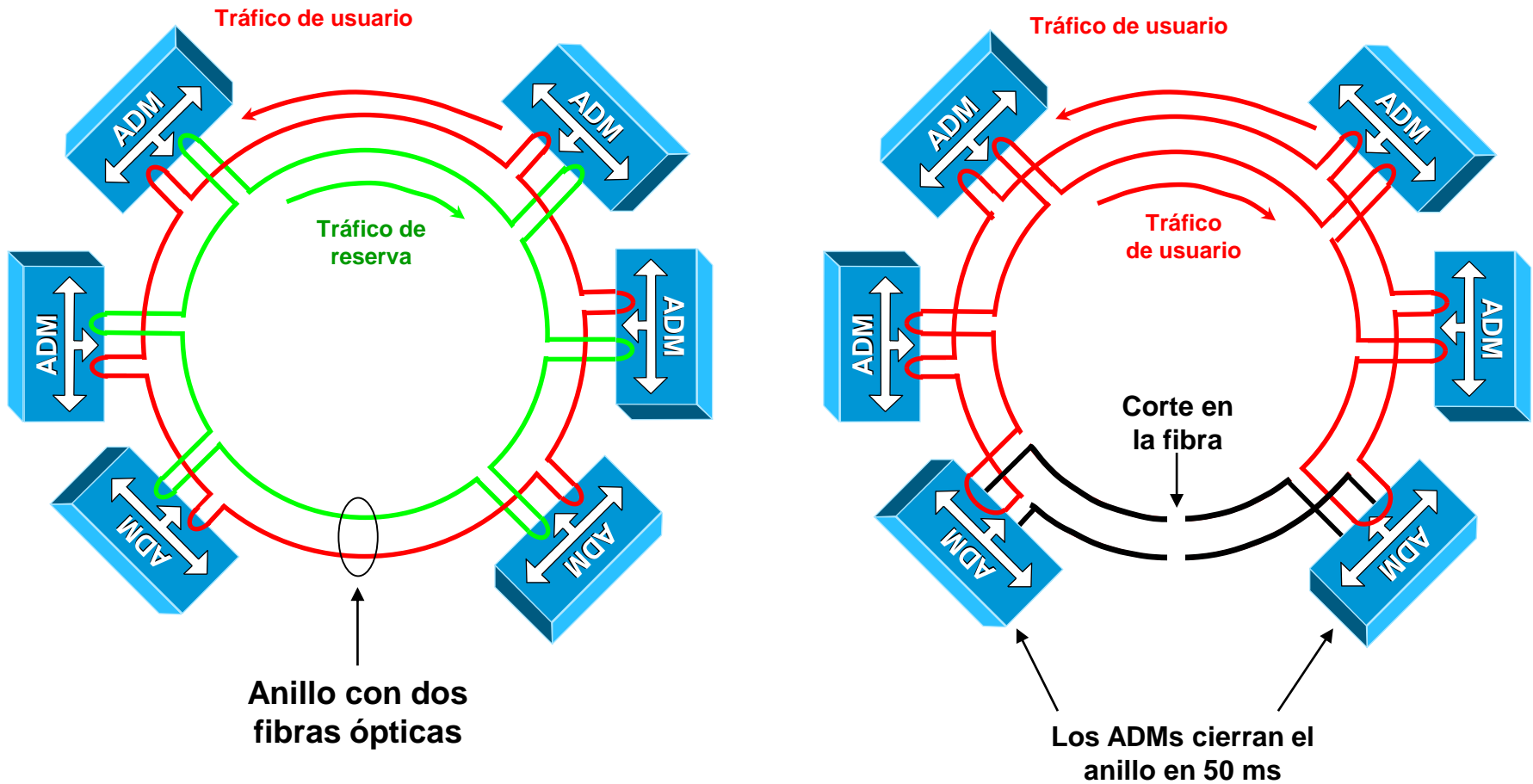


Con una sola fibra en el anillo se tiene comunicación full dúplex. Pero si la fibra se rompe todos los circuitos caen, la red no es resistente a fallos



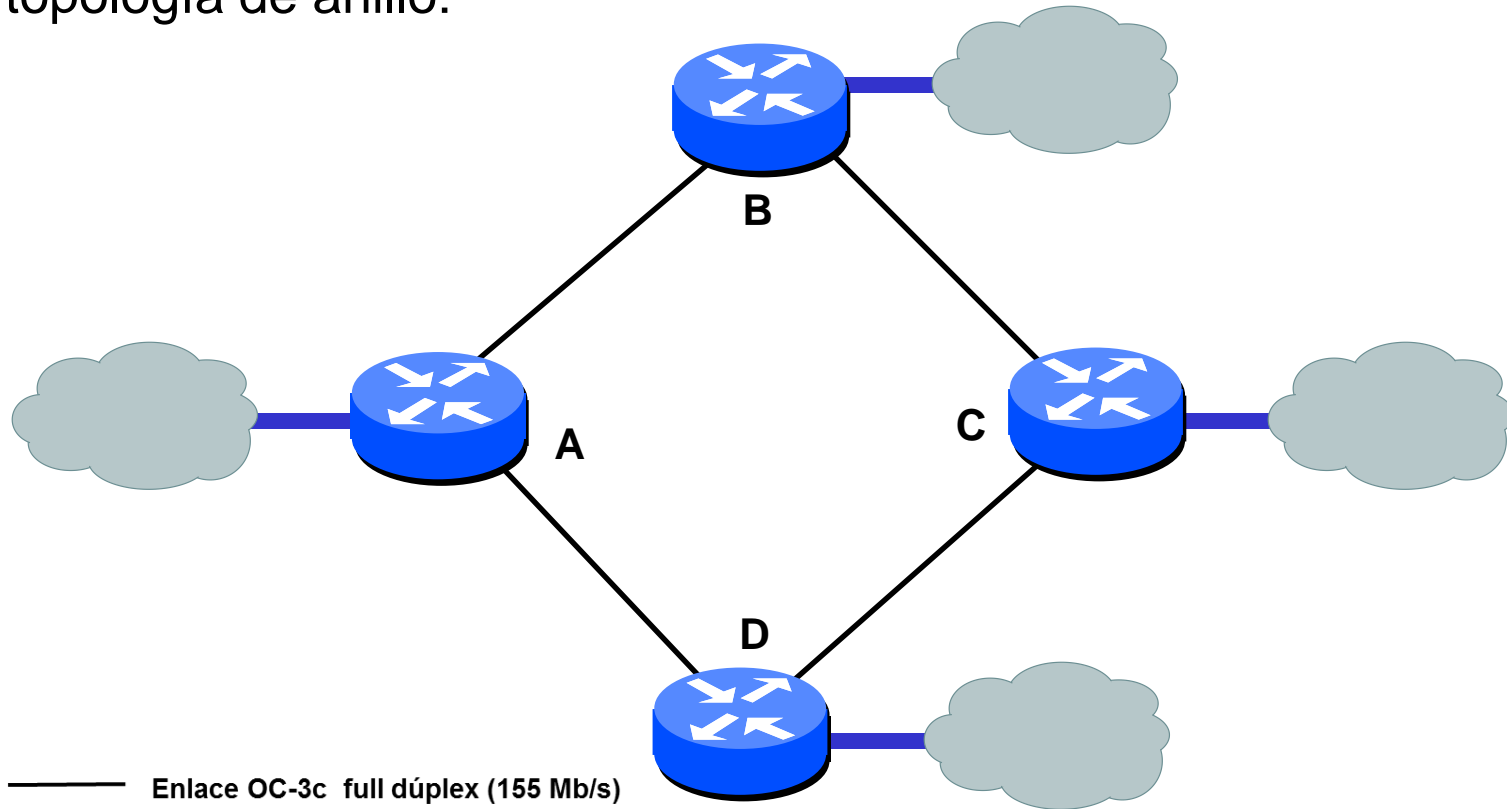
Los circuitos A y B ocupan capacidad en ambos anillos
 Con esta configuración ambos anillos están saturados

SONET/SDH: Ring Restoration



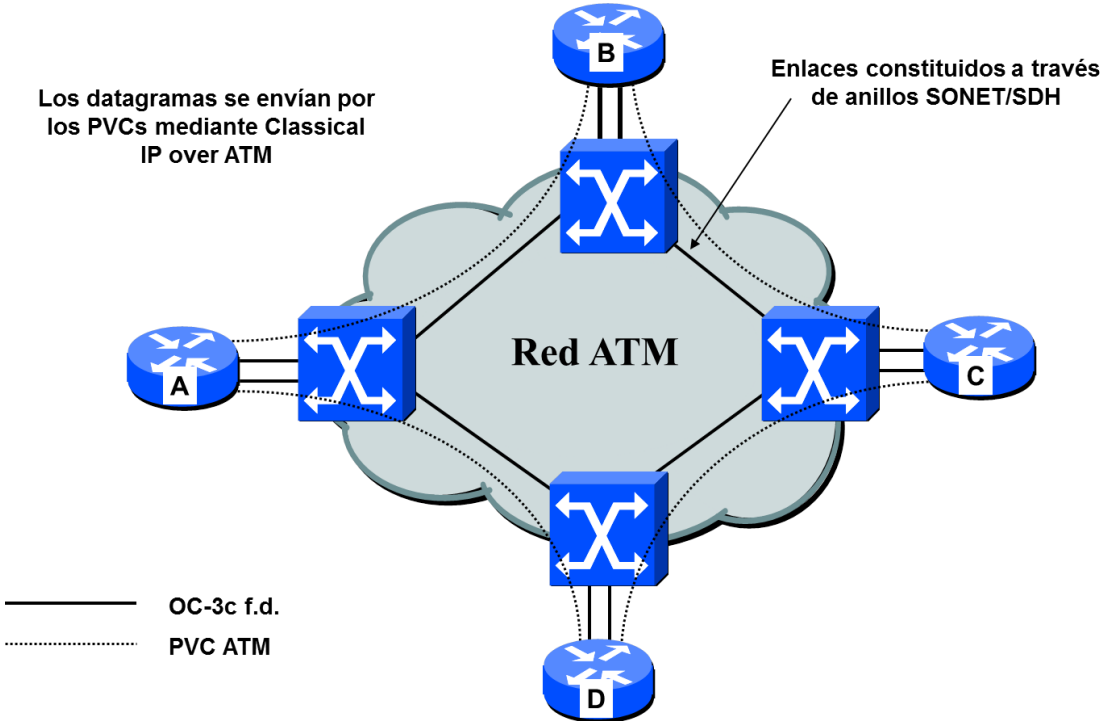
SONET/SDH: Caso práctico

Problema: Se quiere interconectar cuatro routers con una topología de anillo:

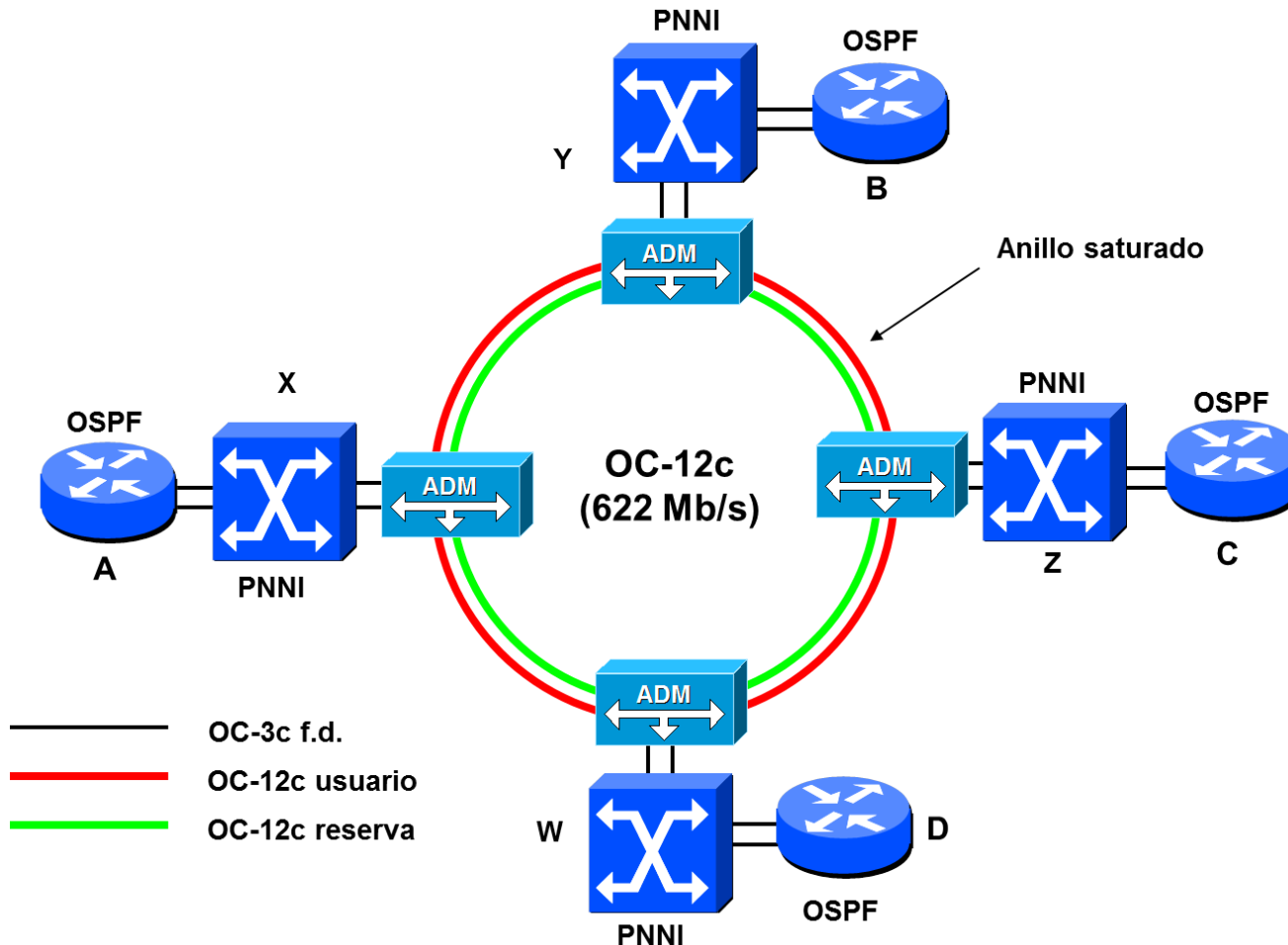


SONET/SDH Caso práctico: **Solución ATM**

- ATM y SONET/SDH siguen una trayectoria paralela durante los años 80
- En los 90 ATM era la forma habitual de transmitir datos en una red SONET/SDH
- Sin embargo ATM es costoso y poco eficiente

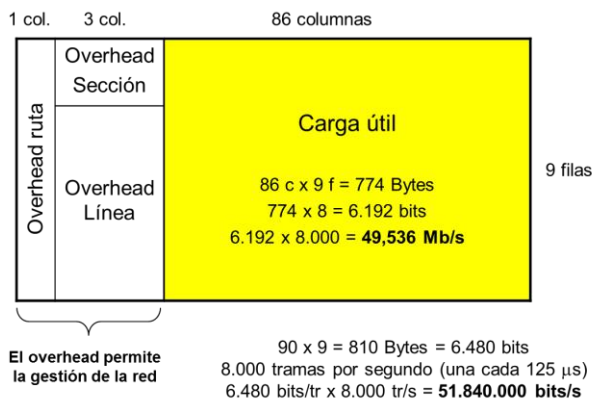


SONET/SDH Caso práctico: Realidad Física



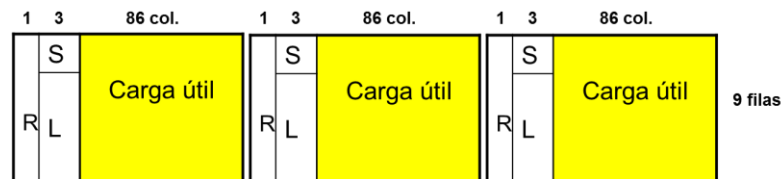
ATM over SONET/SDH: Haciendo números

Estructura de trama SONET STS-1 (OC-1)



Trama SONET STS-3 (OC-3)

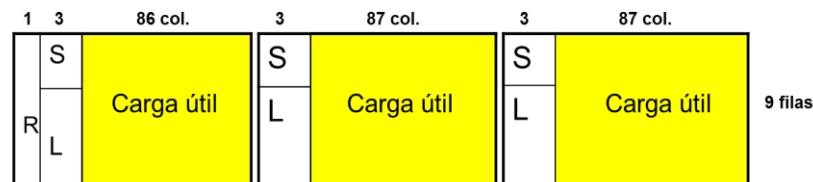
Formada por tres tramas STS-1:



Tamaño: $90 \times 9 \times 3 = 2430$ Bytes = 19440 bits
Caudal: $19440 \times 8000 = 155.520.000$ bits/s
Carga útil: $86 \times 9 \times 3 = 2322$ Bytes = 18576 bits
Caudal útil: $18576 \times 8000 = 148,608$ Mb/s

Trama SDH STM-1

Como la STS-3 pero la información de ruta sólo aparece en la primera (como tres vagones 'enganchados'):



Carga útil: $86+87+87 = 260 \rightarrow 260 \times 9 = 2340$ Bytes = 18720 bits
Caudal útil: $18720 \times 8000 = 149,76$ Mb/s

En SONET se ha definido la trama STS-3c (OC-3c) que es igual a la STM-1 (c = 'catenated'). También hay STS-12c, STS-48c, etc. que equivalen a STM-4, STM-16, etc.

CAUDAL REAL: 155.53

IP over ATM... over SONET/SDH

- El uso de ATM/AAL5 introduce un overhead medio del 15%
- 6% mas si hay control de flujo (ABR).
- El protocolo de señalización y de routing añaden más overhead
- Además del overhead está el costo del equipamiento ATM
- A velocidades muy elevadas (10 Gb/s) el uso de ATM no es viable, por el costo de las labores de segmentación y reensamblado

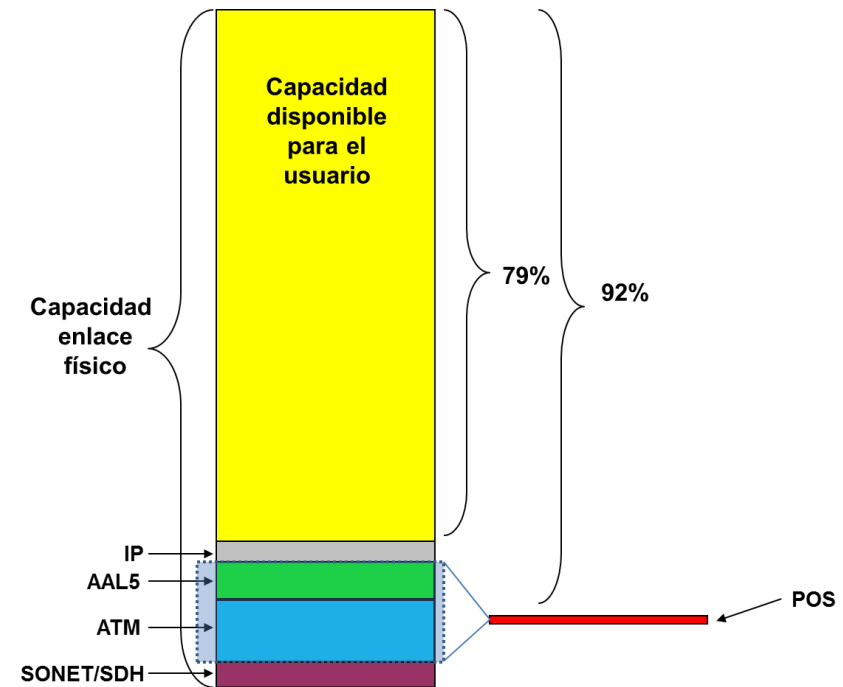
SDH	SONET	Caudal físico	Caudal ATM	Caudal AAL5	Caudal IP típico*
	OC-1	51,84	49,536	44,862	42,057
STM-1	OC-3c	155,52	149,76	135,63	127,15
STM-4	OC-12c	622,08	599,04	544,08	510,07
STM-16	OC-48c	2488,32	2396,16	2177,9	2041,7
STM-64	OC-192c	9953,28	9584,64	8713,2	8168,4

*Calculado para datagramas de 540 bytes (valor medio en Internet)

POS

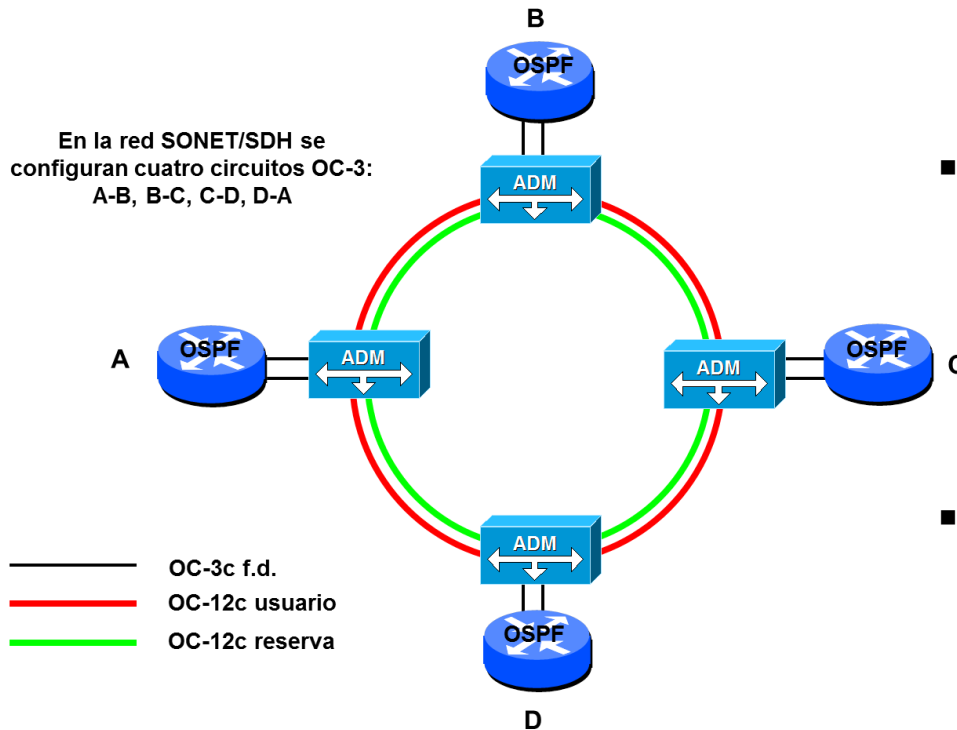
(Packet Over SONET, o PPP Over SONET)

- Packet Over Sonet o POS es una tecnología que apareció a finales de 1996 con el fin de hacer un uso más eficiente de los enlaces SONET/SDH
- Consiste en usar los enlaces como líneas punto a punto con PPP (Point to Point Protocol).
- El overhead se reduce al 3% (campos de control, CRC y relleno de bits)
- Mejora el rendimiento, reduce el equipamiento y los costes
- PPP over SONET/SDH está estandarizado en el RFC 2615 (6/99) y el RFC 1619 (5/1994) ya obsoleto
- Actualmente POS es de uso habitual en redes SONET/SDH de grandes ISPs (solo tráfico IP)



SONET/SDH Caso práctico: POS over SONET/SDH

En la red SONET/SDH se configuran cuatro circuitos OC-3: A-B, B-C, C-D, D-A



- Al suprimir la capa ATM se pierde capacidad de gestión y multiplexación.
 - No se pueden definir circuitos virtuales sobre los enlaces.
- En POS la multiplexación ha de hacerse con circuitos SONET/SDH.
 - Ej.; un enlace STM-4 se puede dividir en cuatro STM-1, tres para IP y uno para ATM.
- Interesa usar POS cuando:
 - Todo el tráfico es IP, o
 - La mayor parte del tráfico es IP y el que no lo es se puede encapsular en IP (Ej.: VoIP).

SONET/SDH para siempre...

- Ecosistema propio de la telefonía
- Problemas:
 - La comunicación no siempre va por el camino más corto
 - Hay un reparto estático de la capacidad entre circuitos
 - La fibra de reserva no se utiliza, pero ha de estar preparada con todo su equipamiento (optoelectrónica) por si falla la otra
 - La fiabilidad que incorpora el protocolo de routing (OSPF por ejemplo) es innecesaria al estar presentes las funciones de redundancia de SONET/SDH
- Solución: prescindir del equipamiento SONET/SDH

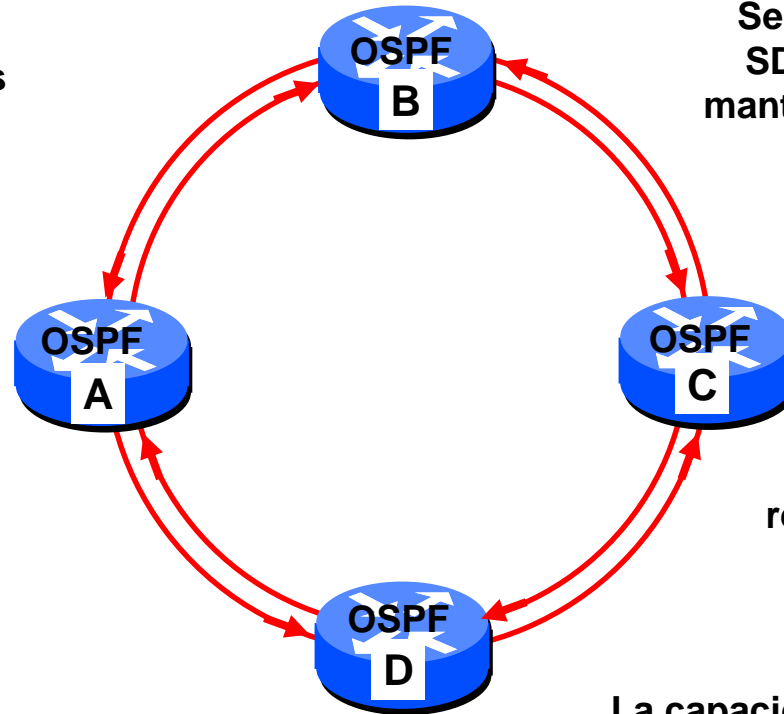
IP sin SONET/SDH

- La fiabilidad la da el protocolo de routing (OSPF por ejemplo). No hay recursos de reserva sin utilizar.
- El protocolo de routing elige siempre el camino más corto
- Se tiene mayor rendimiento (OC-12c) y menor coste (se suprime el equipamiento SONET/SDH)
- Aunque no hay ADMs se sigue utilizando la estructura de trama SONET/SDH
- También se puede utilizar Gigabit Ethernet (o 10 Gb Ethernet). Ofrece mayor velocidad y resulta aún más barato
- Problema: no se puede usar la red para otro tráfico (telefonía, por ejemplo)

Full IP (???)

Cada router dispone de un enlace f. d. con sus vecinos

Se suprime el equipamiento SDH (menor costo) pero se mantiene la estructura de trama



El tráfico discurre por el camino más corto (OSPF)

OSPF consigue redundancia (recupera en 6-10 segundos)

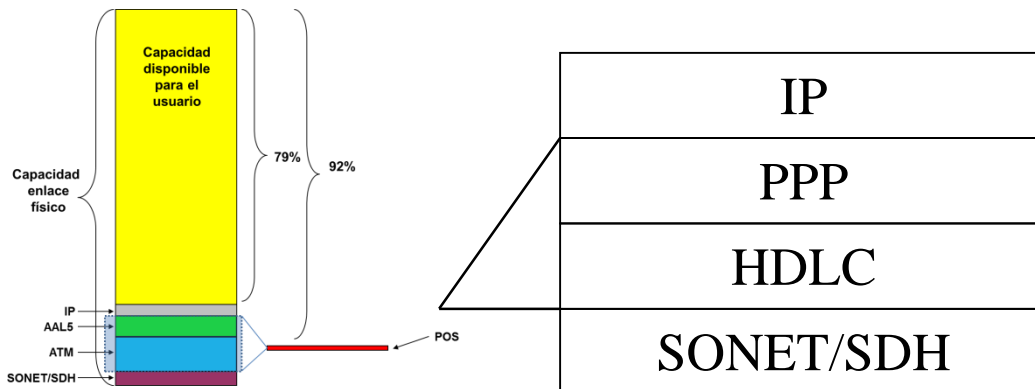
Los enlaces OC-3c se podrían sustituir por OC-12c o Gigabit Ethernet

La capacidad disponible se reparte dinámicamente en toda la red

— OC-3c

Packet over SONET

- Actualmente está definida en la RFC2615 (PPP over SONET) anterior RFC1619, ya obsoleta
- El enlace SONET/SDH puede proveer así un enlace punto a punto síncrono full-duplex orientado al byte
- PoS utiliza PPP sobre tramas HDLC para la provisión de un interfaz orientado al byte compatible con la infraestructura de SONET/SDH
- SONET/SDH referencia este mecanismo en la etiqueta C2 del POH
 - Indica PoS si C2=16 (C2=CF si no incluye el scambler)



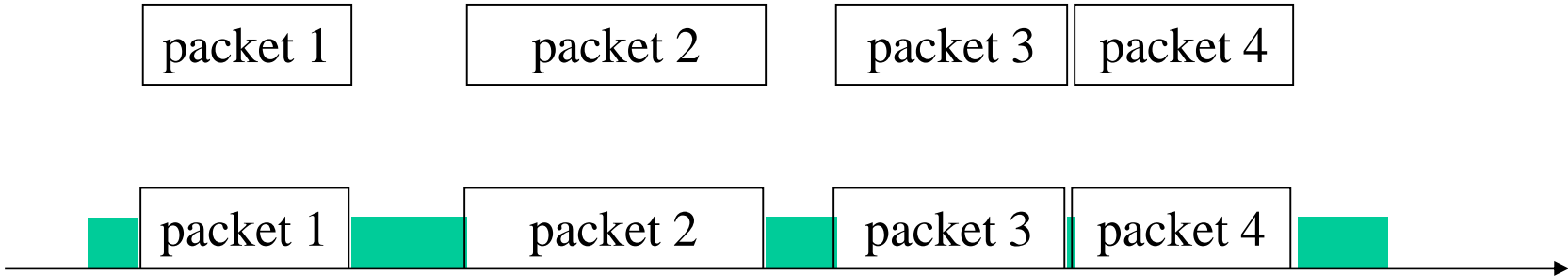
- Si IP está sobre Ethernet
- La trama Ethernet es eliminada
- La trama Ethernet debe ser restituida en el destino
- Requiere routers en los extremos (edges) de la red SONET/SDH

POS: Encapsulado

- El datagrama IP es encapsulado en PPP
 - La MTU por defecto es 1500 bytes
 - Puede negociarse hasta un máximo de 64,000 bytes a
 - El FCS es generado y añadido
- PPP se encapsula en tramas HDLC con “byte stuffing”
- Una vez en el SPE, la trama pasa por un scrambler de 43 bit y el stream resultante es alineado en octetos (ejm. 149.760 Mbps de STM-1)
 - Las trama HDLC pueden atravesar SPEs

POS: por pasos... Tramas a Stream

- Primer problema: Convertir secuencias de tramas Ethernet en flujo :
 - Ethernet consiste en tramas portando paquetes
 - TDM es una corriente continua de bits (bit-stream)
- Podemos convertir una secuencia de paquetes bit stream utilizando un "idle code"



- Por ejemplo, utilizamos una secuencia de 1s como indicador de idle
- Cuando aparezca un 0 significará que los datos vienen a continuación:

111111111111111111111111111111110 packet 1 011111111111111111111111111111110 packet 2 011111111111111111111111111111110 011111110 packet 3 011111111111111111111111

POS: por pasos...Streams y HDLC

Bit-stuffing (ECMA-40)

- Cada vez que el codificador ve 5 1s sucesivos se añade un 0
 - por tanto, nunca hay 6 1s sucesivos en los datos
- Cuando el decodificador ve 5 1s sucesivos:
 - Si el siguiente bit es un 0 se elimina
 - Si el siguiente bit es un 1, entonces esta es la bandera de cierre
- La longitud del flujo de bits ya no es necesariamente divisible por 8 ni predecible a priori, incrementándose hasta un 20%
- codificación / decodificación es fácil en HW, duro en SW

Byte-stuffing (RFC1549)

- Cada vez que el codificador ve 7E hex se reemplaza con 7D 5E
- Cada vez que el codificador ve 7D hex se reemplaza con 7D 5D
- Cuando el receptor ve xx 7D se reemplaza con el byte inicial (complementando sexto bit)
- Se genera un flujo de bits permanece orientado al byte
- La longitud puede incrementarse de 0 al 100%, pero un 1% como valor típico
- codificación / decodificación es fácil en SW

POS: por pasos... HDLC

- La trama HDLC está limitada por flags, y tiene la estructura:

flag (8)	address (0/8/16)	ctrl (8/16)	data	FCS (16/32)	flag (8)
----------	------------------	-------------	------	-------------	----------

- Existen múltiples variantes (SDLC, ISO, LAPB, LAPD, LAPF, LAPS, SS7, PPP-HDLC, Cisco-HDLC, etc)
- Direcciones:
 - Puede no existir direccionamiento (ejm. SS7 HDLC)
 - SDLC utiliza direcciones de 8 bits
 - ISO 3309 HDLC utiliza direcciones multibyte

SAPI	C/R	EA	EA
------	-----	----	----

- Service Access Point Identifier (MSB of SAPI =1 indica broadcast/multicast)
- EA=1 (8 bit address), EA=0 (extended address)
- C/R=1 para comandos, C/R=0 para respuestas
- hex FF es la dirección de broadcast

POS: por pasos...PPP (RFC1661)

- PPP es un método para transporte de datagramas entre pares sobre enlaces de datos punto a punto full-duplex (ejm.: cord, leased lines, dial-up modems)
- Puede ser utilizado para conectar equipos a routers y entre routers
- Consta de 3 componentes:
 - Método de encapsulación de datagramas multiprotocolo
 - Link Control Protocol para el establecimiento, configuración y prueba de las conexiones de datos
 - Network Control Protocol para el establecimiento y configuración de diferentes protocolos de capa de red
- Engloba varios protocolos: ML-PPP, PPPoE, BAP, BCP, IPCP, ...

protocol (8/16)	information	padding
-----------------	-------------	---------

- La encapsulación permite demultiplexar diferentes capas de red
- El campo Protocol, sigue las reglas del ISO 3309: Siempre impar, y si es de 16 bits, el LSB debe ser obligatoriamente 0.
- (<http://www.iana.org/assignments/ppp-numbers>)
- El relleno puede ser utilizado, por ejemplo, para completar cabeceras hasta los 32 bits

POS: por pasos... PPP y HDLC (RFC1662)

- En el caso de utilizar PPP sobre enlaces síncronos se utiliza el formato de trama de HDLC
- La dirección de broadcast de 1 byte es utilizada por defecto (configurable por el usuario)
- El enlace síncrono debe ser orientado al bit o al byte
 - Se permite bit-stuffing o byte-stuffing
- La encapsulación básica PPP es extendida a 8 bytes
- Provee mecanismos de escape, datos de control de transferencia transparente y eliminación de controles redundantes

flag	address	ctrl	protocol	information	padding	FCS	flag
7E	FF	03	(8/16b)		(optional)	(16/32b)	7E

POS: Limitaciones

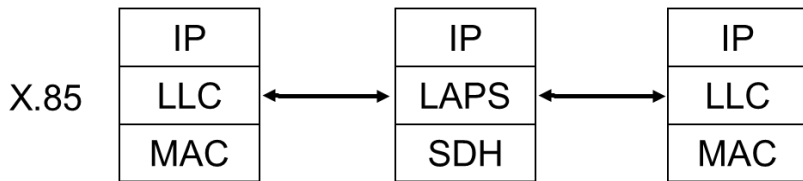
- PoS utiliza eficientemente el ancho de banda, pero este debe estar predeterminado
- HDLC expande el BW original, sin posibilidad de predicción
- La asignación de BW está fuertemente limitada por la capacidad de SONET / SDH
 - e.g. GbE necesitaría un OC-48 completo
- POS requiere eliminar las cabeceras Ethernet
- Por lo tanto, no se permite RPR, VLAN, 802.1p, multicasting, etc
- POS requiere de la participación de routers IP

Alternativa

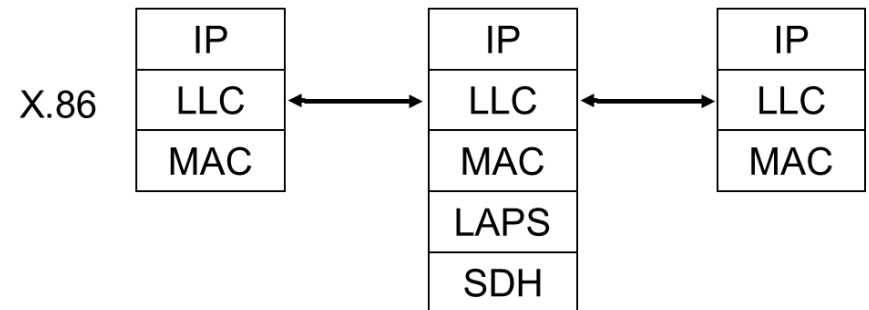
- En 2001 la UIT-T introdujo dos nuevos protocolos para el transporte de paquetes a través de SDH
 - IP X.85 sobre SDH utilizando LAPS
 - X.86 Ethernet sobre LAPS
- Construidos sobre una serie de protocolos basados en HDLC "Lapx" de la UIT
- Utiliza el formato ISO HDLC
- Implementa protocolos orientados a bytes sin conexión sobre SDH
- X.85 está muy cerca (pero no del todo) a PoS IETF

LAPS: Paquetes over SONET/SDH

- X.85 transporta paquetes IP
 - si se entrega a través de Ethernet, el Ethernet se termina



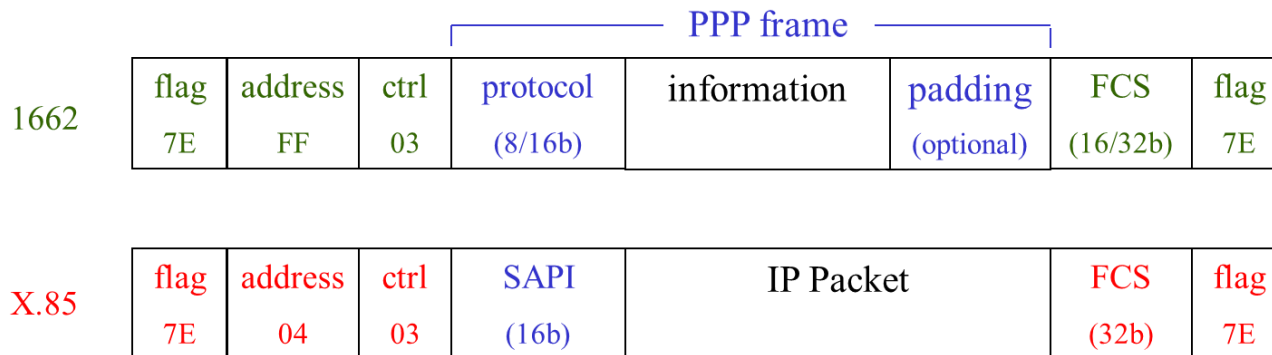
- X.86 transporta Ethernet
 - puede transportar todo tipo de tráfico Ethernet - no sólo los paquetes IP



LAPS: X85

flag	address	ctrl	SAPI	IP Packet	FCS	flag
7E	(16b)	03	(16b)		(32b)	7E

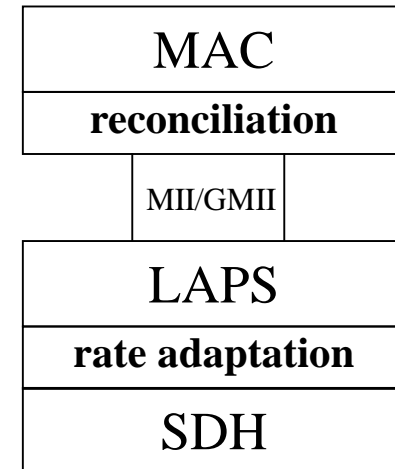
- IP over SDH con LAPS
- address = 04 (o FF por compatibilizar con PoS)
- SAPI = 21 para IPv4 =57 para IPv6 (cambiado para compatibilizar PoS)
- Siempre se utiliza Scrambler
- Puede utilizar LOP VCs, HOP VCs o STMs



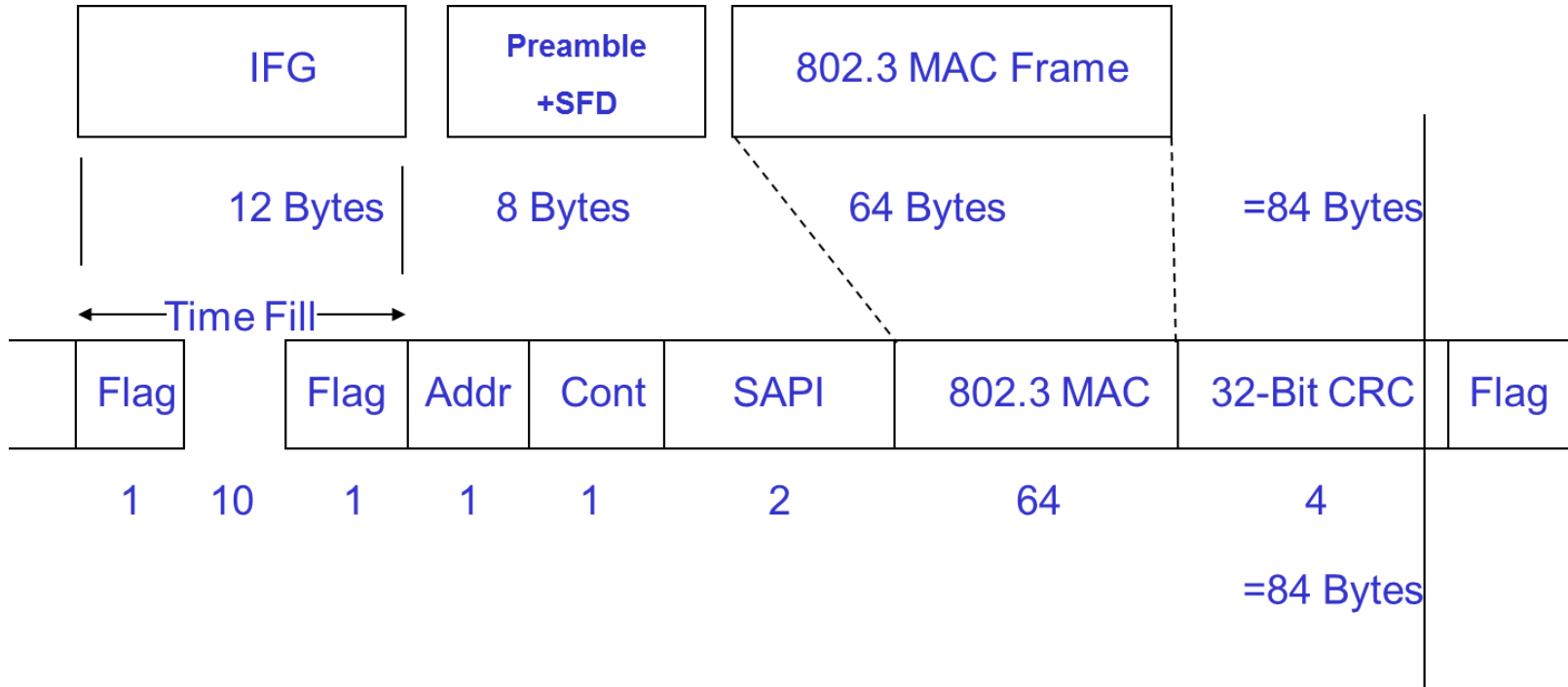
LAPS: X86

flag	address	ctrl	SAPI	Ethernet frame	FCS	flag
7E	(16b)	03	FE01	DA SA T/L INFO PAD FCS	(32b)	7E

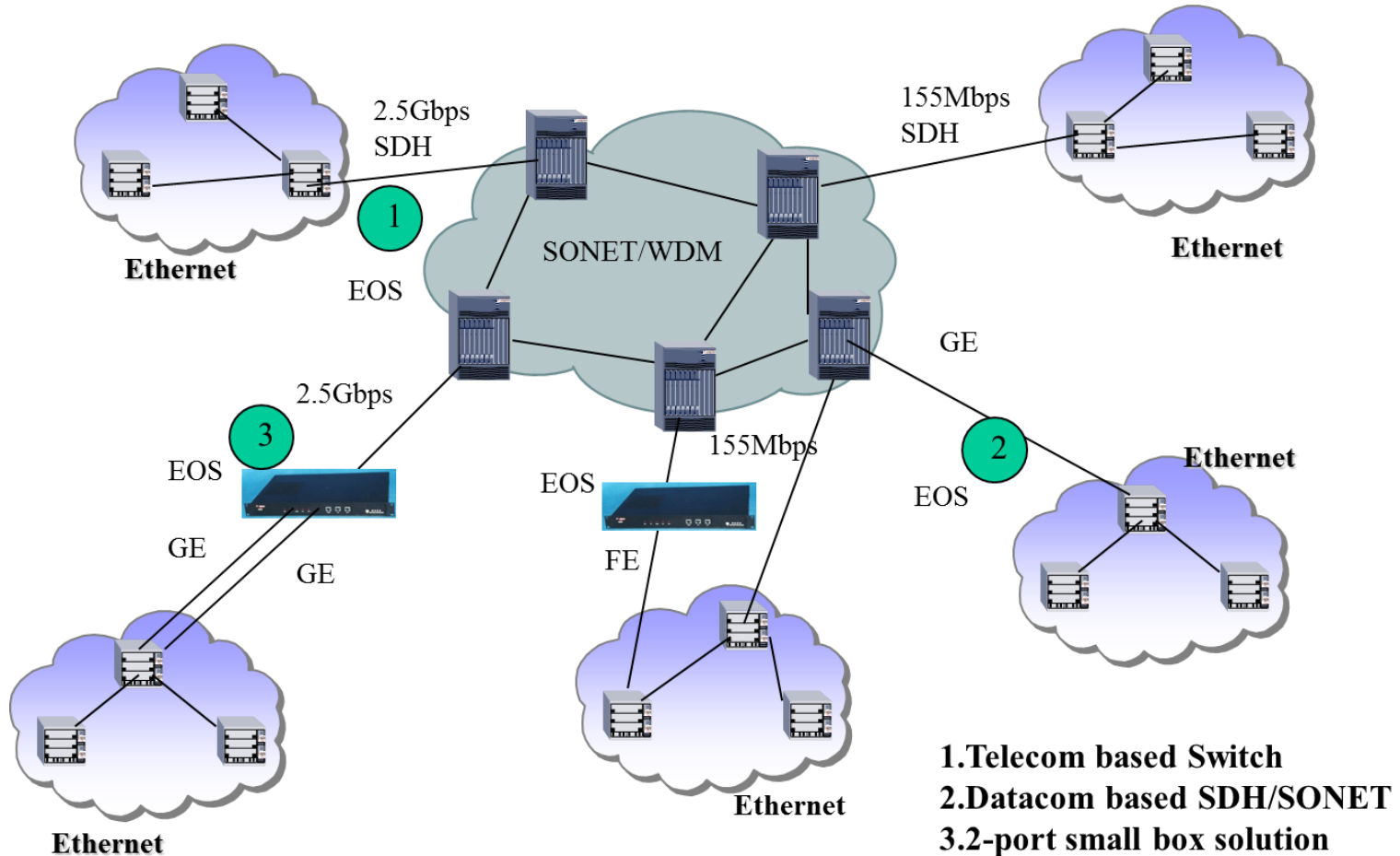
- Similar a X.85 (IP over SDH con LAPS) pero transportando la trama Ethernet completa
- Totalmente transparente a los servicios Ethernet (VLAN, P bits, RPR, etc.)
- Adaptación de velocidades añadiendo hex DD (después del byte stuffing 7D DD)
- Se contempla el uso de tramas PAUSE Ethernet para la reducción de velocidad



GE / LAPS



LAPS: Ethernet over SONET/SDH



ITU-T X.86

(Target at Ethernet over SDH/SONET)

Packet over SONET/SDH: GFP – General Framing Protocol

- Definido por ITU-T G.7041 (Y.1303), originalmente diseñado para solventar las limitaciones de ATM
- (como ATM) utiliza tramas HEC en vez de HDLC
- Generalmente encapsula protocolos cliente (ejm. IP, Ethernet) sobre redes de transporte (ejm. SONET/SDH, OTN)

Ethernet	IP	HDLC	other
GFP – client specific part			
GFP – common part			
PDH	SDH	OTN	other

- Los protocolos encapsulados pueden ser PDUs (Ethernet MAC, IP) o bloques (GbE, fiber channel)
- Las tramas GFP están alineadas al byte, de hasta 65,535 bytes con cabecera y payload
- Los silencios entre tramas GFP son rellenados con tramas de silencio GFP

GFP: Formato de trama

Cada trama GFP tiene 4-bytes de *core header*

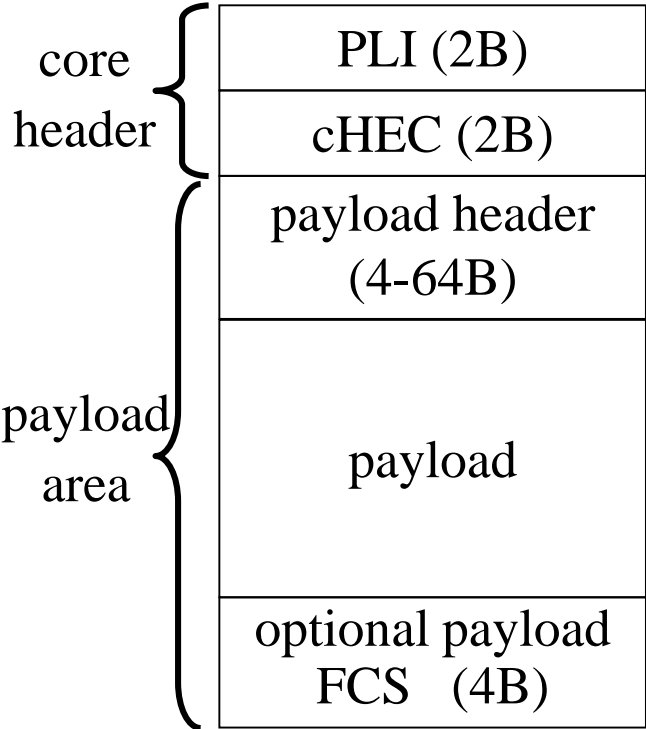
- 2 byte Payload Length Indicator
 - PLI = 0, 1,2,3 son tramas de control
- 2 byte core Header Error Control

Tramas GFP de Idle

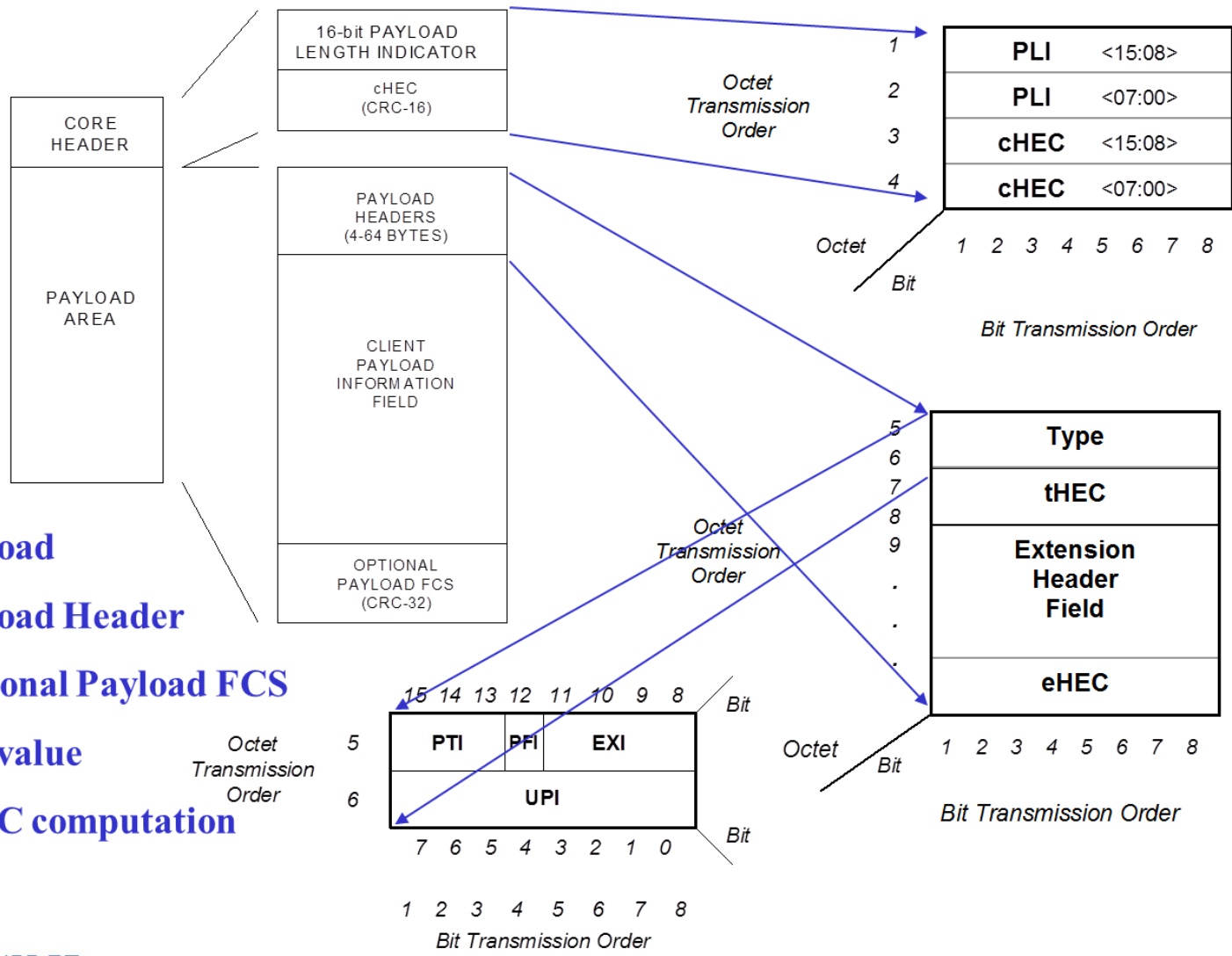
- PLI=0
- No hay área de payload

Resto de tramas GFP

- ≥ 4 bytes de payload
- El payload tiene su propia cabecera
- 2 modos de payload :
 - GFP-F (framed): Ideal para PDU ó HDLC... directo en el payload
 - GFP-T (transparent): 8B/10B - fiber channel, GbE, FICON, ESCON, DVB, etc
- Opcionalmente el payload puede protegerse con un CRC-32
- El payload pasa por el scrambled como en PoS



Understand GFP



- (1) Payload
- (2) Payload Header
- (3) Optional Payload FCS
- (4) PLI value
- (5) cHEC computation

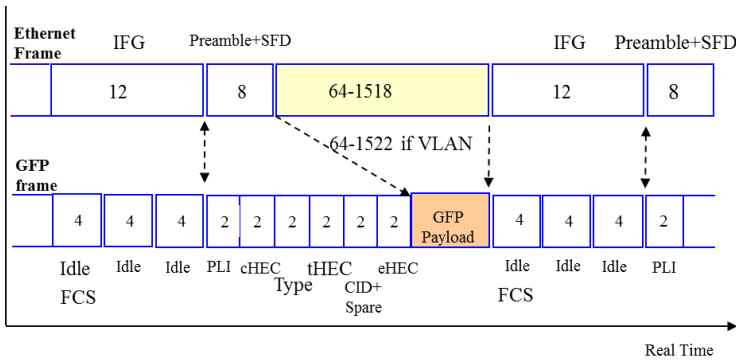
Las alternativas a POS

LAPS

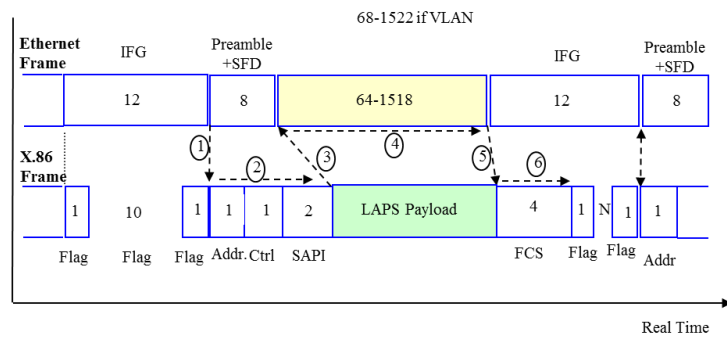
- Solo soporta IP o Ethernet
- Los errores de bit (ejm. En los flags) puede causar desalineación
- No siempre eficiente
- HDLC expande el BW
- HDLC no permite predeterminar el BW

GFP

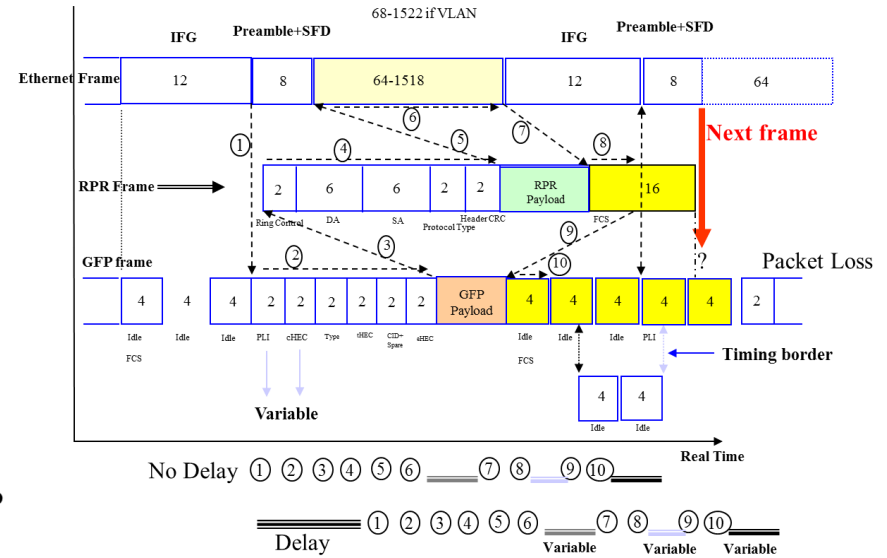
- Soporte para múltiples protocolos (no solo Ethernet e IP)
- Para Ethernet, GFP transporta transparentemente la trama entera
- Robusto – Los errores de bit no provocan la desalineación
- Overhead predecible
- Buena eficiencia (similar al mejor caso de LAPS)



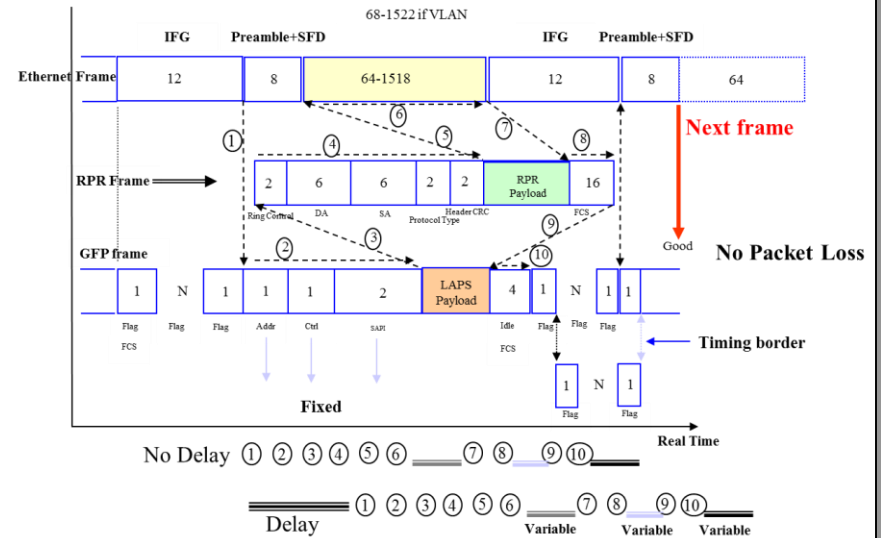
Case 1 - Octets Mapping of Ethernet using GFP



Case 2 - Octets Mapping of Ethernet using LAPS



Case 3 - Octets Mapping of Ethernet/RPR/GFP



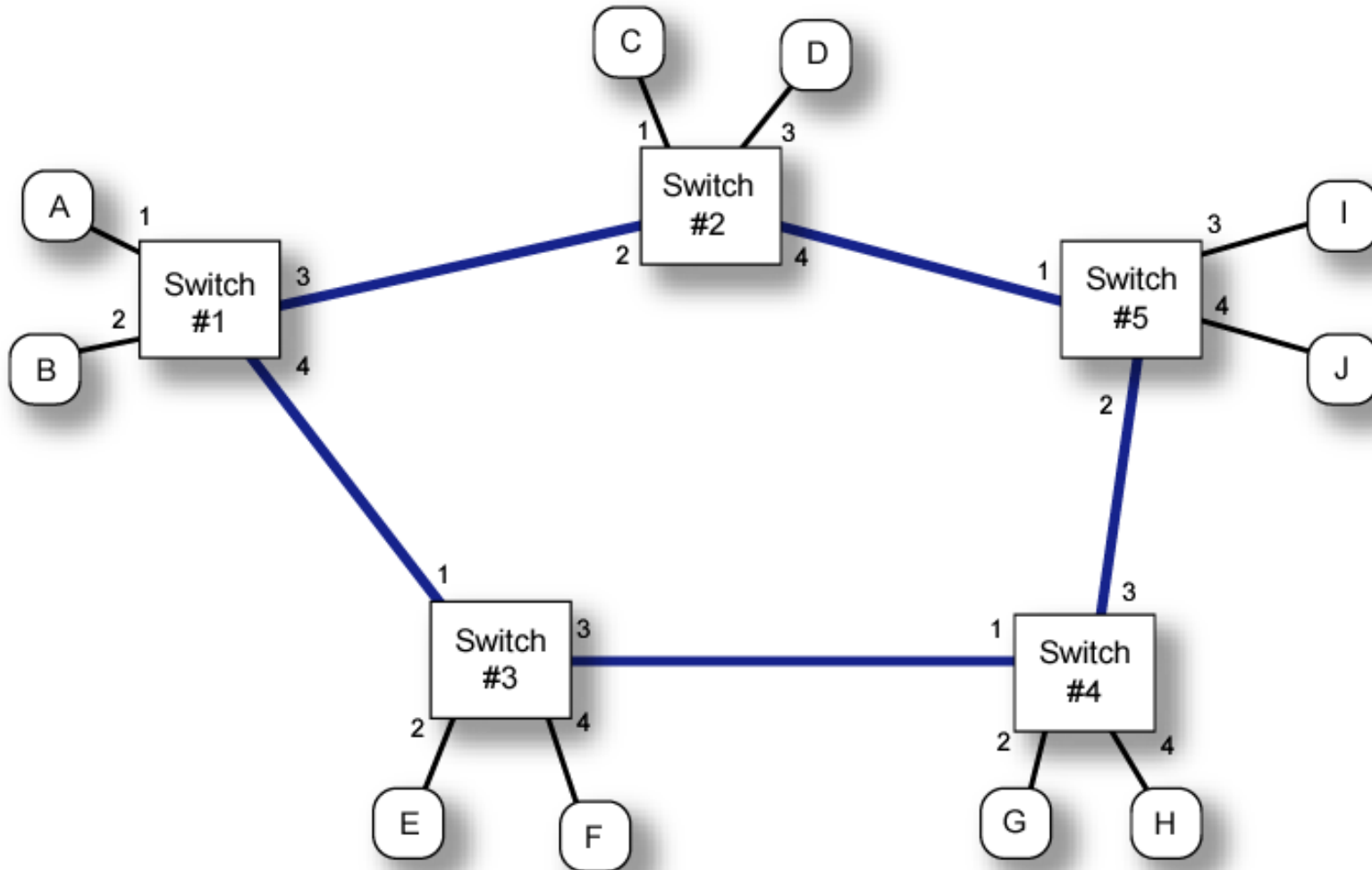
Case 4 - Bytes Mapping of Ethernet/RPR/LAPS

Siempre el mismo problema: IP sobre...

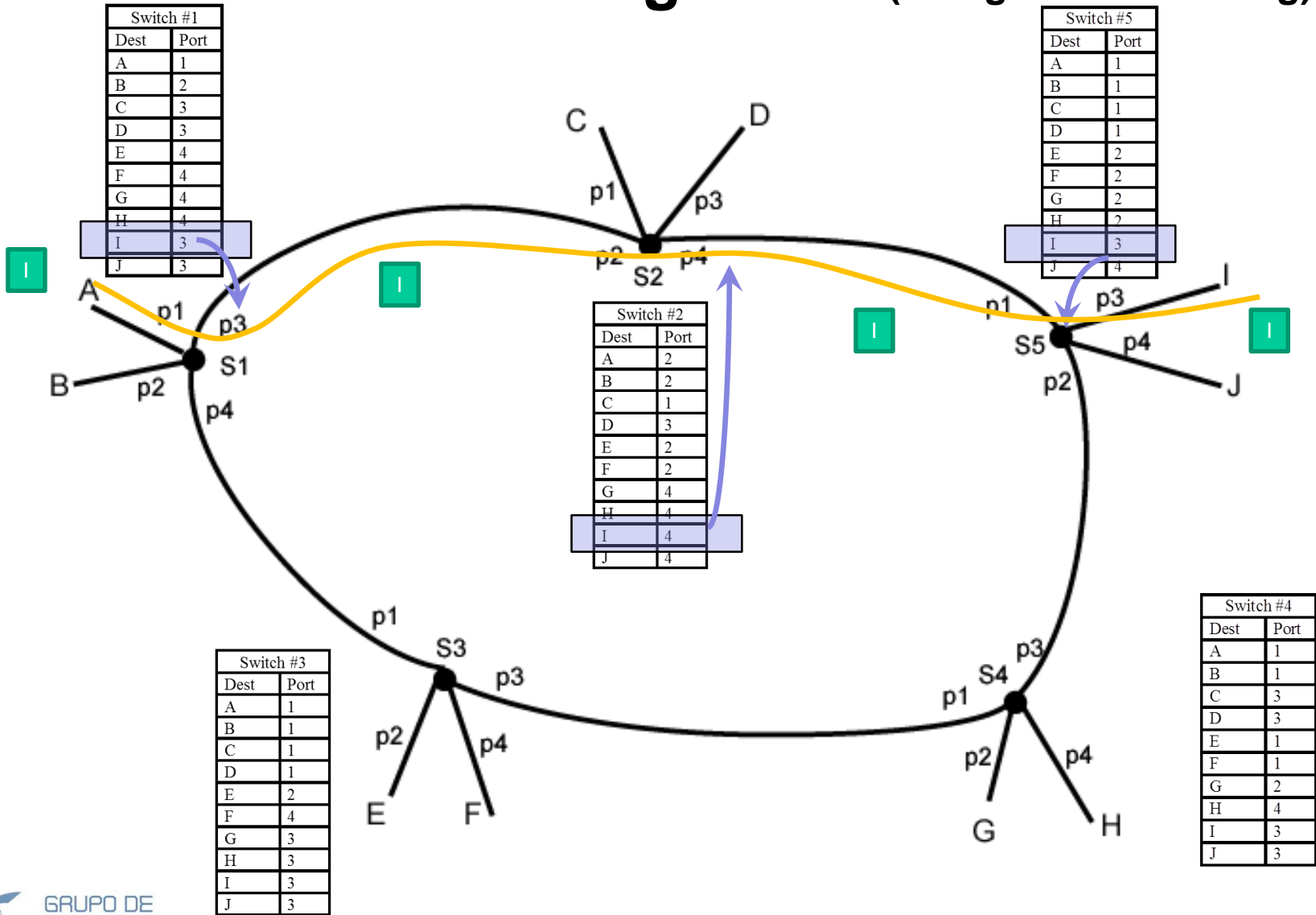
- ATM, PPP, FR, SONET/SDH, RDSI, X.25 son orientados a la conexión
 - Una conexión permanente o semipermanente debe establecerse previamente a poder enviar datos, y requiere mantener una ruta de acceso que puede ser seguida utilizando:
 - Conmutación de circuitos: Basada implícitamente en cualquiera de las ranuras de tiempo o longitudes de onda. No hay información relacionada con el reenvío de los datos. Sólo aquellos circuitos cuya trayectoria se ha establecido antes de tiempo deben ser enviados correctamente.
 - Conmutación de circuitos virtuales: Se basa exclusivamente en una etiqueta situada en la cabecera del paquete. Sólo los paquetes cuyo "circuito virtual" se ha creado antes de tiempo pueden ser reenviados correctamente. A su vez se puede llevar a cabo:
 - **En capa de transporte**
 - **En capa de red y/o de enlace**

- IP es no orientado a la conexión...
 - Sin embargo, también requiere de una ruta de acceso que en este caso se resuelve mediante Conmutación de datagramas
 - Sobre la base de la dirección de destino en el paquete. Cualquier destino válido debe ser reenviado correctamente.

Conmutación (que no enrutamiento!)

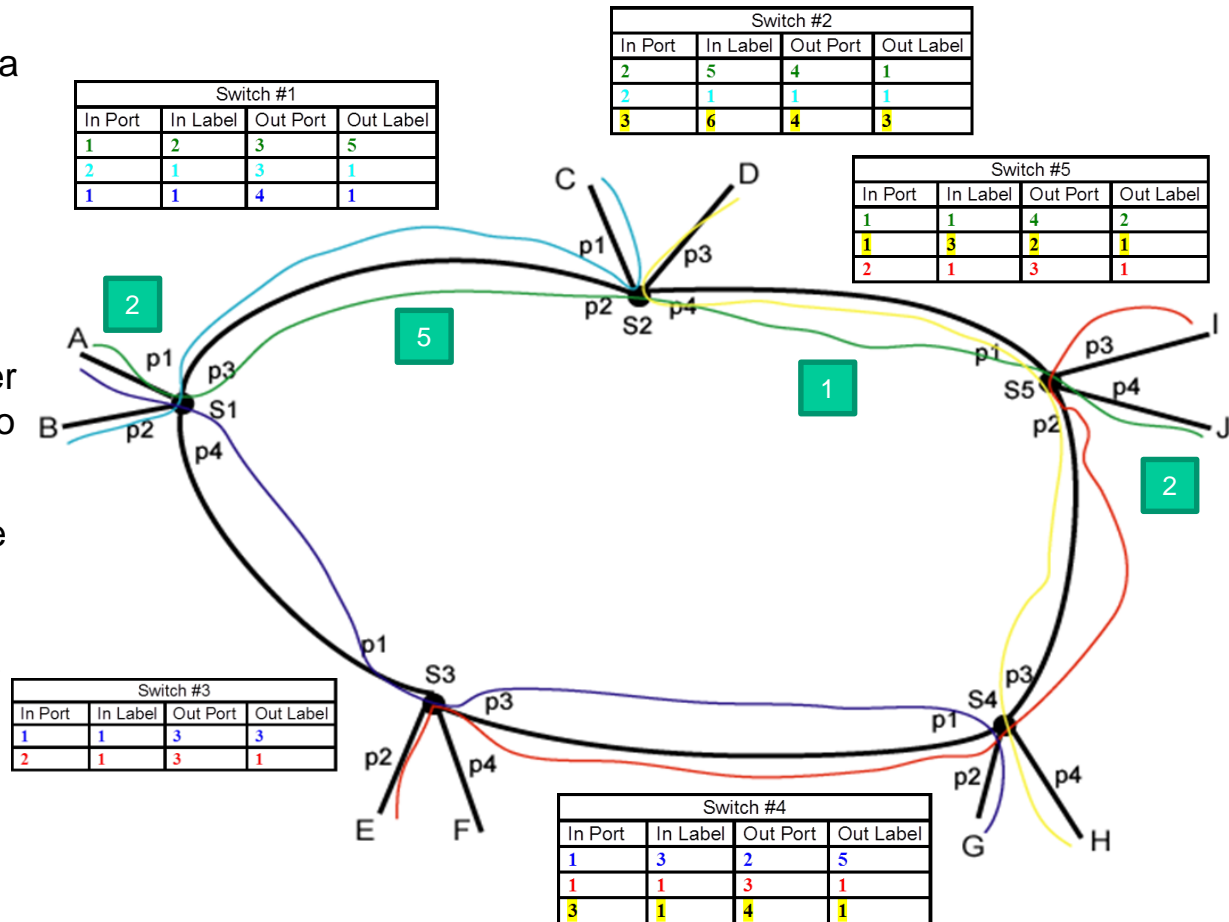


Conmutación de Datagramas (Datagram Forwarding)



Conmutación de Circuitos Virtuales

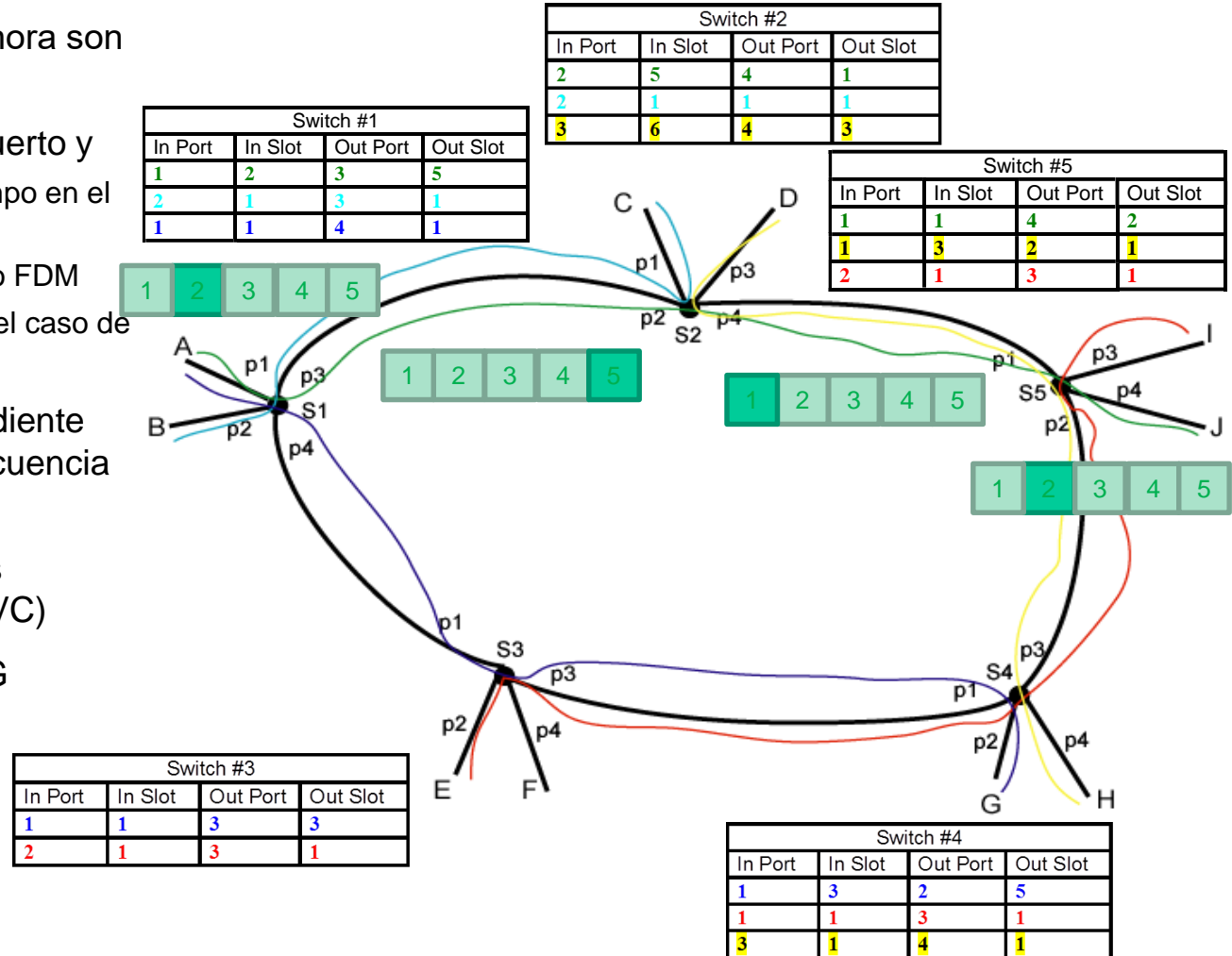
- Los paquetes se reenvían en base a una etiqueta de la cabecera
- Las etiquetas no son direcciones de destino, por lo general son mucho más cortas
- Las etiquetas tienen que ser únicas en cada enlace, pero no en la red
- Las tablas de forwarding de cada router es en realidad un mapeo (puerto de entrada, etiqueta) a (puerto de salida, nueva etiqueta)
- A diferencia con las tablas de forwarding de IP, cada entrada de la tabla es un circuito



5 CVs: A-J, B-C, E-I, D-H, A-G

Conmutación de Circuitos (reales)

- No más paquetes... ahora son Flujos de bits
- Se distinguen por el puerto y
 - Los intervalos de tiempo en el caso de TDM
 - Frecuencia en el caso FDM
 - Longitud de onda en el caso de WDM
- Conmutación independiente del contenido de la secuencia de bits
- Ejemplo TDM (mismas conexiones que caso VC)
- A-J, B-C, E-I, D-H, A-G



Datagram Switching

- Encaminamiento poco eficiente
 - reglas externas, ajenas a la dirección de destino
 - Incompatible con el 'policy routing' o enrutamiento por políticas de uso
- BW + 'policy routing' es anti-datagrama
- Especialmente crítico en los enlaces troncales
- No hay posibilidad de aislar/proteger flujos/tráficos

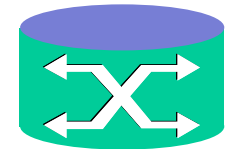
CL forwarder (router)



VC Switching

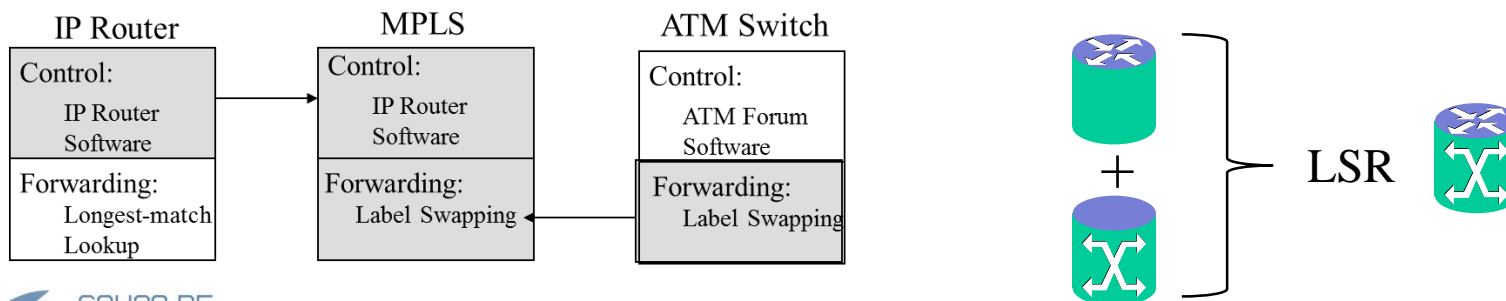
- Rápida conmutación (consultas en las tablas de VPI o VPI/VCI)
- Posibilidad de fijar la ruta según el origen (ingeniería de tráfico)
- SAR (segmentación y reensamblado). Impide funcionar a altas velocidades
- Overhead (>13%) debido a cabeceras

CO forwarder (switch)

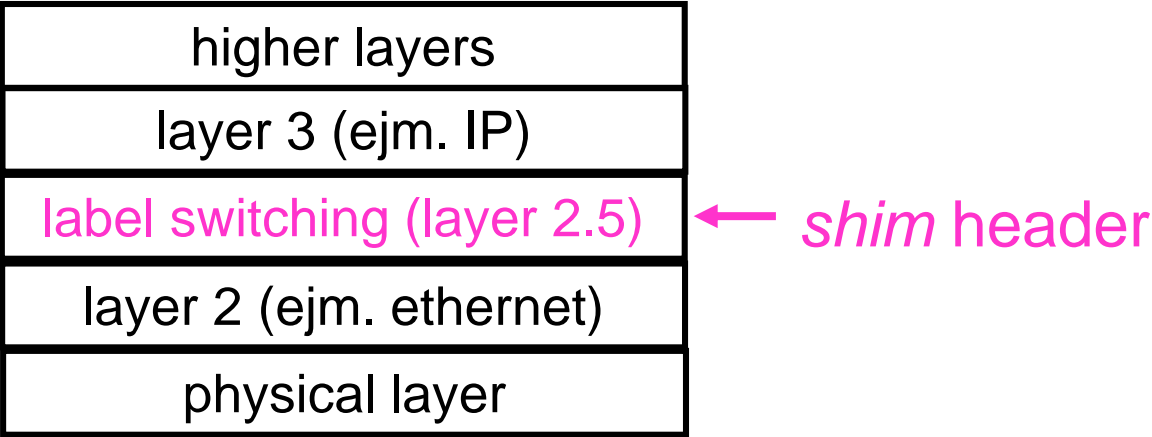


DS como VCS: Label Switching

- Añade las ventajas de CO al CL forwarding
- Se realiza en tres etapas:
 - routing (determinación de la topología) utilizando protocolos L3
 - Inicialización de la ruta (asignación y distribución de etiquetas)
 - Forwarding de datos
- Ventajas del nuevo esquema:
 - Forwarding a velocidades mayores
 - Reduce el tamaño de las tablas de forwarding (las etiquetas son siempre locales)
 - Las rutas pueden ser asignadas en función de flujos/tráficos
 - Routing y Forwarding son procesos totalmente separados
 - Compatible con los algoritmos de enrutamiento ya existentes
- Sin embargo, se requiere de un nuevo algoritmo de señalización



- A diferencia de TCP, la capa de CO se encuentra debajo de la capa de CL
- En caso de que la L2 fuera broadcast (por ejemplo, Ethernet), la capa de CO se encontraría por encima de ella



- Label Switching recibe el calificativo de Conmutación de capa 2.5 (L2.5 switching)

Label Switching: Etiquetas

- Dirección corta, sin estructura concreta y longitud fija
- No son etiquetas:
 - Número de teléfono (longitud no fija, con código de país + código de área + número local)
 - Dirección Ethernet (demasiado larga, incluye códigos privados)
 - Dirección IP (demasiado larga, tiene campos)
 - Dirección ATM (tiene VP / VC)
- Aunque no es un requisito explícito, normalmente sólo tiene significado local
- La etiqueta(s) se añade a los paquetes CL, junto a la dirección de L3
- El reenvío de capa 2,5
 - puede encontrar una ruta diferente que el reenvío de L3
 - es más rápido que el reenvío de L3
 - requiere un proceso configuración y un protocolo de señalización

Label Switching Forwarding: FEC

- Equivalence Class = conjunto de entidades que comparten características comunes y que pueden ser consideradas equivalente para algún propósito
 - Teorema (de la teoría de conjuntos) - cualquier relación de igualdad (por ejemplo, características comunes) divide a todas las entidades en clases de equivalencia que no se solapan
- Cualquier algoritmo de reenvío sólo necesita considerar:
 - Dirección destino (y a veces de la fuente)
 - requisitos de servicio (por ejemplo, prioridad, BW, retraso permitido, etc)
- Podemos agrupar todos los paquetes con el mismo destino y los mismos requisitos de servicio como una FEC. Según el teorema, cada paquete pertenece a una FEC única
 - Los paquetes de una misma FEC deben seguir la misma ruta
 - por lo que debemos asignar la misma etiqueta (bind)

Ejemplos de FEC:

En enrutamiento IP:

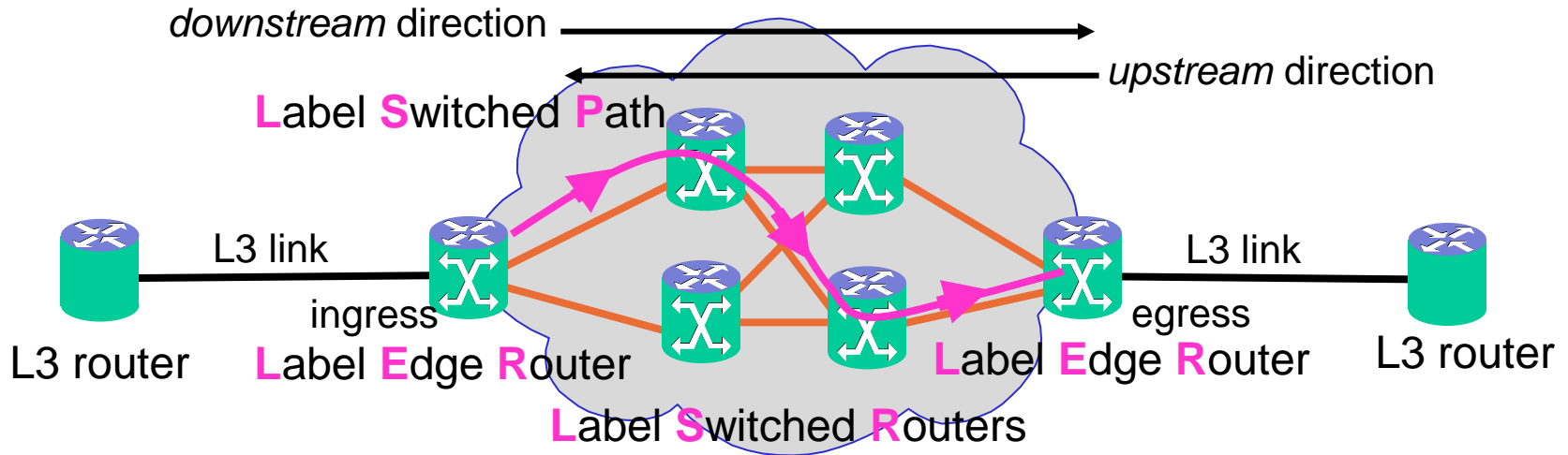
todos los paquetes con el mismo prefijo IP de destino
(el más largo de la tabla de enrutamiento)

En LS (a elegir):

granularidad más gruesa: todos los paq con mismo destino servidos por un router dado

granularidad más fina: todos los paq de un socket fuente hasta un socket destino con requisitos dados

Label Switching: Arquitectura



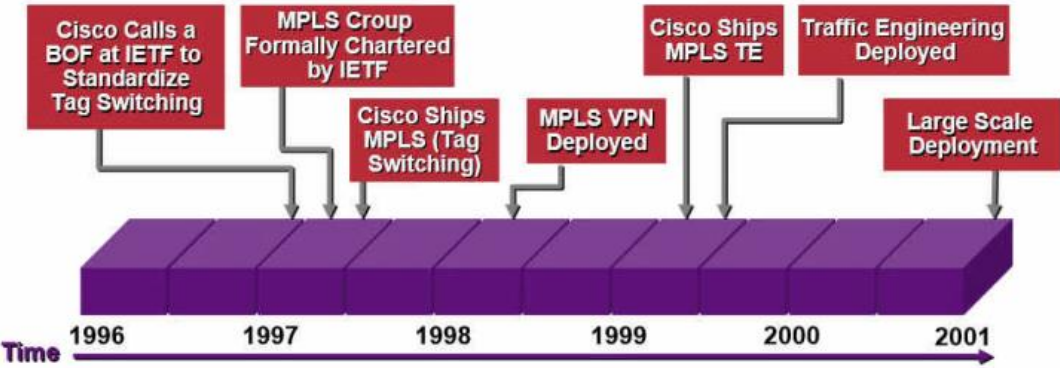
- LS es necesario en el CORE... el acceso puede mantener el forwarding L3*
- Los interfaces entre el Acceso y el Core se denominan EDGE (ingress y egress, de acuerdo con la dirección del flujo de datos)
 - LSR = router con capacidad de realizar label switching
 - LER = LSR con vecinos que no realizan LS (LSR en el edge)
 - LSP = ruta unidireccional utilizada por el forwarding LS (desde el ingress hasta el egress)
 - * No todos los paquetes necesitan incorporar LS (aquellos que no requieran QoS)

- Cada LSP necesita ser inicializado antes de realizar el forwarding
 - y liberado cuando no sea necesario
- Un LSR se encarga de:
 - Realizar el LS forwarding* para aquellos paquetes con etiqueta
 - Asegurar etiquetas únicas en el LSR y respecto a los interfaces de entrada
 - Opcionalmente, realizar el forwarding L3 para aquellos paquetes sin etiqueta
- iLER
 - Asigna paquetes* a FEC
 - Etiqueta paquetes
 - Reenvía paquetes en dirección downstream utilizando LS
- eLER
 - Elimina las etiquetas
 - Reenvía los paquetes mediante forwarding L3
 - Excepción: PHP (Penultimate Hop Popping)

*Una vez el paquete es asignado a un FEC y etiquetado, ningún LSR mirará la cabecera L3

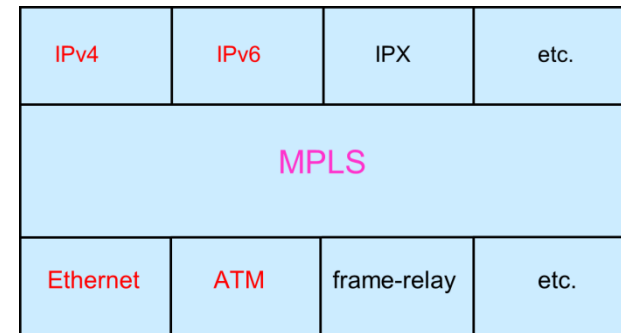
MPLS: Multiprotocol LS

- Existen múltiples implementaciones de LS:
 - Cell Switching Router (Toshiba) <RFC 2098,2129>
 - IP Switching (Ipsilon, adquirido por Nokia) <RFC 2297>
 - Tag Switching (Cisco) <RFC 2105>
 - Aggregate Route-based IP Switching (IBM)
 - IP Navigator (Cascade/Ascend/Lucent)
- Sin embargo, el IETF decidió estandarizar un único método:
 - BOFs 1994-1995
 - WG 1997 con Cisco e IBM (similar a tag switching y ARIS)
 - Cisco, IBM, Ascend propusieron la arquitectura
- MPLS standards-track RFCs 2001



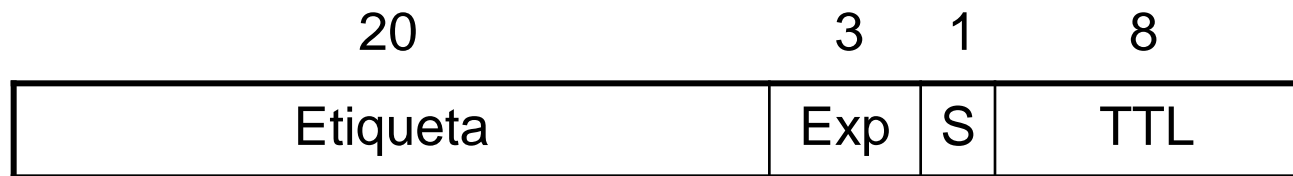
MPLS: Características

- Soporte multiprotocolo – tanto por encima como por debajo
- Etiqueta en L2 o encabezado Shim
- Un único algoritmo de forwarding, incluso para multicast y TE
- Se puede ejecutar en el router IP o en el switch ATM con sólo una actualización SW (aunque sea preferible HW especializado)
- La distribución de etiquetas puede ser incluida (piggybacked) en los protocolos de encaminamiento existentes o bien a través de un protocolo específico: LDP (Label Distribution Protocol)
- Control de asignación de etiquetas downstream
- Soporte para encaminamiento basado en restricciones (por TE)



MPLS: Etiquetas

Bits →



Etiqueta: La etiqueta propiamente dicha que identifica una FEC (con significado local)

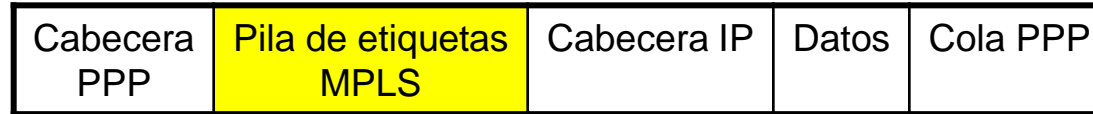
Exp: Bits para uso experimental; una propuesta es transmitir en ellos información de DiffServ

S: Vale 1 para la primera entrada en la pila (la más antigua), cero para el resto

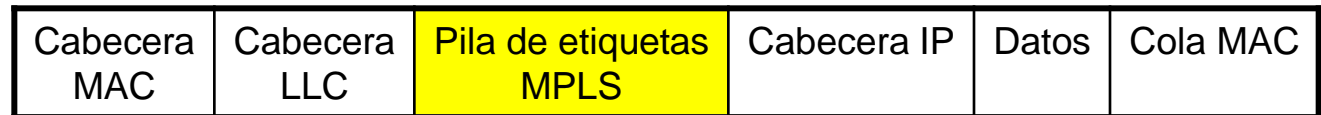
TTL: Contador del número de saltos. Este campo reemplaza al TTL de la cabecera IP durante el viaje del datagrama por la red MPLS.

MPLS: Inserción de las etiquetas

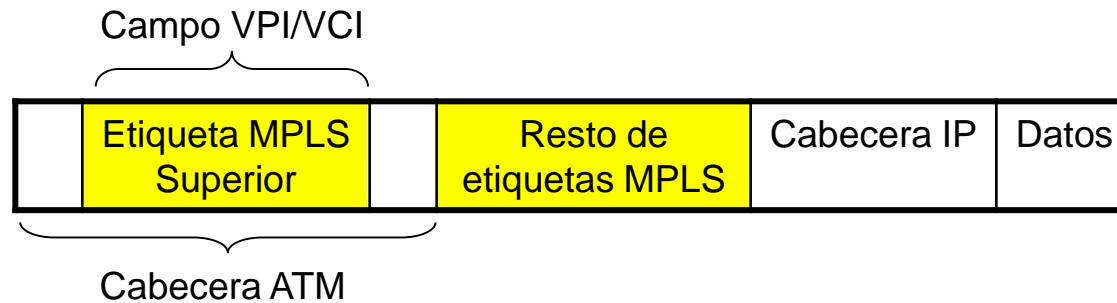
PPP
(Líneas dedicadas)



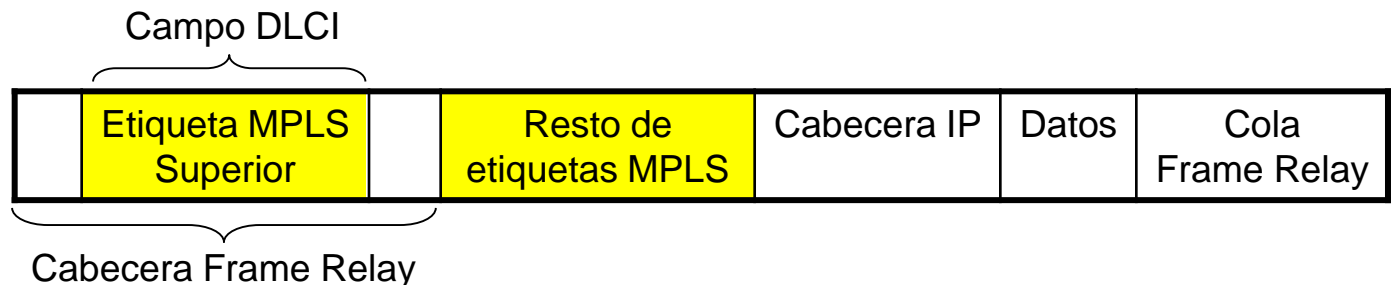
LANs (802.2)



ATM

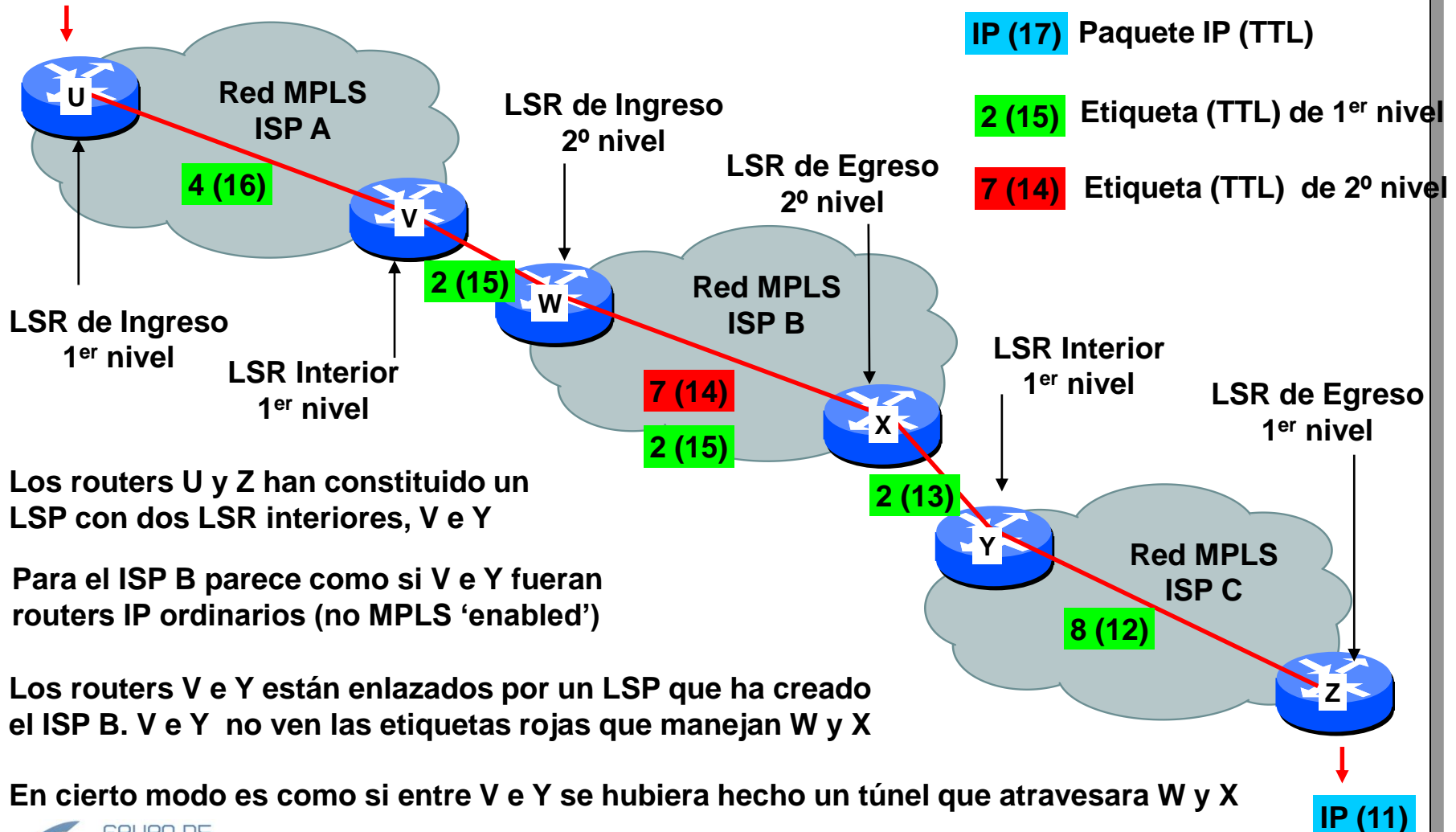


Frame Relay



MPLS: Label Stack

IP (17)



Los routers U y Z han constituido un LSP con dos LSR interiores, V e Y

Para el ISP B parece como si V e Y fueran routers IP ordinarios (no MPLS 'enabled')

Los routers V e Y están enlazados por un LSP que ha creado el ISP B. V e Y no ven las etiquetas rojas que manejan W y X

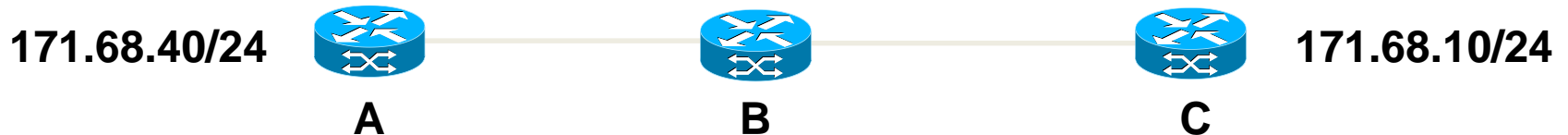
En cierto modo es como si entre V e Y se hubiera hecho un túnel que atravesara W y X

MPLS: Determinación del LSP

- Se puede hacer:
 - Por configuración, de forma estática (equivalente a los PVCs en ATM)
 - Por un protocolo de señalización: LDP = Label Distribution Protocol
- El enrutamiento del LSP se hace en base a la información que suministra el protocolo de routing, normalmente IS-IS u OSPF.
- Siempre se usan algoritmos del estado del enlace, que permiten conocer la ruta completa y por tanto fijar reglas de ingeniería de tráfico.
- Si una vez fijado el LSP falla algún enlace hay que crear un nuevo LSP por otra ruta para poder pasar tráfico

MPLS: Asignación y distribución de etiquetas (I)

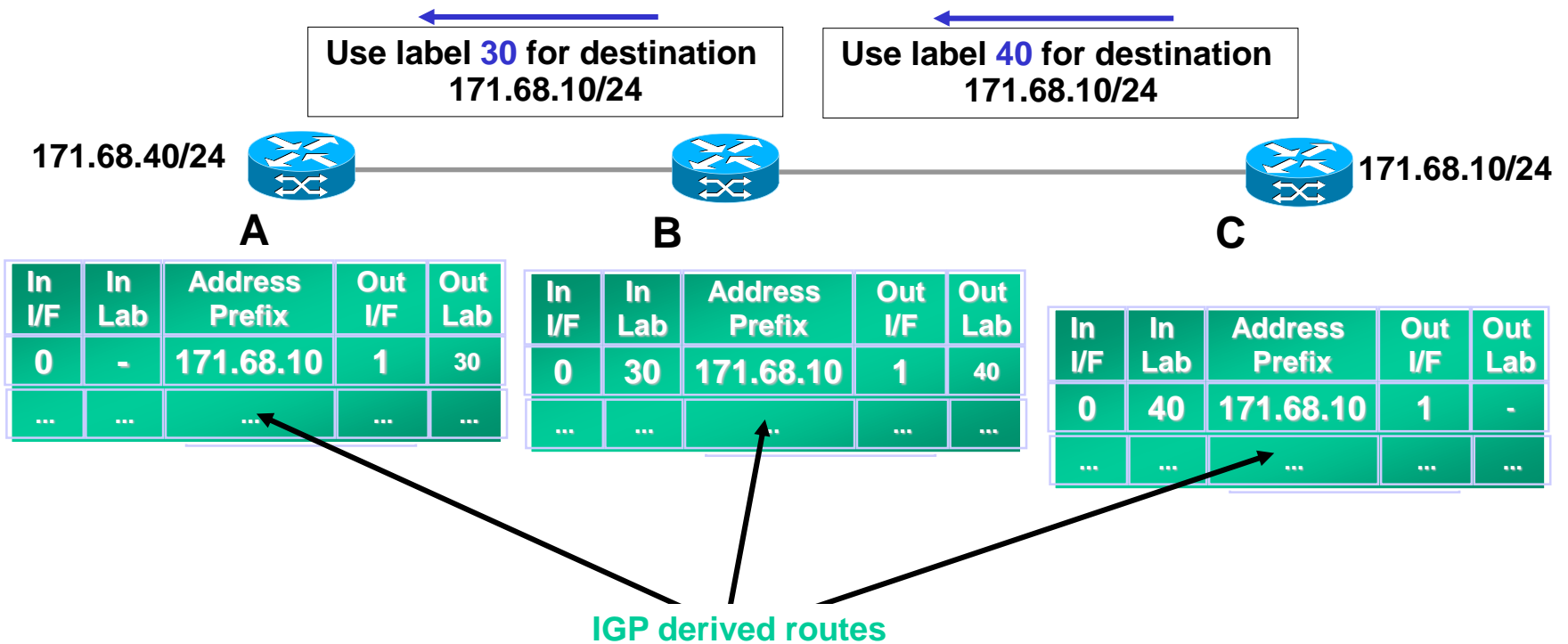
Upstream y Downstream LSRs



- C es el downstream vecino del B para la 171.68.10/24
- B es el downstream vecino del A para la 171.68.10/24
- Los LSRs conocen sus downstream vecinos via un IP routing protocol
- Next-hop address es el downstream vecino

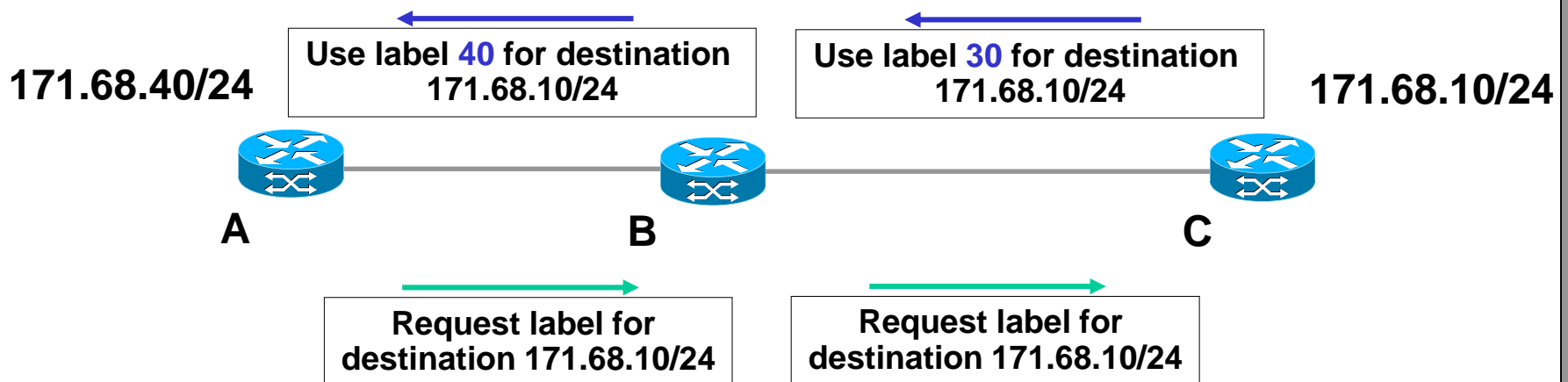
MPLS: Asignación y distribución de etiquetas (II)

“Unsolicited Downstream Distribution”



- Los LSR distribuyen los labels a los upstreams vecinos

“On-Demand Downstream Distribution”

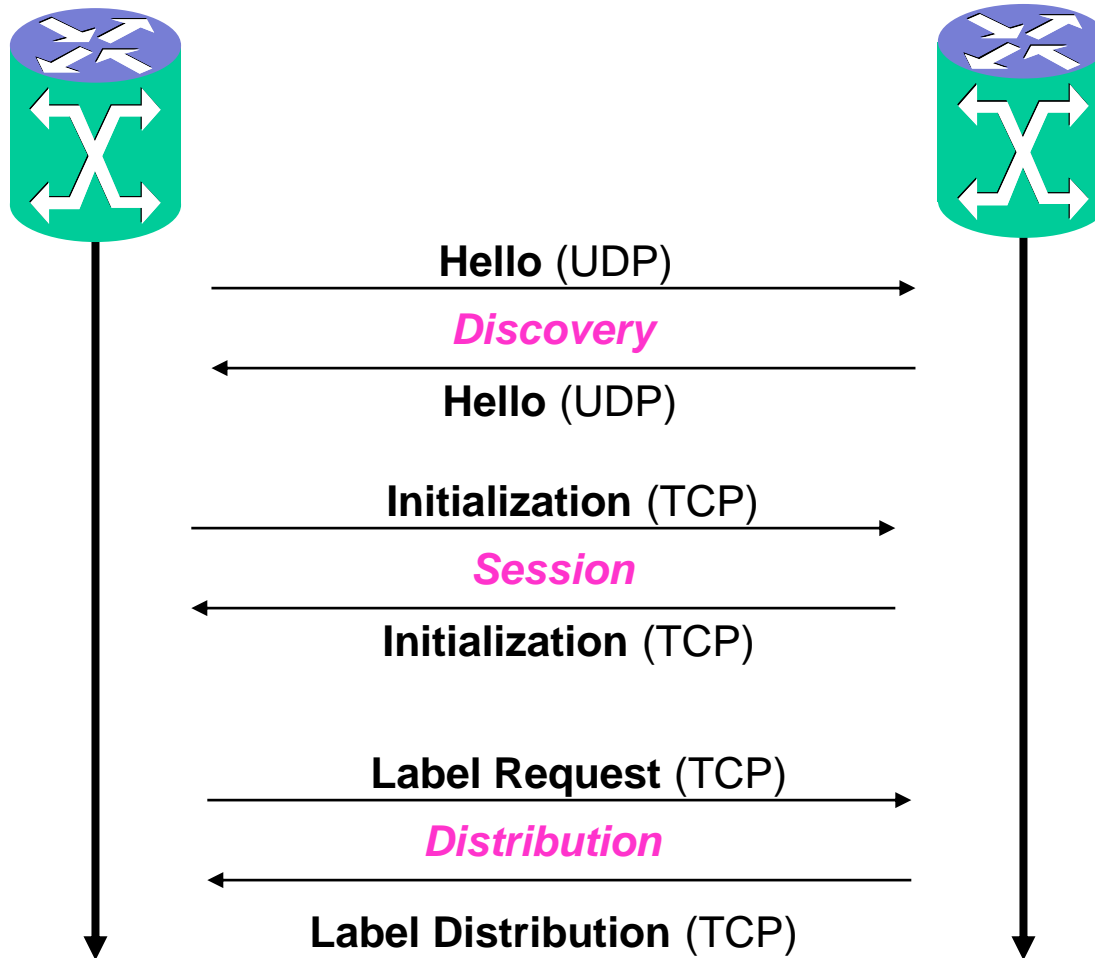


- Los LSRs Upstream piden las etiquetas a su vecino downstream
- El LSR Downstream distribuye las etiquetas de acuerdo a la petición

MPLS: LDP

- Protocolo a nivel aplicación para distribuir la asociación a etiquetas - LSRs.
- Existen 4 variantes:
 - LDP, específica para redes IP-MPLS
 - BGP4-MPLS, RFC 2547 para VPNs
 - RSVP-TE, con soporte TE
 - CR-LDP, basado en criterios (desechada por el IETF)
- Son usados para mapear FECs a etiquetas, los cuales a su vez crean LSPs.
- Las sesiones LDP son establecidas entre LDP pares en la red MPLS (no necesariamente adyacentes).
- Algunas veces emplea OSPF o BGP.
- Tipos de mensaje LDP:
 - discovery messages— anuncia y mantiene la presencia de un LSR en la red
 - session messages— establece, mantiene, y termina sesiones entre LDP pares
 - advertisement messages— crea, cambia, y borra mapeo de labels para FECs
 - notification messages— provee información de avisos y señalización de errores

MPLS: Inicialización de LDP

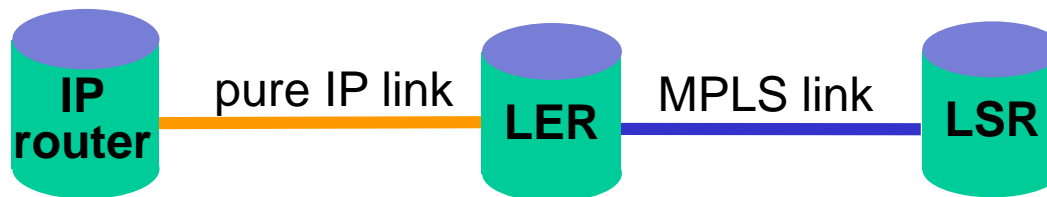


MPLS: Forwarding en el interior

- Los LSR utilizan un solo algoritmo de forwarding:
 - Leen la etiqueta superior (si hay stack) L
 - Consulta el ILM - Incoming Label Map (tabla de forwarding, o LFIB en terminología Cisco)
 - Ejecuta una operación en el stack de etiquetas (pop L, swap L - M, swap M - N y push N)
 - Reenvía en base al Next Hop Label Forwarding Entry de L
- El NHLFE contiene:
 - next hop (output port, IP address del próximo LSR)
 - Si NH es él mismo “pop”
 - Si es multicast, habrá múltiples NH’s, y el paquete es replicado
 - Operación que debe ser ejecutada sobre la pila de etiquetas
 - Cualquier otra información que sea necesario reenviar (ejm. Formato de L2, cómo está codificada la etiqueta)
- El ILM contiene:
 - Un NHLFE para cada etiqueta entrante
 - Muy posiblemente varios NHLFE para una misma etiqueta, aunque solamente una será utilizada en cada paquete

MPLS: Forwarding en la frontera

- El algoritmo de forwarding del LER es un poco más complejo:
 - Comprueba si el paquete ya está etiquetado o no
 - Si está etiquetado
 - Reenvío como si de un LSR se tratara
 - Si no
 - Búsqueda de la dirección IP de destino en el mapa FTN (FEC-To-NHLFE)
 - Si se encuentra en el FTN
 - ↗ Anexar la etiqueta al comienzo
 - ↗ Y reenviar utilizando el algoritmo LSR
 - Si no
 - ↗ Reenviar utilizando IP forwarding

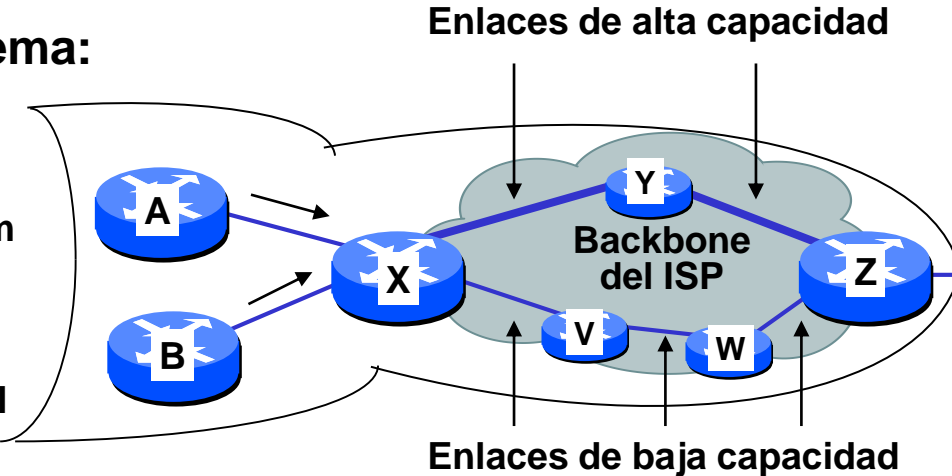


MPLS: Aplicaciones – Policy Routing

Problema:

Usuario A
Tarifa premium

Usuario B
Tarifa normal



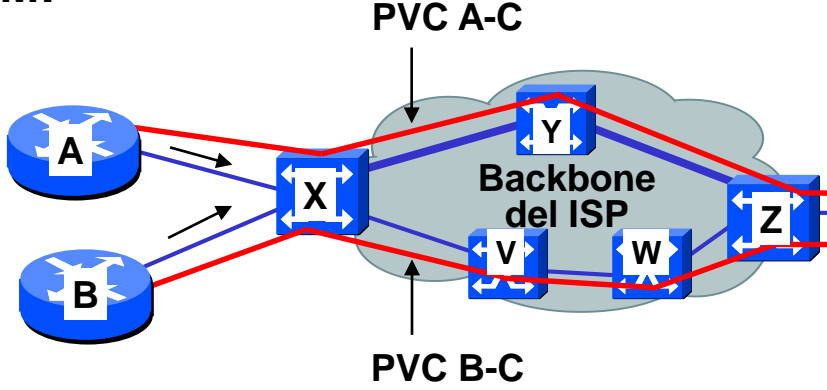
El ISP no puede controlar en X que solo vaya por la ruta de alta capacidad el tráfico dirigido a C desde A y no el de B

Usuario C

Solución ATM:

Usuario A
Tarifa premium

Usuario B
Tarifa normal

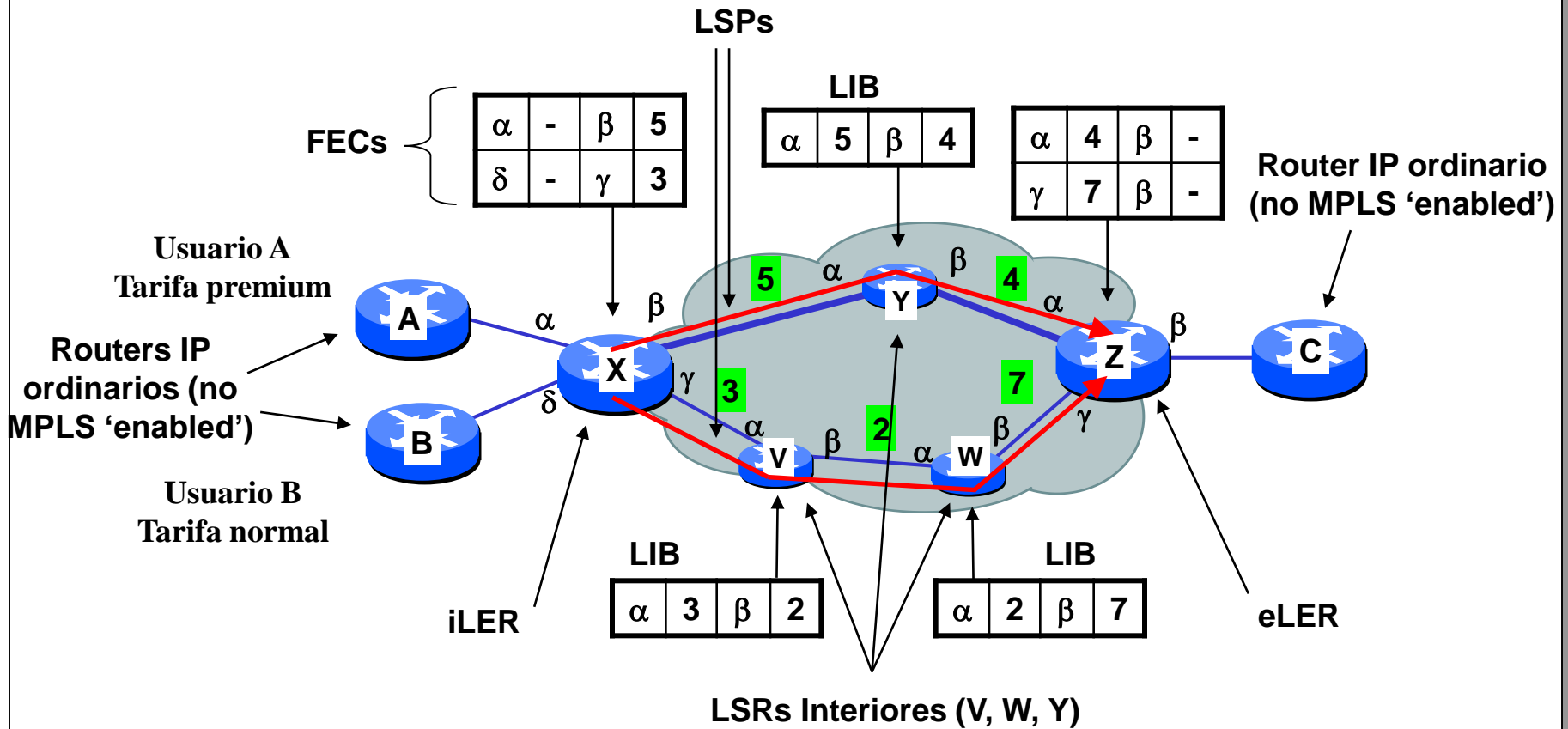


Al crear diferentes PVCs el ISP puede separar fácilmente el tráfico de A del de B

Usuario C

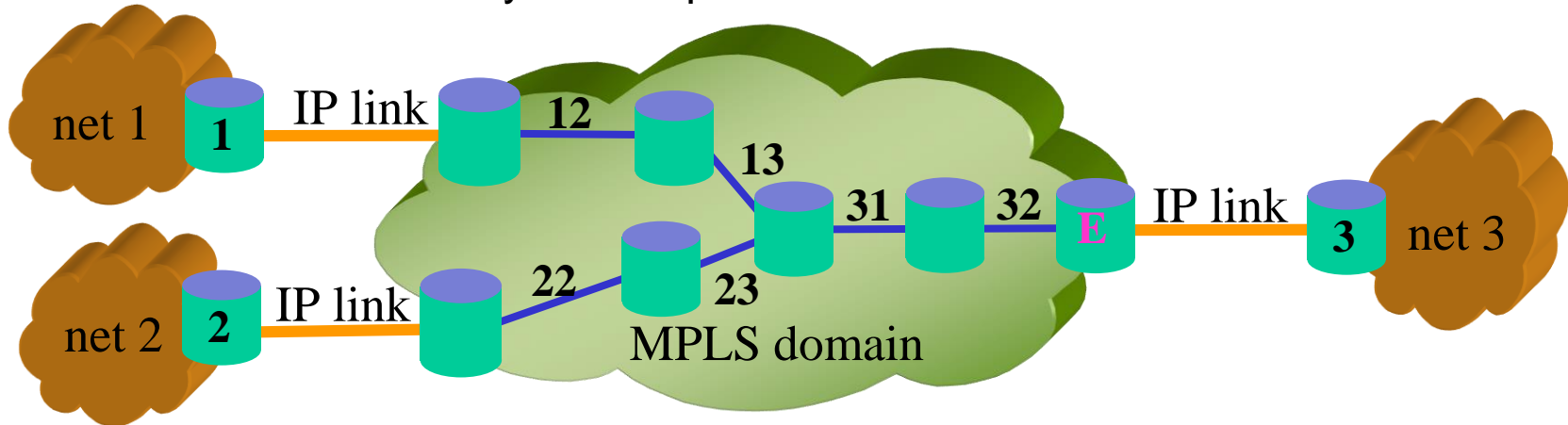
Este es un ejemplo de lo que se denomina 'Ingeniería de Tráfico'

MPLS: Aplicaciones – Policy Routing



MPLS: Aplicaciones – Agregación de Rutas

- El tráfico de las redes 1 y 2 tiene por destino la red 3



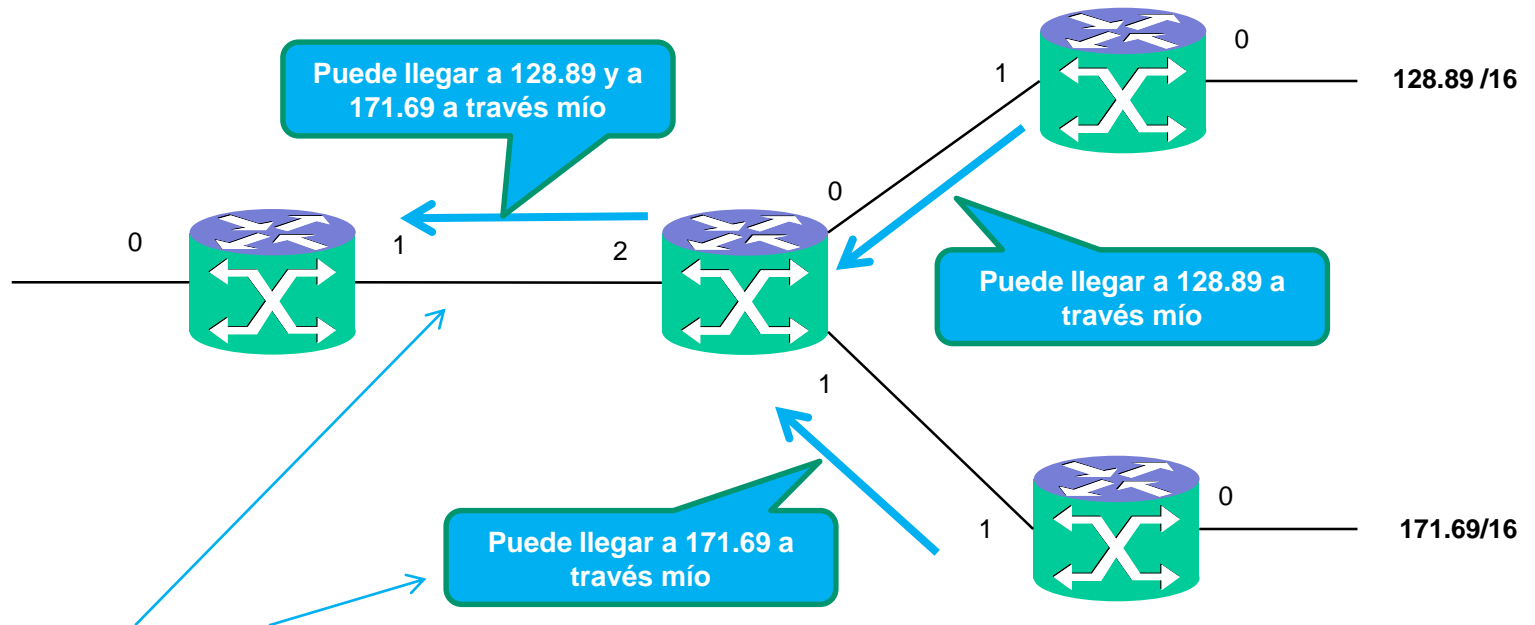
- Ventajas:
 - Facilidad de escalabilidad
 - Reducción del número de etiquetas
 - Reducción de requerimiento de recursos
- Desventajas:
 - Gran probabilidad de requerir IP forwarding
 - La información para OAM se destruye

Ejm1: Información de Enrutamiento

Destino	IN		OUT	
	Int	Etq	Int	Etq
128.89.0.0/16			0	-
171.69.0.0/16			1	

Destino	IN		OUT	
	Int	Etq	Int	Etq
128.89.0.0/16			0	-
171.69.0.0/16			1	

Destino	IN		OUT	
	Int	Etq	Int	Etq
128.89.0.0/16			0	-



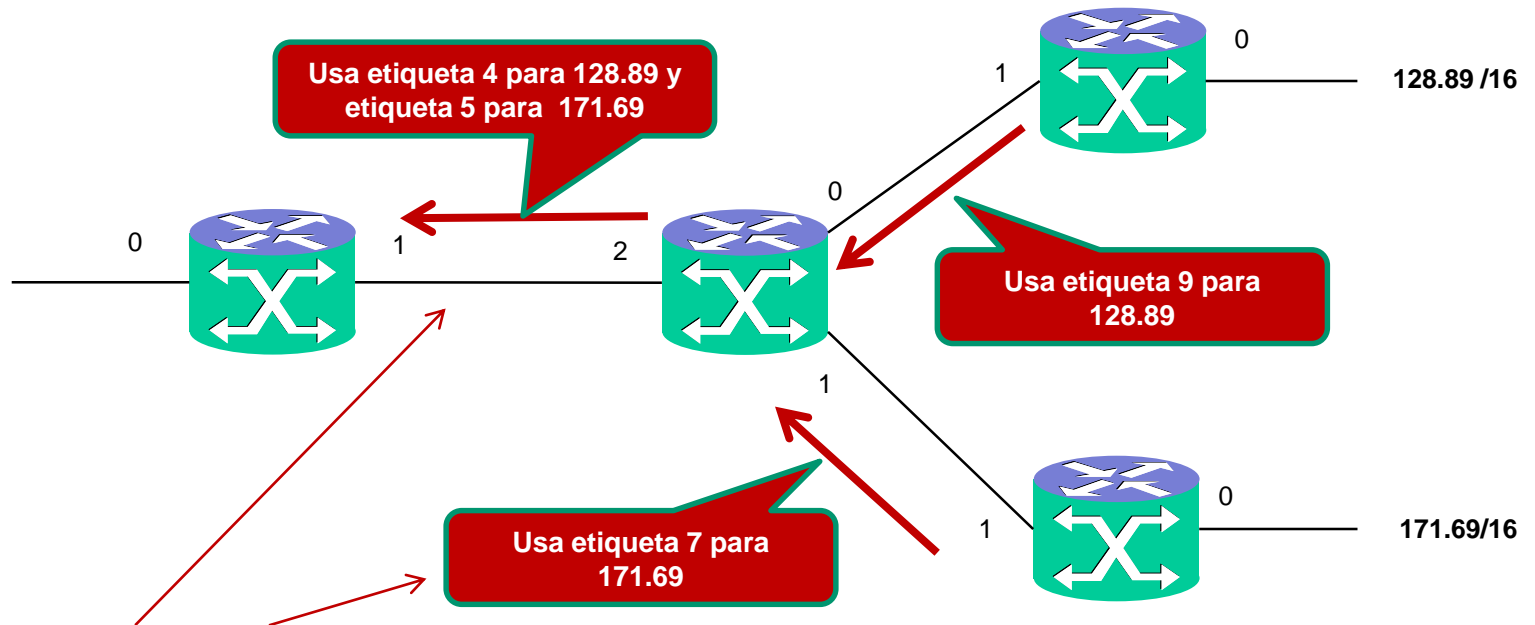
Actualización enrutamiento
(OSPF, EIGRP...)

Asignación de etiquetas

Destino	IN		OUT	
	Int	Etq	Int	Etq
128.89.0.0/16	0		1	4
171.69.0.0/16	0		1	5

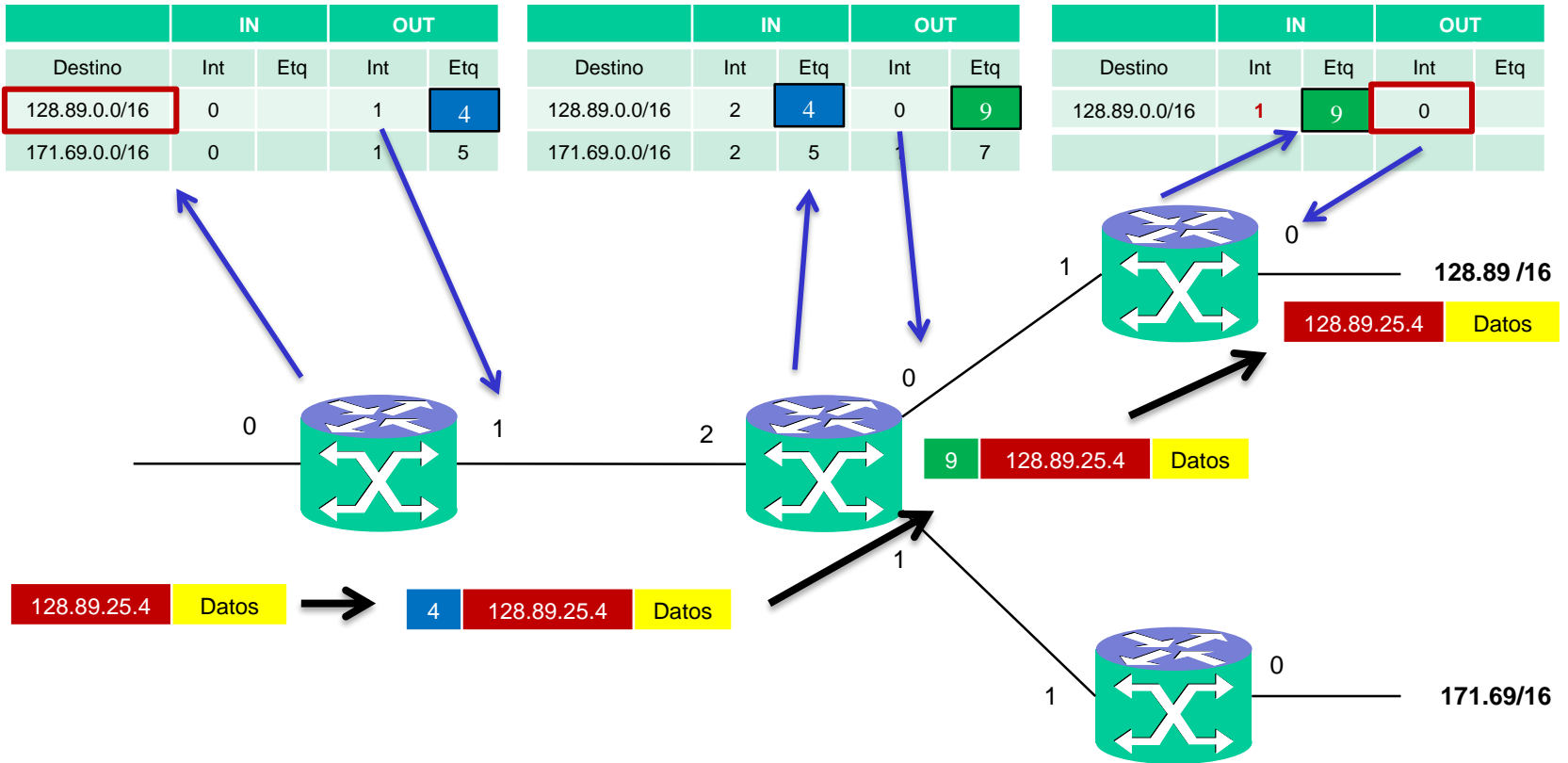
Destino	IN		OUT	
	Int	Etq	Int	Etq
128.89.0.0/16	2	4	0	9
171.69.0.0/16	2	5	1	7

Destino	IN		OUT	
	Int	Etq	Int	Etq
128.89.0.0/16	1	9	0	
171.69.0.0/16				



Label Distribution Protocol – LDP (asignación downstream)

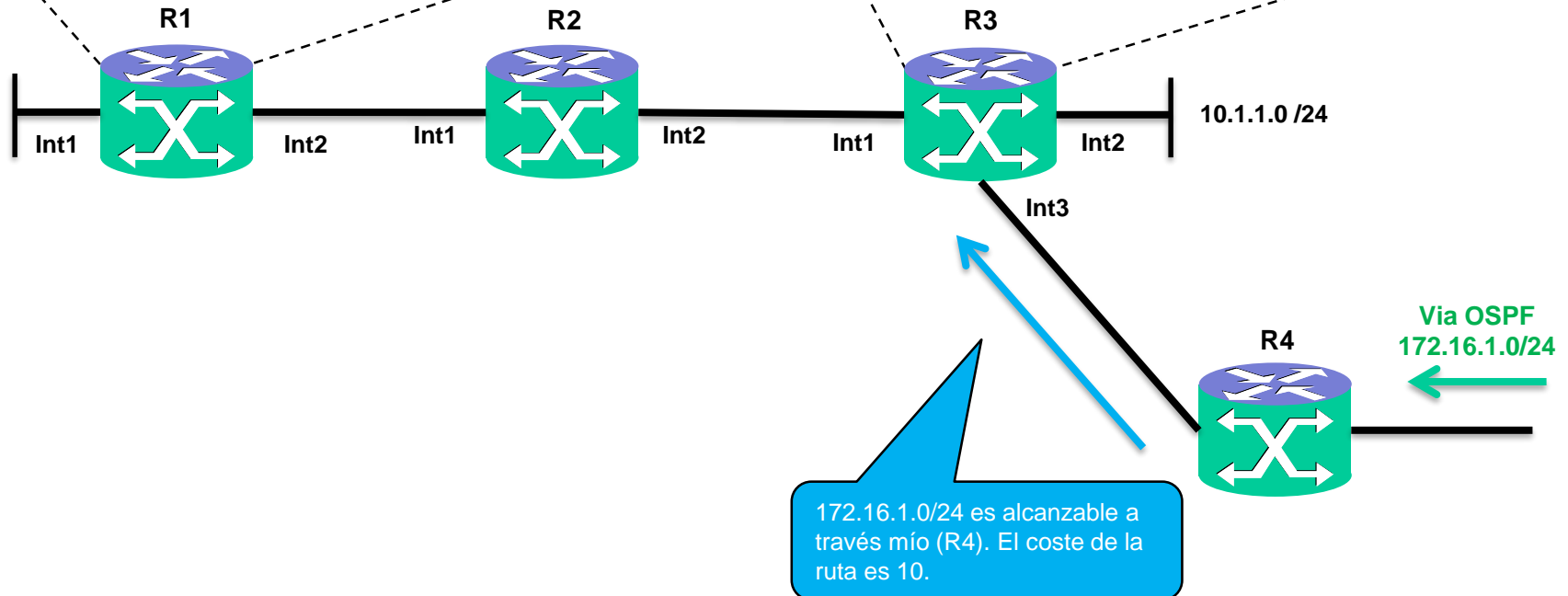
Forwarding



Ejm. 2: Asignando etiquetas

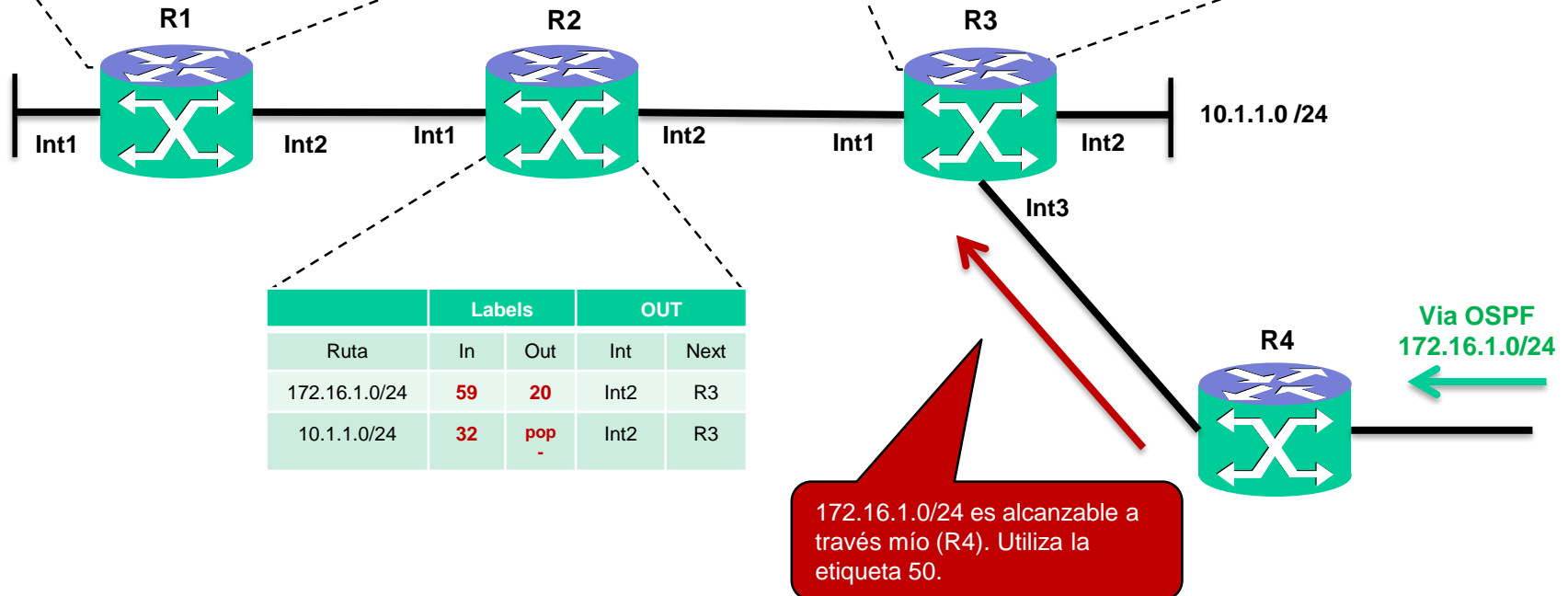
Ruta	Labels		OUT		
	In	Out	Int	Cost	Next
172.16.1.0/24			Int2	30	R2
10.1.1.0/24			Int2	16	R2

Ruta	Labels		OUT		
	In	Out	Int	Cost	Next
172.16.1.0/24			Int3	15	R4
10.1.1.0/24			Int2	1	Dir



Ruta	Labels		OUT	
	In	Out	Int	Next
172.16.1.0/24		59	Int2	R2
10.1.1.0/24		32	Int2	R2

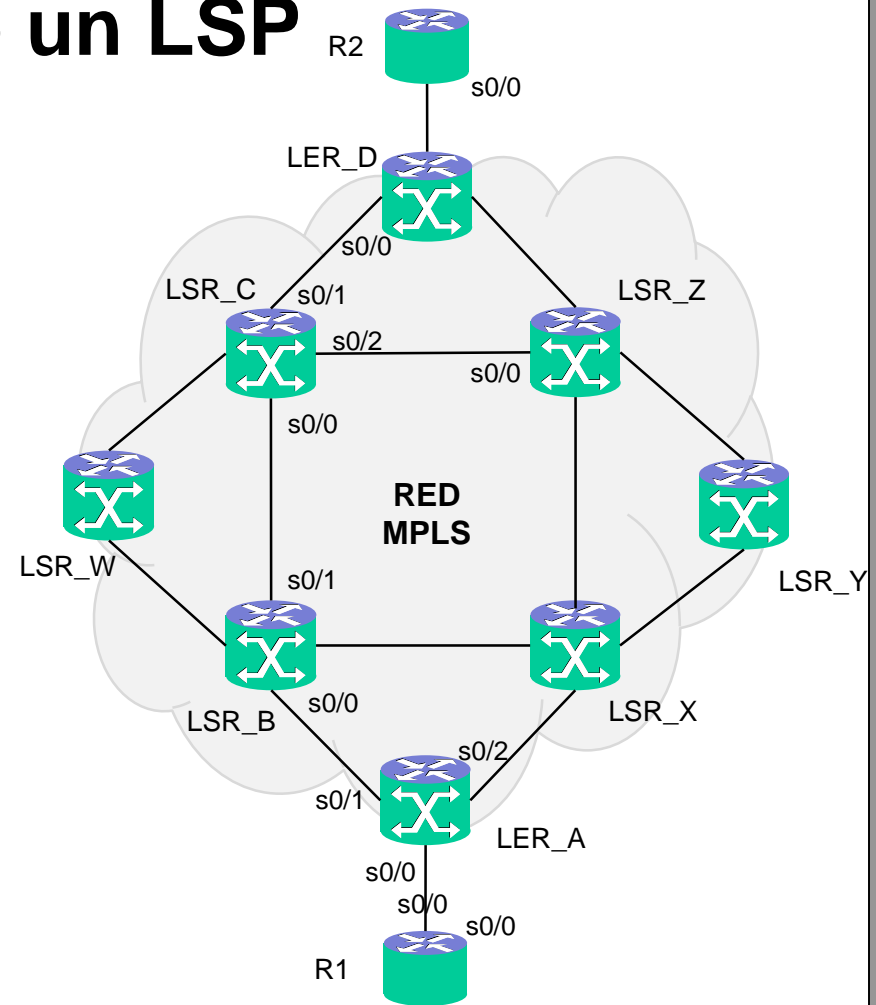
Ruta	Labels		OUT	
	In	Out	Int	Next
172.16.1.0/24	20	50	Int3	R4
10.1.1.0/24	untag	-	Int2	Dir



Ruta	Labels		OUT	
	In	Out	Int	Next
172.16.1.0/24	59	20	Int2	R3
10.1.1.0/24	32	pop	Int2	R3

Ejm3: Estableciendo un LSP

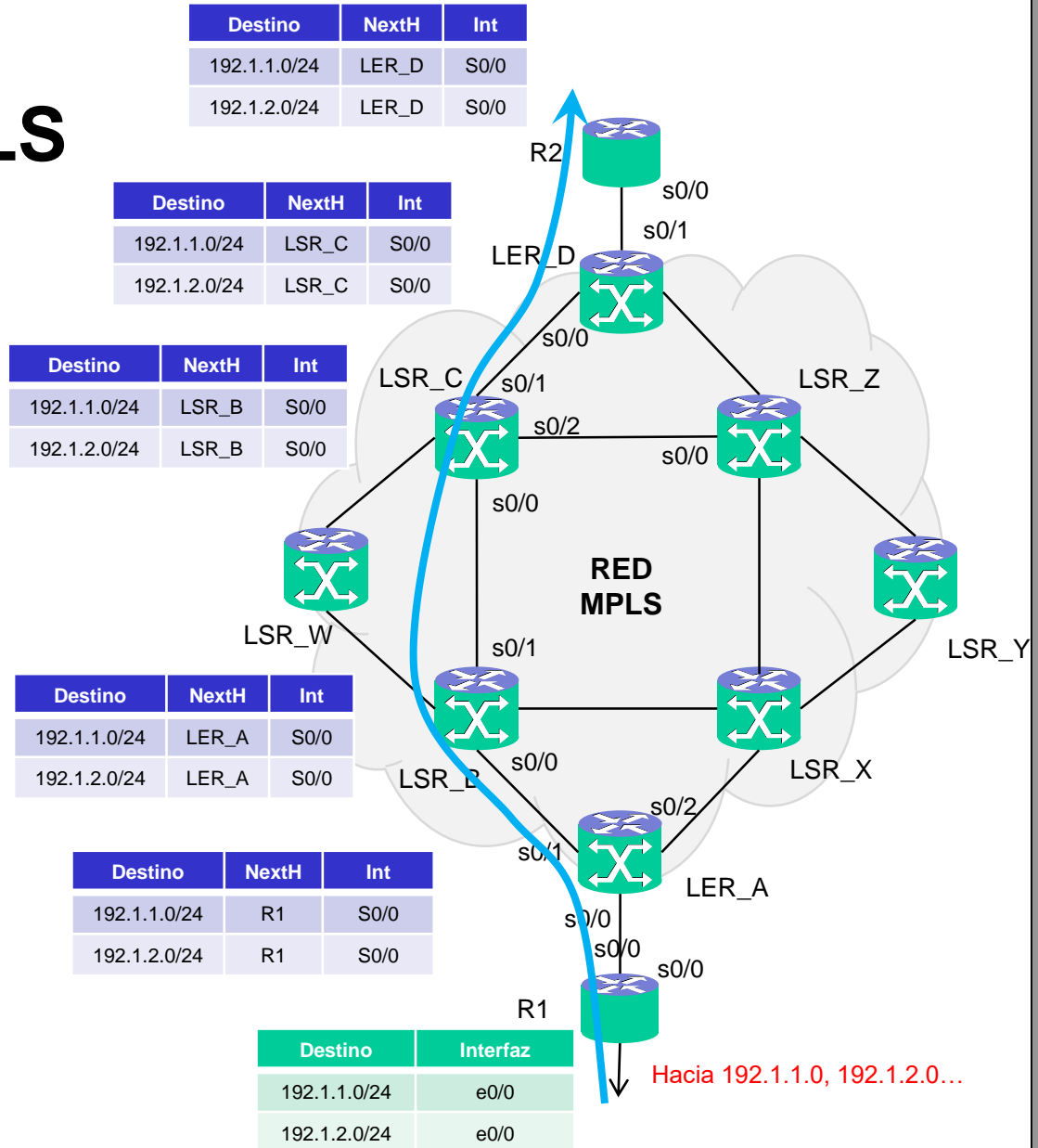
- En este ejemplo se quiere comunicar el router (no MPLS) que se encuentra en la parte superior y el router (no MPLS) que se encuentra en la parte inferior a través de la red MPLS
- Las tablas muestran la asociación de las direcciones de red con las parejas interfaz-etiqueta de salida y de entrada.



Ejemplo de MPLS

- Paso 1: Vemos la tabla del router externo que está conectado a dos redes de clase C.

La flecha azul claro indica que el router externo comunica al LSR frontera las rutas que posee (a través del protocolo que sea). Es el 'routing update'.

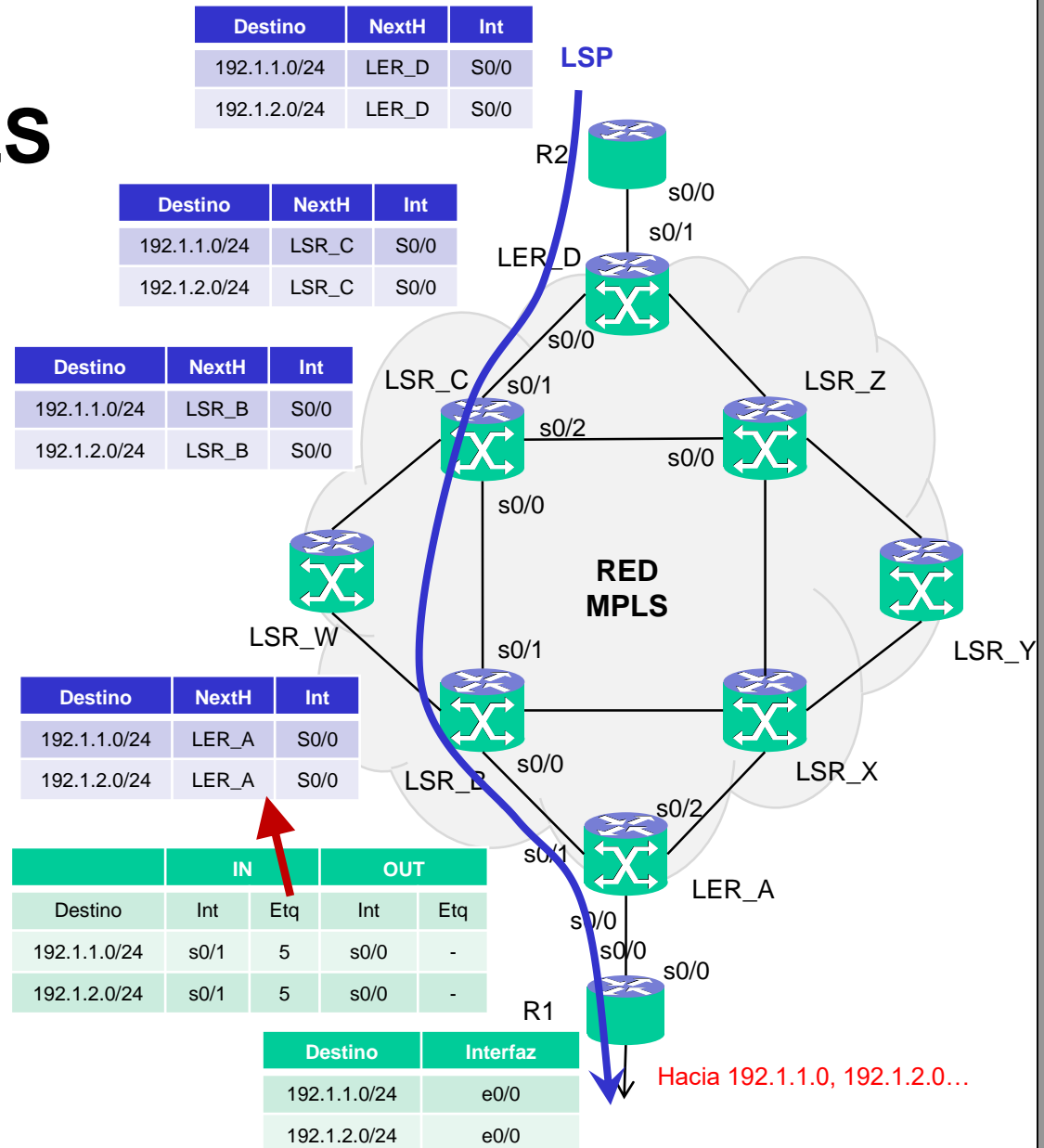


Ejemplo de MPLS

- Paso 2: El LSR elige una etiqueta no usada mediante LDP (la 5 por ejemplo).

Así un paquete que llegue por el *Serial1* con la etiqueta 5 será enviada por el *Serial0* sin etiqueta.

La flecha roja indica que se comunica el uso de la etiqueta 5 al siguiente LSR .



Ejemplo de MPLS

- Paso 3: El siguiente LSR almacena la etiqueta 5 (como etiqueta de salida) en su LIB asociada con la *Serial0*.

Escoge la etiqueta 17 (como etiqueta de entrada) y la asocia con el *Serial1* y lo propaga al siguiente LSR vía LDP.

De este modo los paquetes que lleguen por el *Serial1* con la etiqueta 17 se enviaran por la *Serial0* con la etiqueta 5.

Destino	NextH	Int
192.1.1.0/24	LER_D	S0/0
192.1.2.0/24	LER_D	S0/0

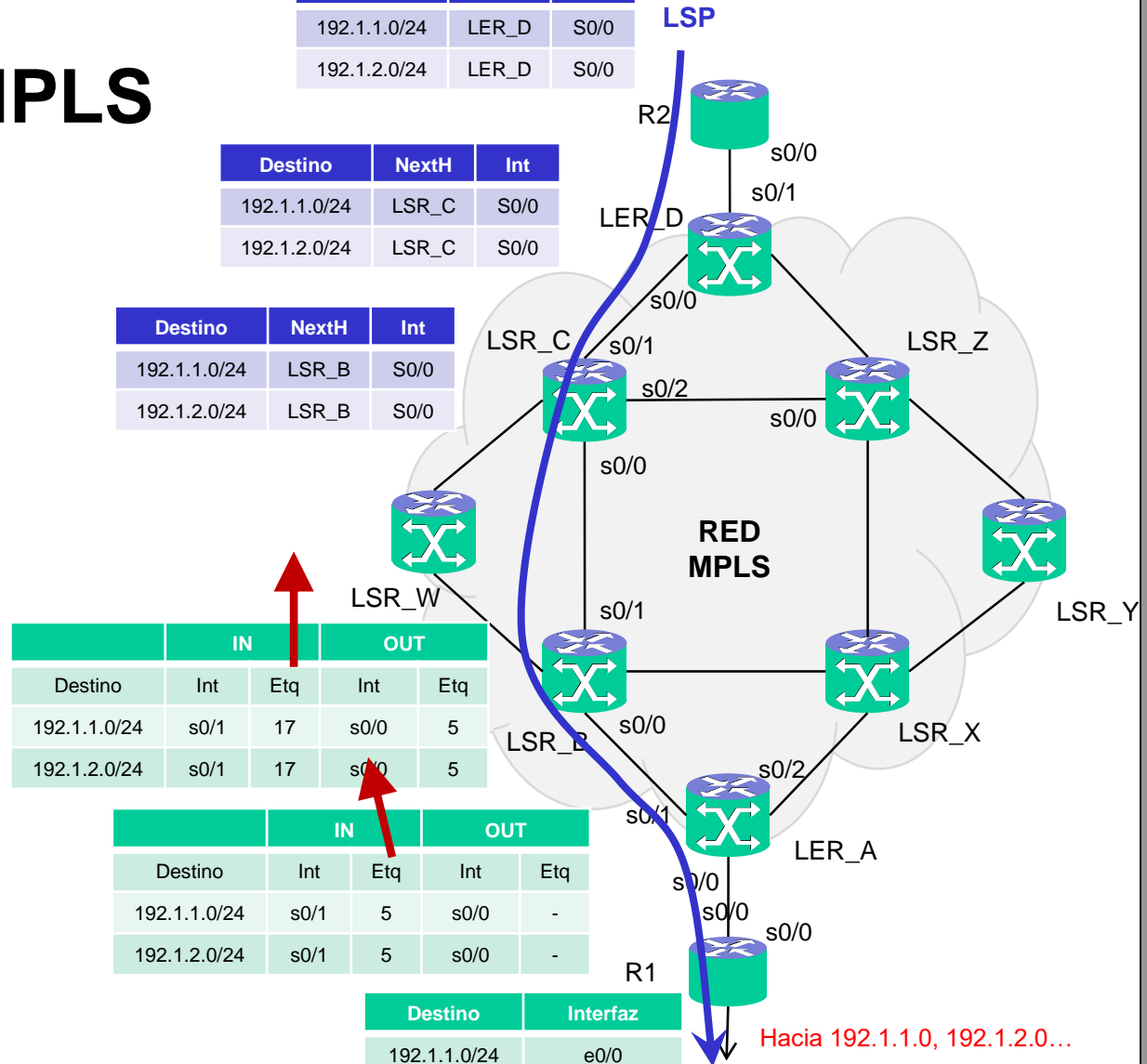
Destino	NextH	Int
192.1.1.0/24	LSR_C	S0/0
192.1.2.0/24	LSR_C	S0/0

Destino	NextH	Int
192.1.1.0/24	LSR_B	S0/0
192.1.2.0/24	LSR_B	S0/0

Destino	IN			OUT	
	Int	Etq	Int	Etq	
192.1.1.0/24	s0/1	17	s0/0	5	
192.1.2.0/24	s0/1	17	s0/0	5	

Destino	IN		OUT	
	Int	Etq	Int	Etq
192.1.1.0/24	s0/1	5	s0/0	-
192.1.2.0/24	s0/1	5	s0/0	-

Destino	Interfaz
192.1.1.0/24	e0/0
192.1.2.0/24	e0/0



Hacia 192.1.1.0, 192.1.2.0...

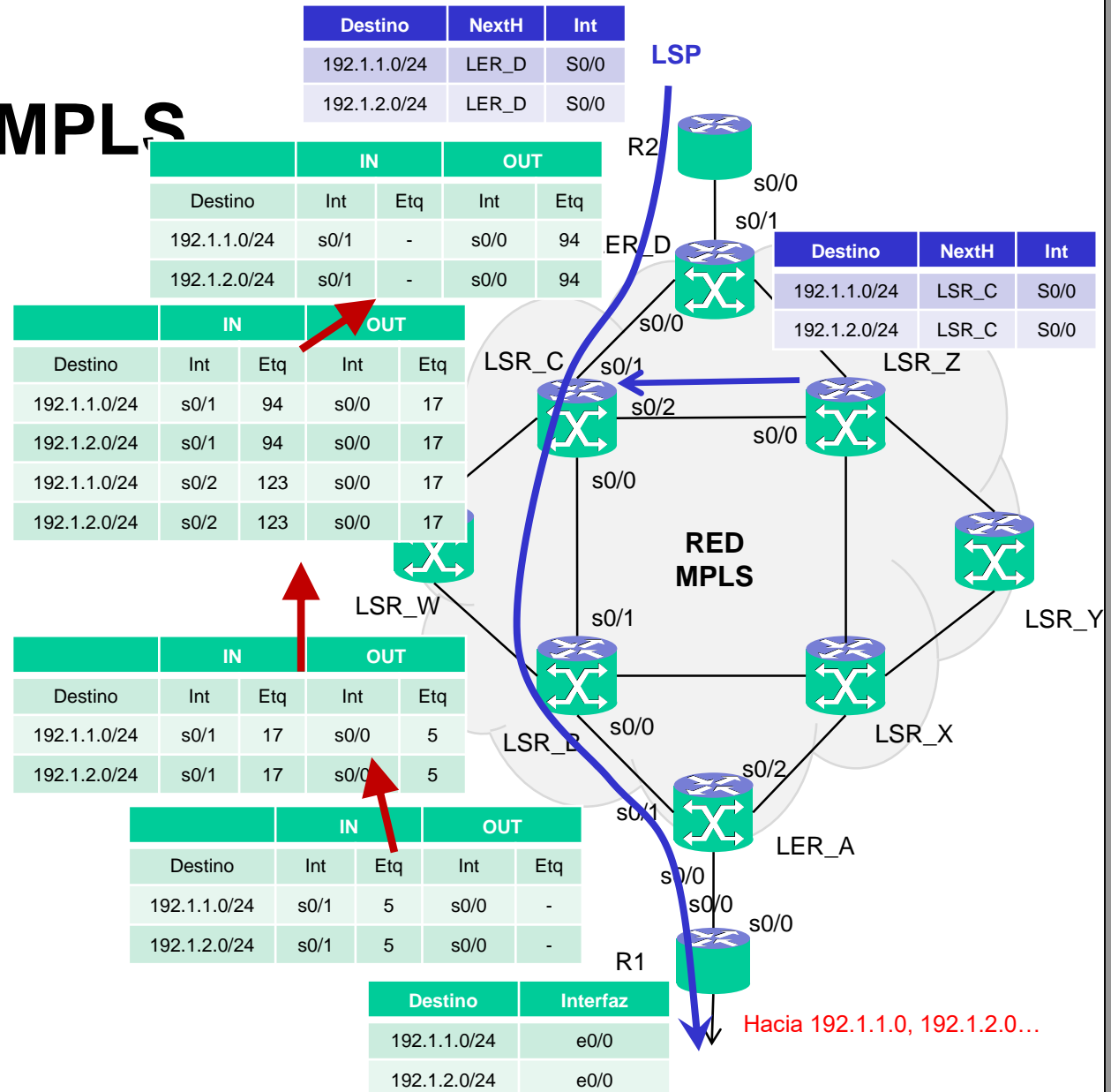
Ejemplo de MPLS

- Pasos 4 y 5: Se procede de forma similar a los anteriores pasos.

La tabla del paso 4 es más grande porque se actualiza con información del LSR de la derecha.

La tabla del LSR frontera (paso 5) solo tiene etiquetas de salida porque esta conectado al router no-MPLS emisor.

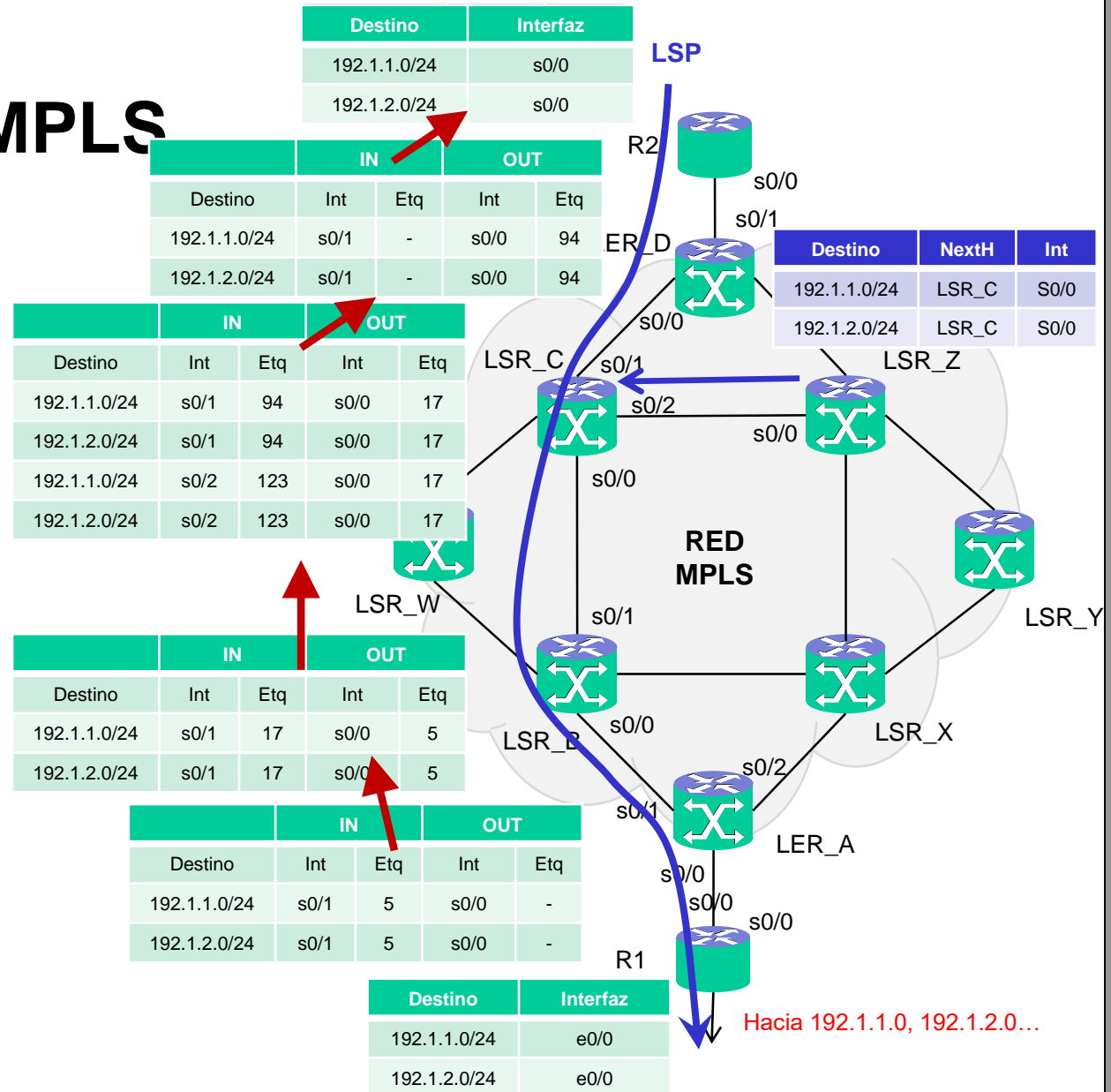
El LSP establecido queda señalado con la flecha azul marino.



Ejemplo de MPLS

- Paso 6: El LSR frontera envía información de routing al router externo.

Éste actualiza sus tablas de routing, de modo que para enviar paquetes a las redes de clase C del router de la parte inferior, lo hará a través del *Serial0*.

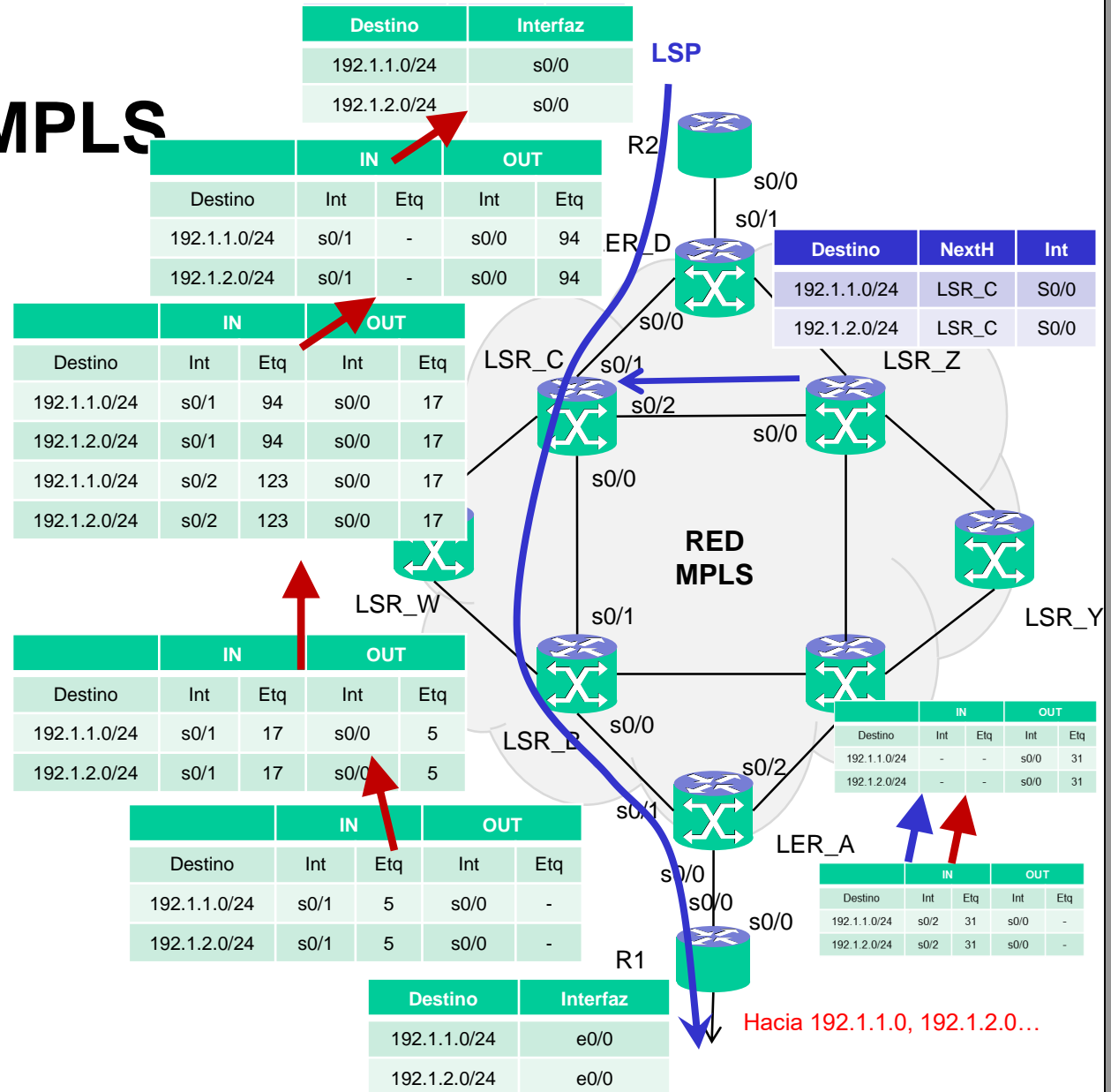


Ejemplo de MPLS

- Pasos 7 y 8: El LSR frontera del fondo también propaga la información de routing al LSR que tiene conectado por el *Serial2*.

Éste actúa de forma similar y propaga la información al otro LSR.

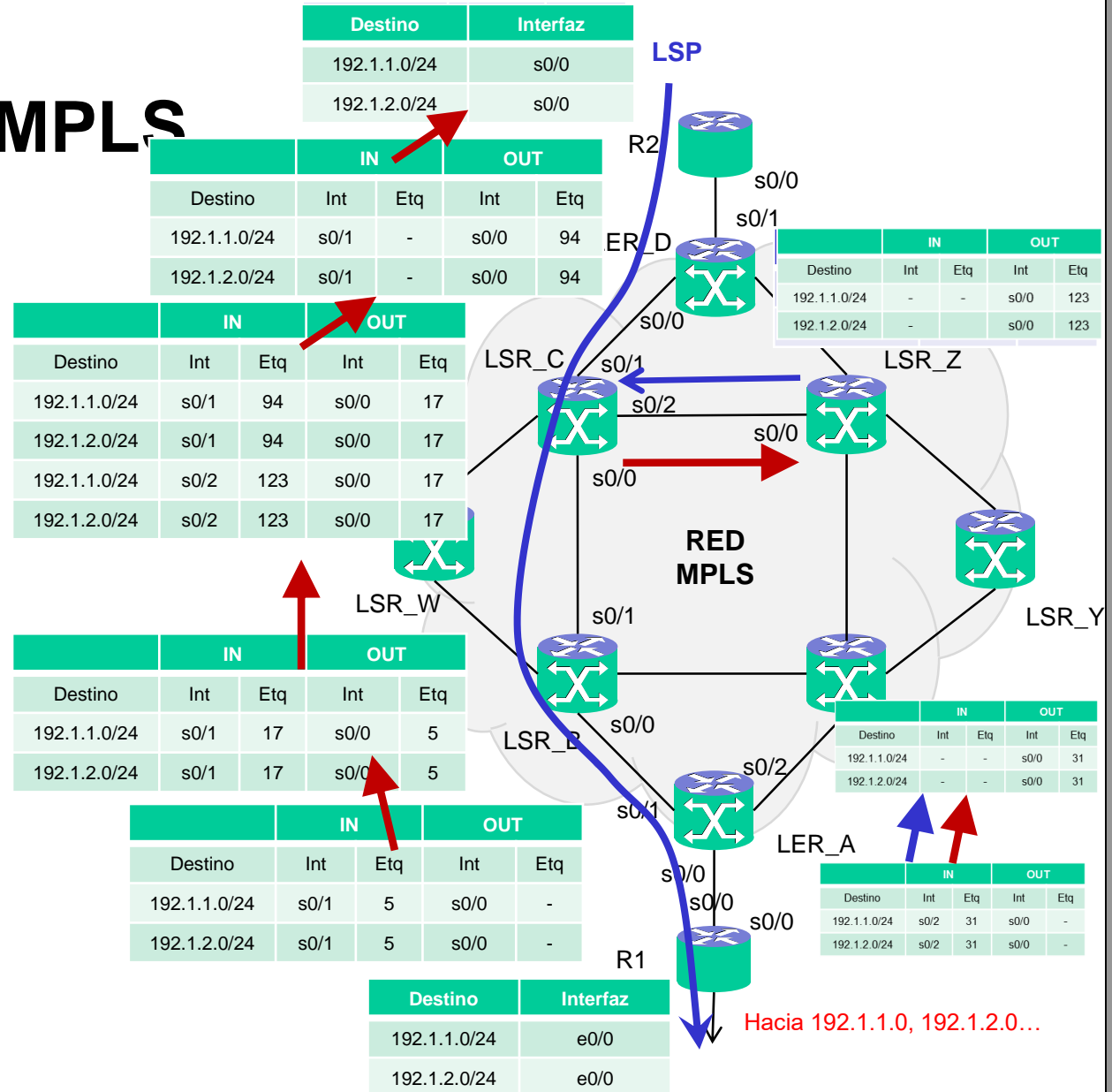
Se supone que se seguiría propagando por todos los LSR



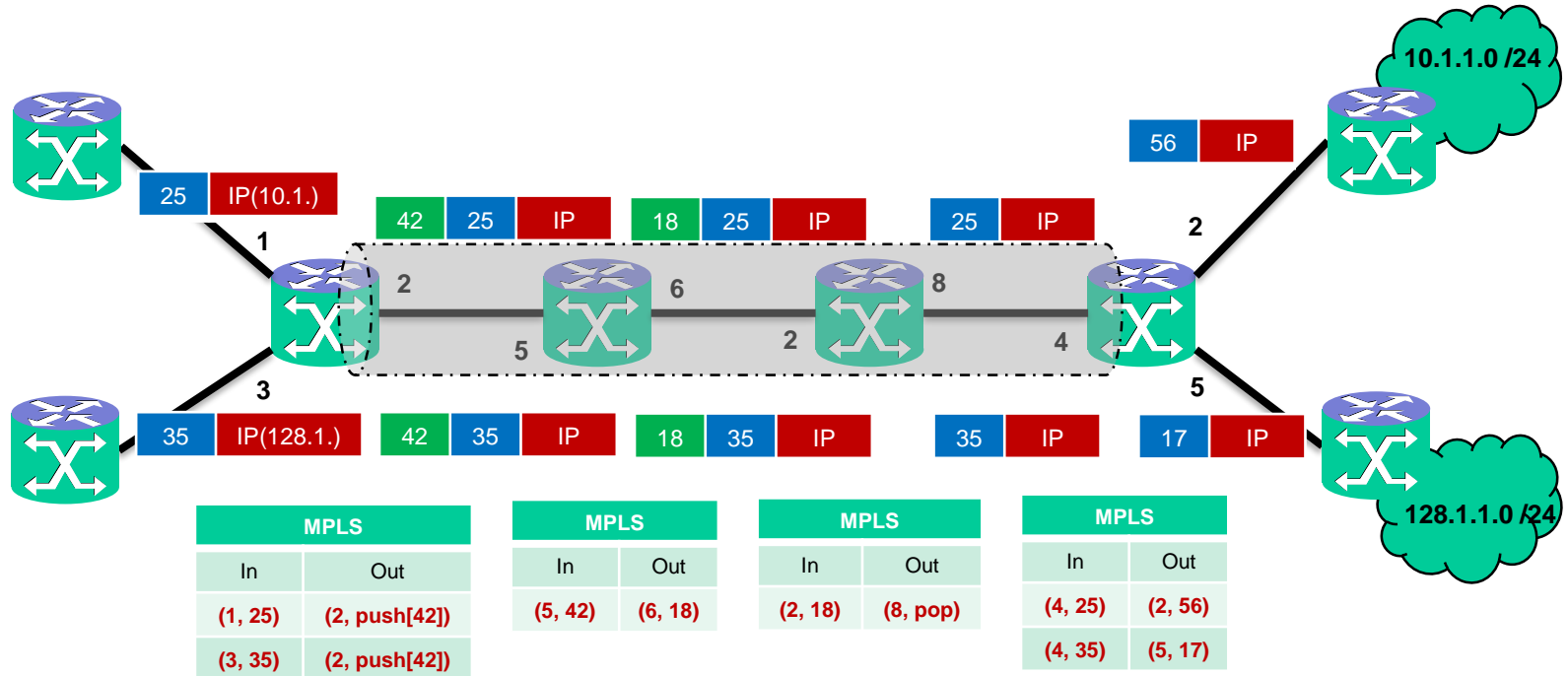
Hacia 192.1.1.0, 192.1.2.0...

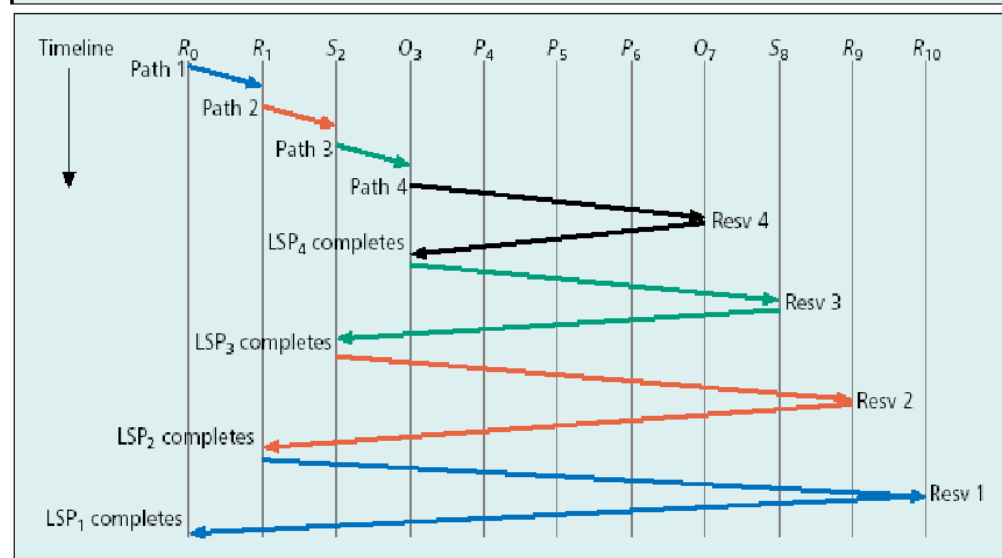
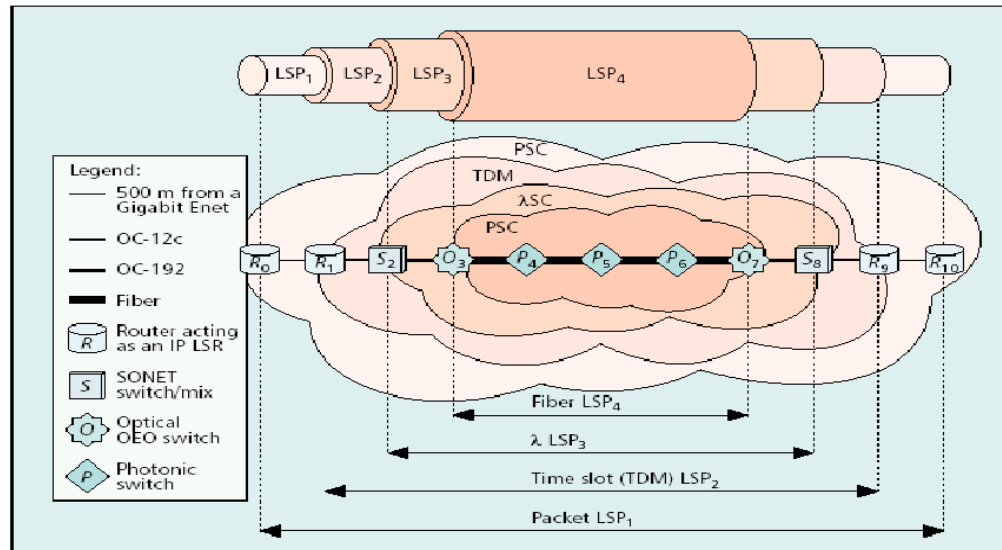
Ejemplo de MPLS

- Paso 9: El LSR recibe información de routing del LSR de la izquierda y actualiza su tabla LIB.
- Podemos observar el comportamiento multipunto del MPLS en el LSR del paso 4 ya que todos los paquetes que entran son etiquetados con la misma etiqueta (17) y enviados por el *Serial0*.



Ejm 4: Nesting



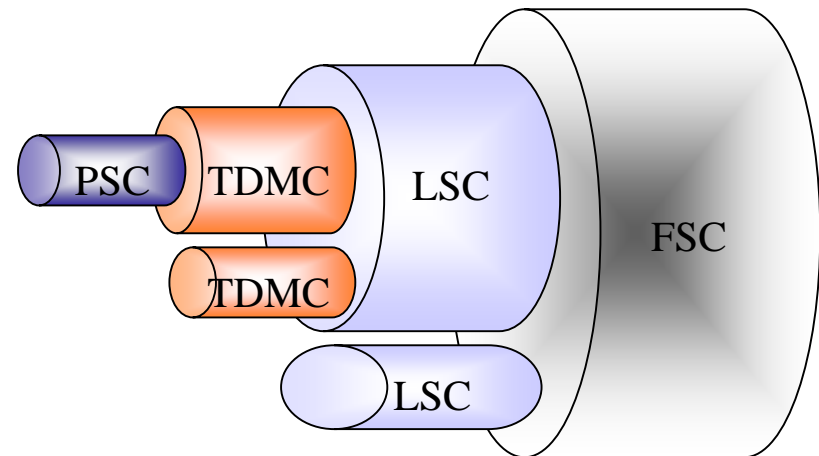


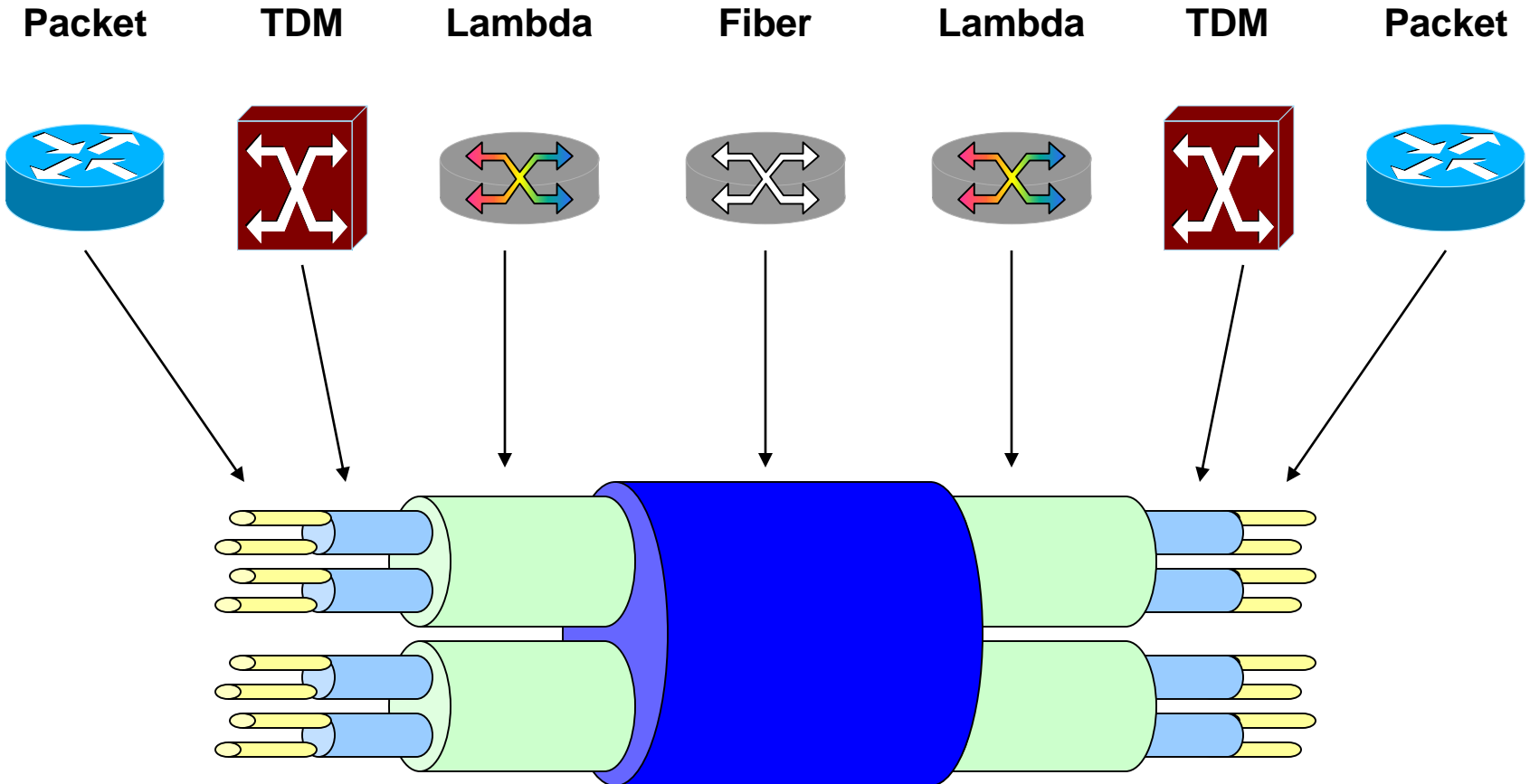
MPLS: ¿y ya está?

- Circuitos Virtuales → Circuitos Reales
- Etiquetas reales → “Etiquetas virtuales”
 - TDM: los slots temporales (ejm. SONET)
 - FDM: las frecuencias (o las lambdas) (ejm. WDM)
 - SDM (Space-Division Multiplexing): los números de puerto (ejm. OXCs)
- Etiquetas generales MPLS = Generalized MPLS

Hacia el “Todo Optico”: GMPLS

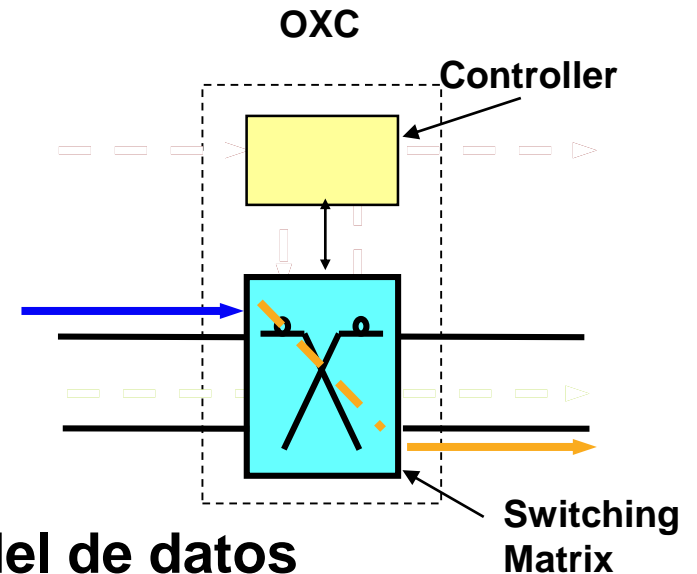
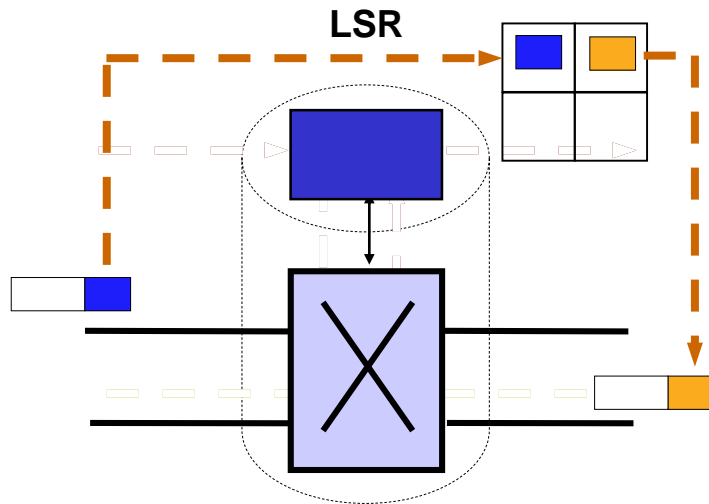
- GMPLS se desarrolla desde MPLS
 - Aplica el plano de control de MPLS sobre los conmutadores ópticos
 - Se extiende el enrutamiento IP para el cálculo de LSP, incluso en la parte óptica
- pero añade
 - Se separan los planos de Control y Datos
 - Soporte de múltiples interfaces, incluso combinados
- Extiende MPLS para cubrir todo el dominio Optico:
 - Packet Switch Capable (PSC)
 - Layer 2 Switch Capable (L2SC)
 - Time Division Multiplexing Capable (TDMC)
 - Lambda Switch Capable (LSC)
 - Fiber Switch Capable (FSC)
- Mantiene el soporte multiprotocolo (ATM, IP, SONET/SDH, etc)
- Los LSP son siempre entre idénticos interfaces, pudiendo ser bidireccionales
- Las etiquetas son asignadas por el nodo upstream
- Provee soporte para notificación rápida de fallos
- Asignación dinámica de BW
- Codificación extendida del payload





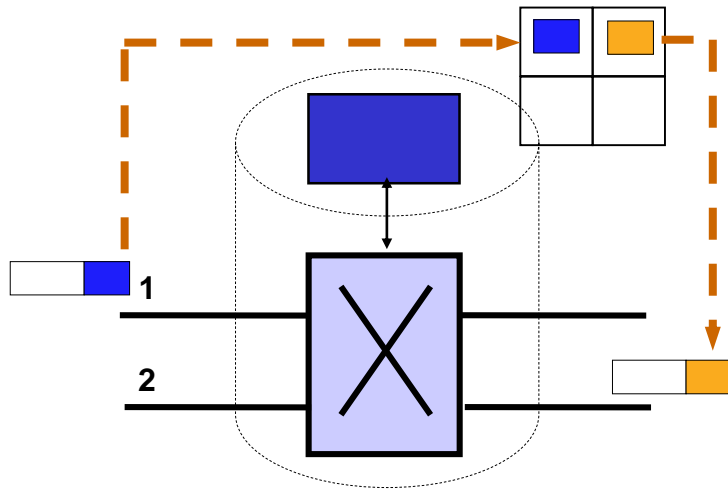
MPLS unifica el plano de control independientemente de la tecnología

Separación del Plano de Control: GMPLS vs. Optico

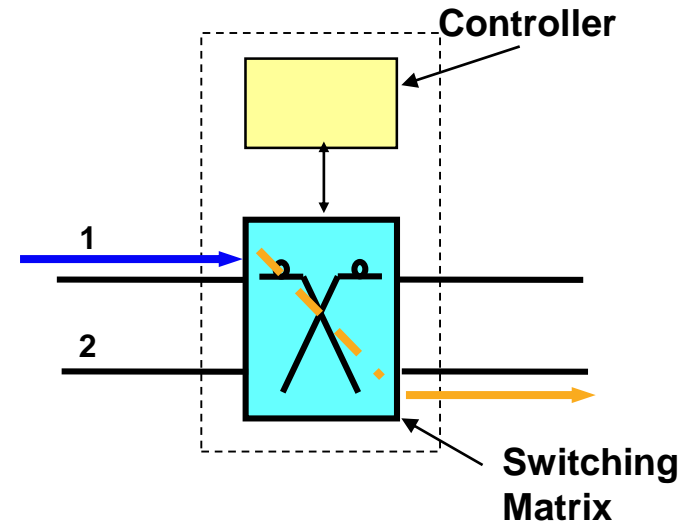


- **Ambos separan el plano de control del de datos**
 - El path es obtenido por el plano de control
 - Los datos son reenviados por el plano de datos
- **Ambos realizan un procesado similar en el plano de datos**
 - El LSR utiliza el etiquetado para conmutar los paquetes etiquetados
 - El OXC utiliza la matriz de conmutación para conectar canales (fibras)

Plano de Datos: GMPLS vs. Optico



$\langle 1, \text{label } \blacksquare \rangle \rightarrow \langle 2, \text{label } \blacksquare \rangle$



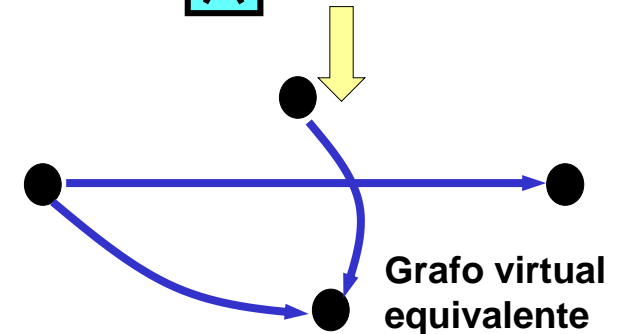
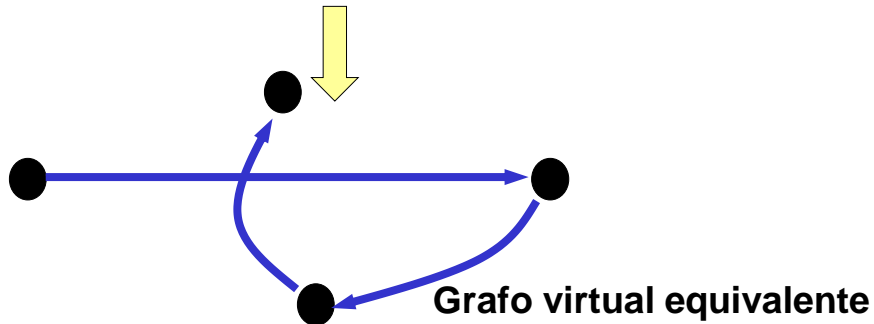
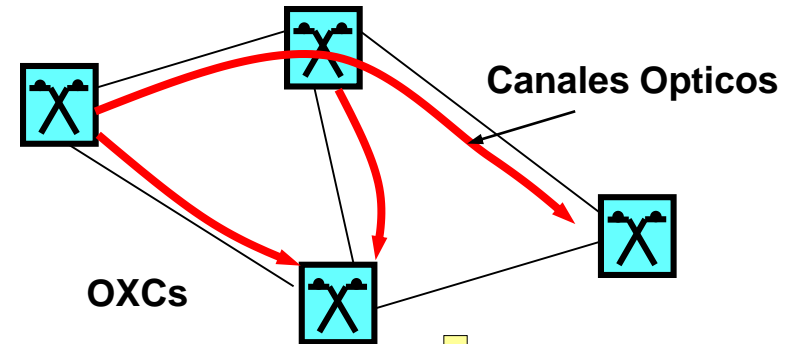
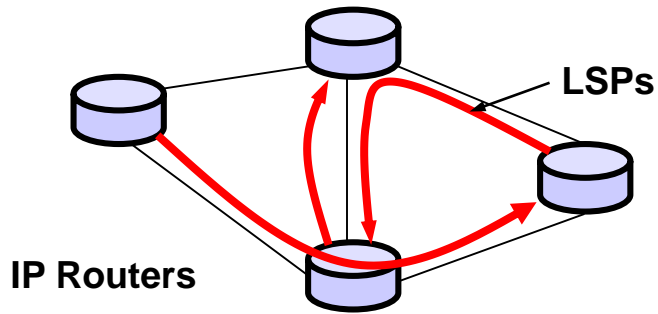
$\langle 1, \lambda \blacksquare \rangle \rightarrow \langle 2, \lambda \blacksquare \rangle$

- **Relación entre ambos planos de datos:**

- LSR: $\langle in_port, in_label \rangle \rightarrow \langle out_port, out_label \rangle$

- OXC: $\langle in_port, in_channel \rangle \rightarrow \langle out_port, out_channel \rangle$

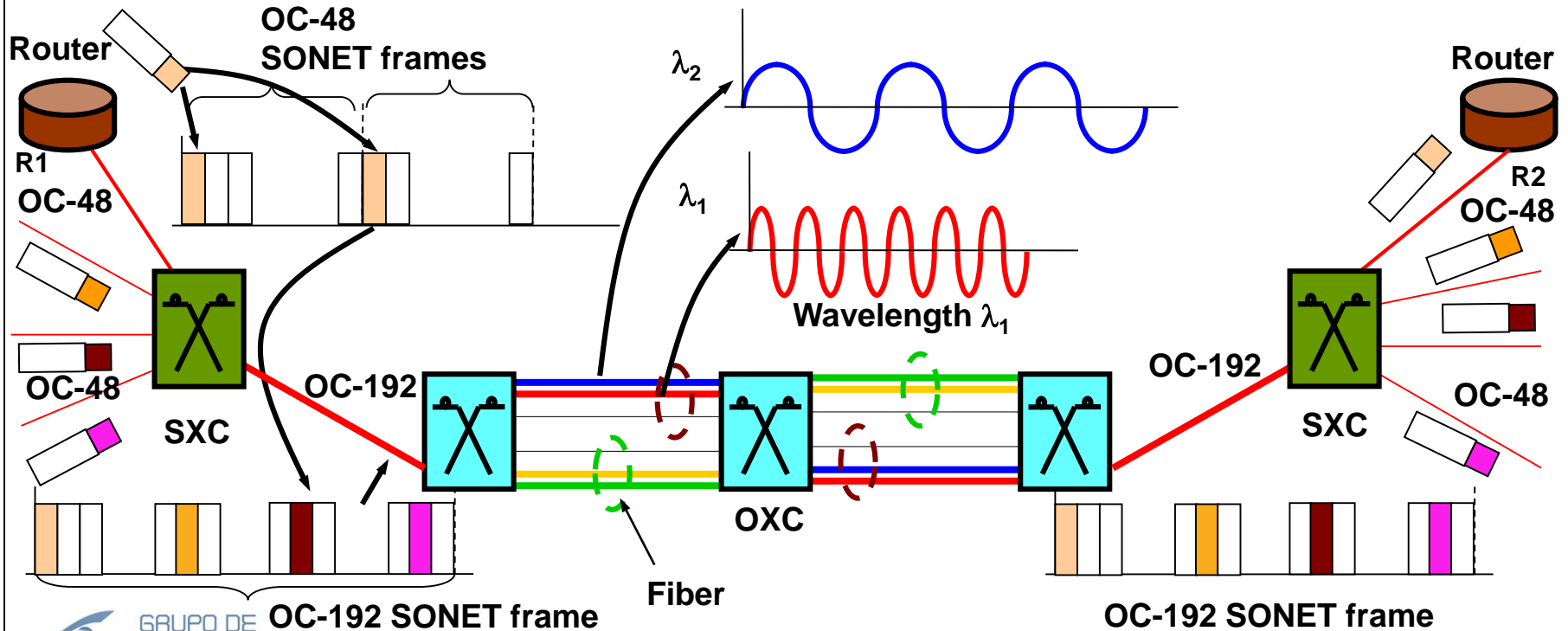
Plano de Control: GMPLS vs Optico



- Virtualmente cada conexión actúa como un punto a punto
- El grafo virtual resultante se aplica en las capas inferiores
- Los datos son transparentes durante todo el recorrido
- Técnicas Constraint-Based Routing (CBR) seleccionan los paths

Plano de Control: Problema

- Los enlaces tienen características diferentes:
 - No manejadas en el extremo
 - Conmutación de fibras
 - Conmutación de lambdas
- Manejadas por los extremos
 - SONET
 - Conmutación de paquetes



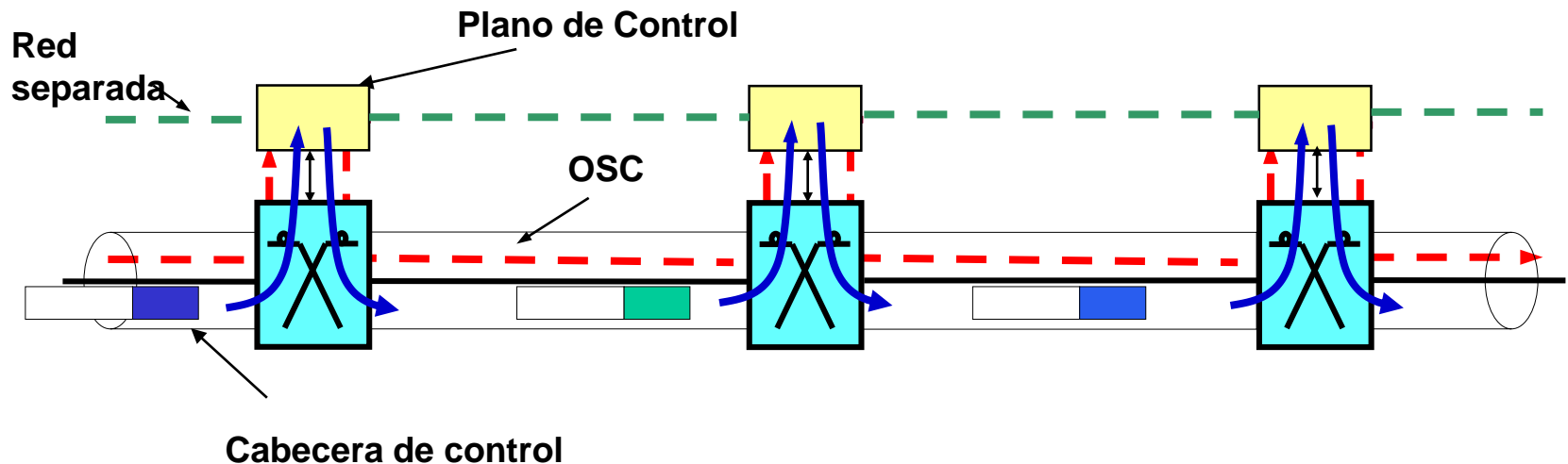
Plano de Control: Modos

Out-of-band

- Via un canal de supervisión óptico (OSC)
- Via una red IP aparte

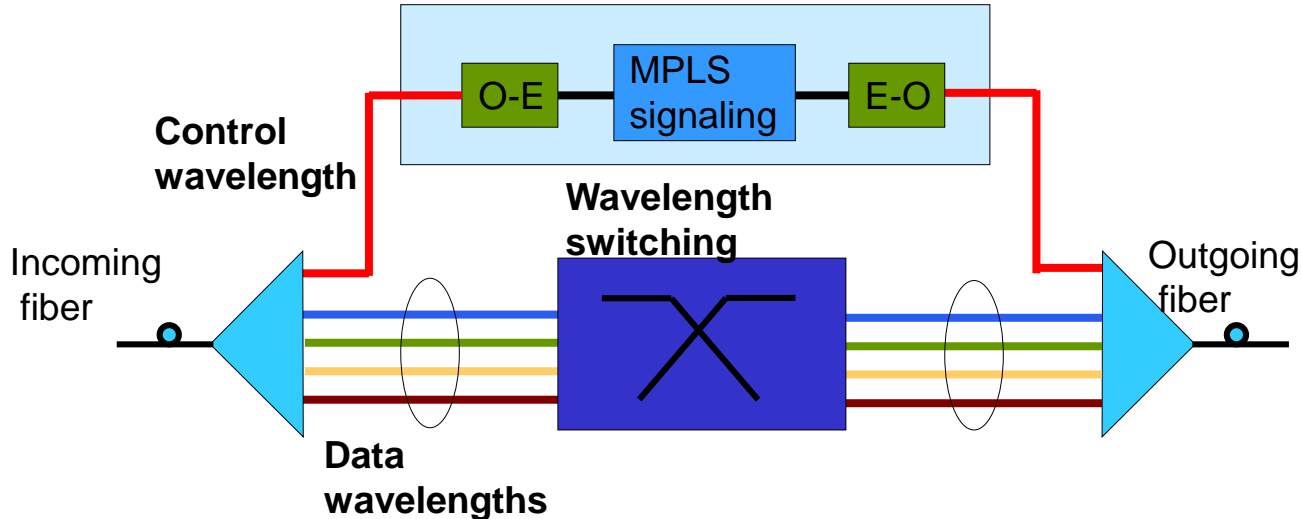
In-band

- Via cabeceras adicionales o integradas (SONET)
- Via Sub-Carrier Modulation (SCM) sobre el canal óptico



Plano de Control: Señalización Out-in-band

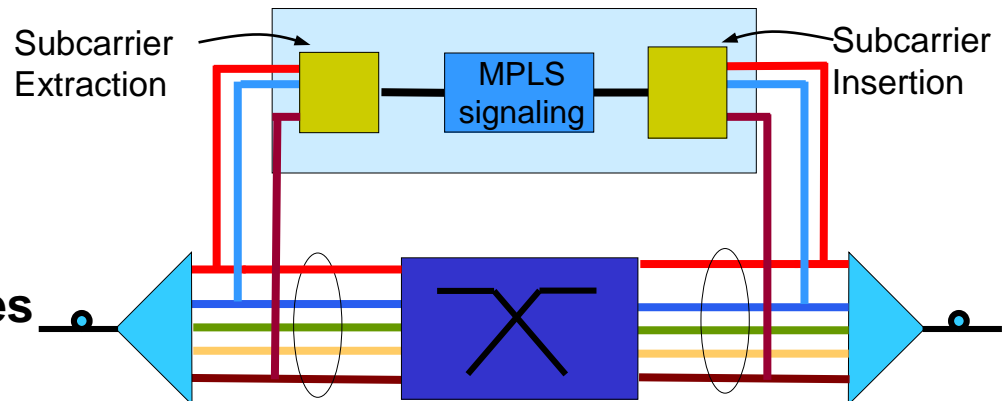
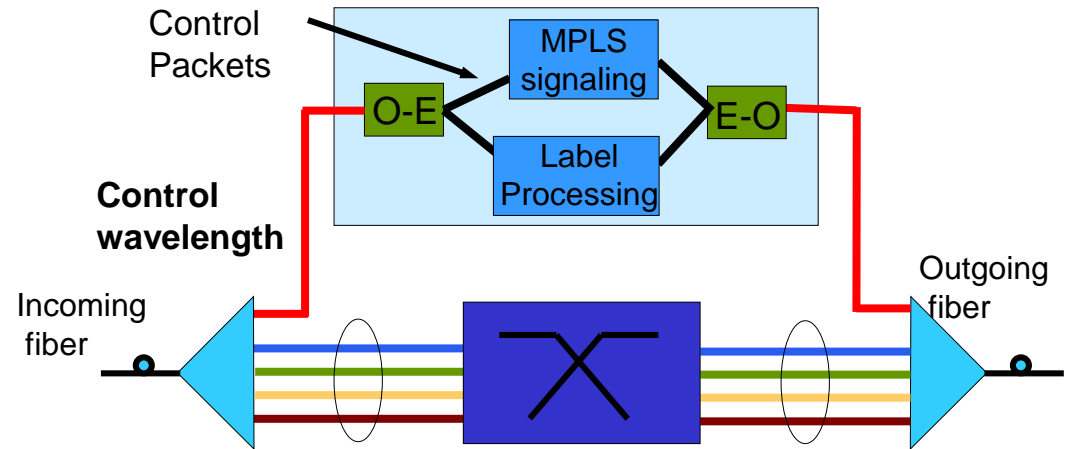
- Utiliza una λ exclusivamente para OSC
 - Disponible en función del mecanismo de multiplexación de lambdas



- Es una forma de implementar una red totalmente aparte

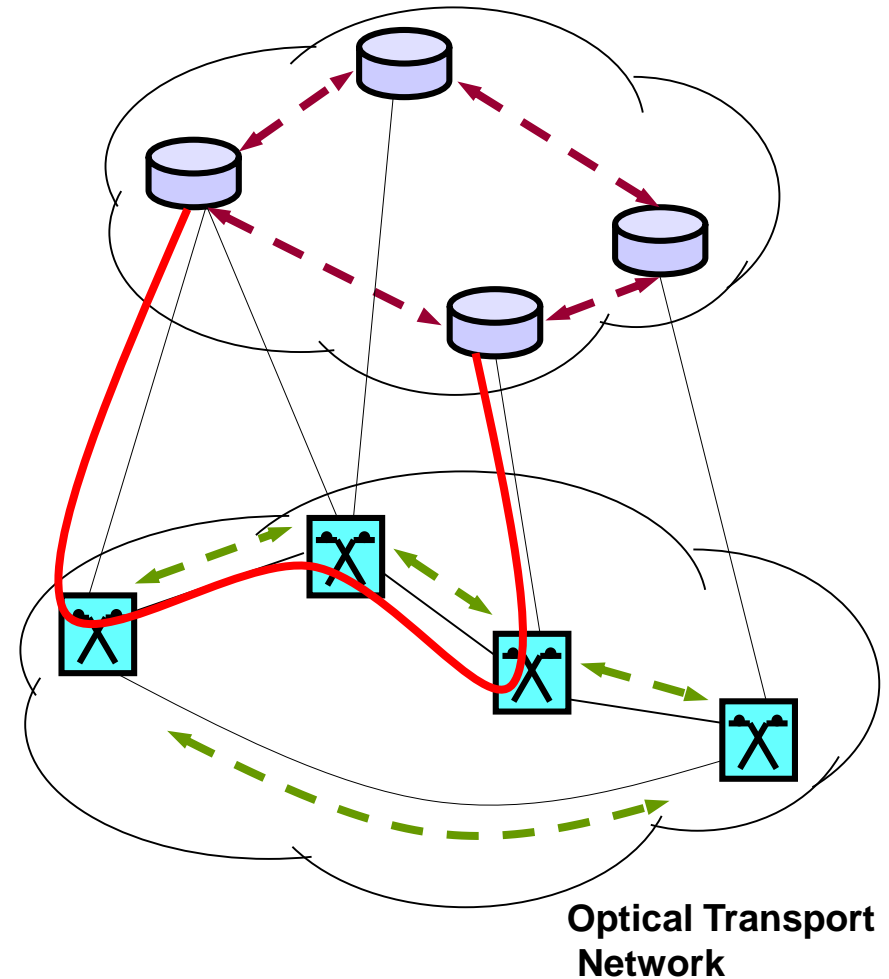
Plano de Control: Señalización In-band

- Reserva parte de BW de una λ para la señalización MPLS
 - Util si se dispone de un n^0 de λ limitado
 - Introduce O-E-O en cada nodo
- Sub-Carrier Modulation
 - Implementa un canal de control de Mb/s
- Uso de cabeceras adicionales
 - Introduce O-E-O en todos los dispositivos



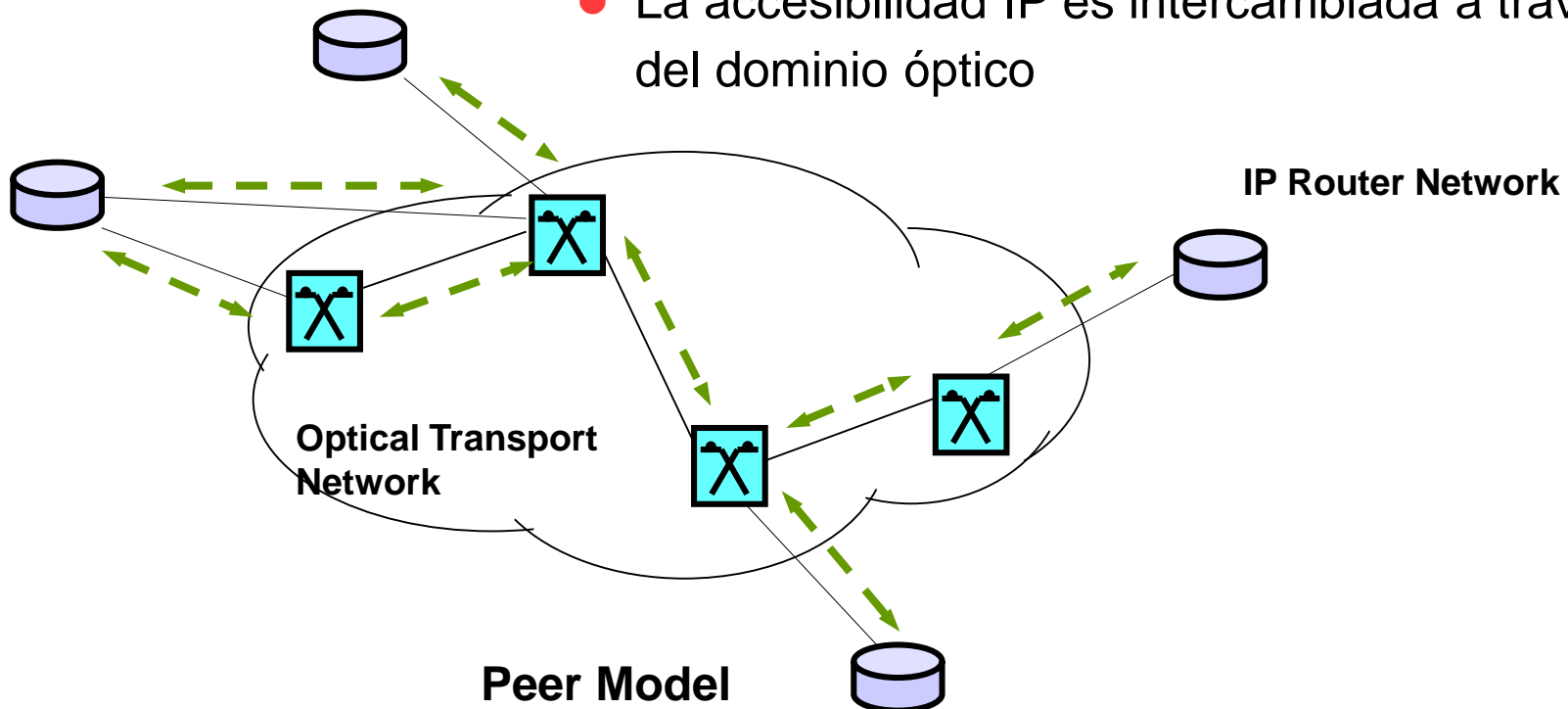
Plano de Control: Modelo Overlay

- **Utiliza instancias del plano de control diferentes en el dominio óptico y en el de IP**
 - El dominio IP es “cliente” del dominio óptico
 - El dominio óptico provee canales ópticos punto a punto entre cada par de elementos IP
 - Aisla totalmente ambos planos de control



Plano de Control: Modelo de Pares

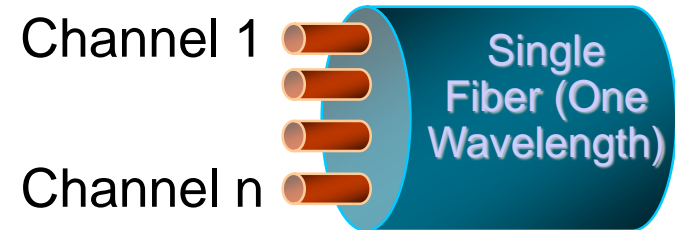
- Utiliza una única instancia tanto para el plano de control óptico como IP
 - Ambos dominios utilizan pilas de protocolos de señalización y enrutamiento similares
 - La accesibilidad IP es intercambiada a través del dominio óptico



La capa física: Multiplexación óptica

■ TDM

- Una única longitud de onda por fibra
- Varios canales por fibra
- 4 OC-3 en un OC-12
- 4 OC-12 en un OC-48
- 16 OC-3 en un OC-48



■ WDM

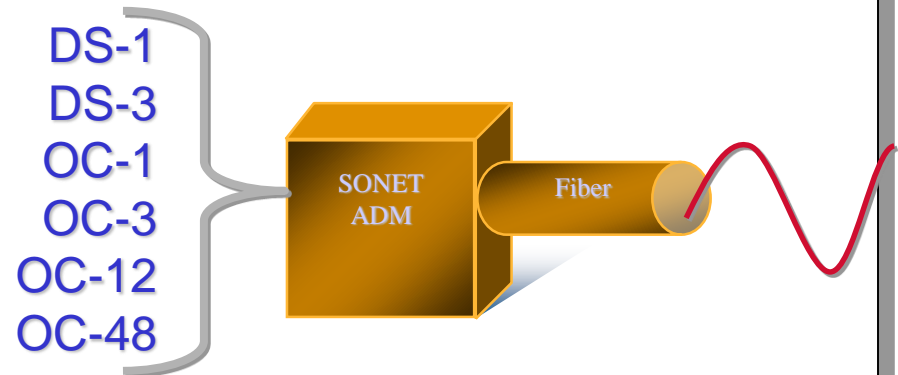
- Varias longitudes de onda por fibra
- 4, 16, 32, 64 canales por sistema
- Varios canales por fibra



SDH vs WDM

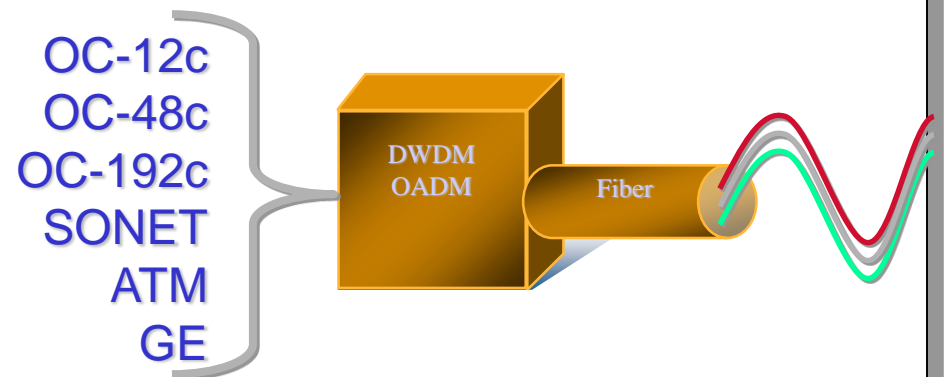
■ TDM (SONET/SDH)

- Multiplexa señales síncronas y asíncronas en uná única tasa de bit con tecnología óptica
- Requiere conversiones E/O u O/E/O



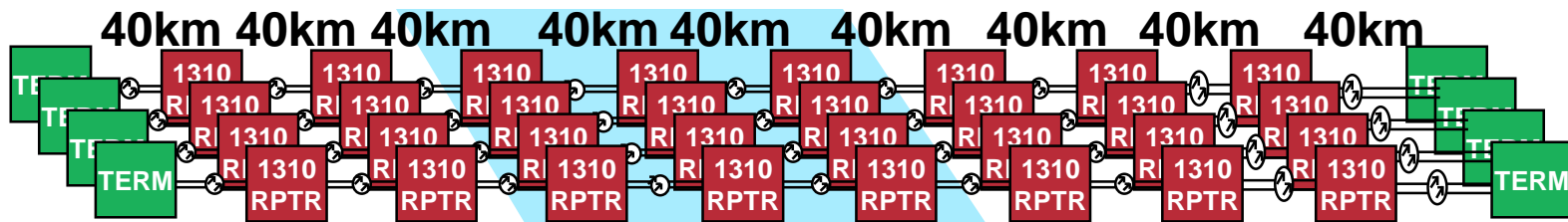
■ (D)WDM

- Multiplexa varias señales ópticas en una sola fibra
- No hay conversiones de señal



SDH vs. WDM

Transmisión convencional TDM—10 Gbps



Transmisión DWDM—10 Gbps

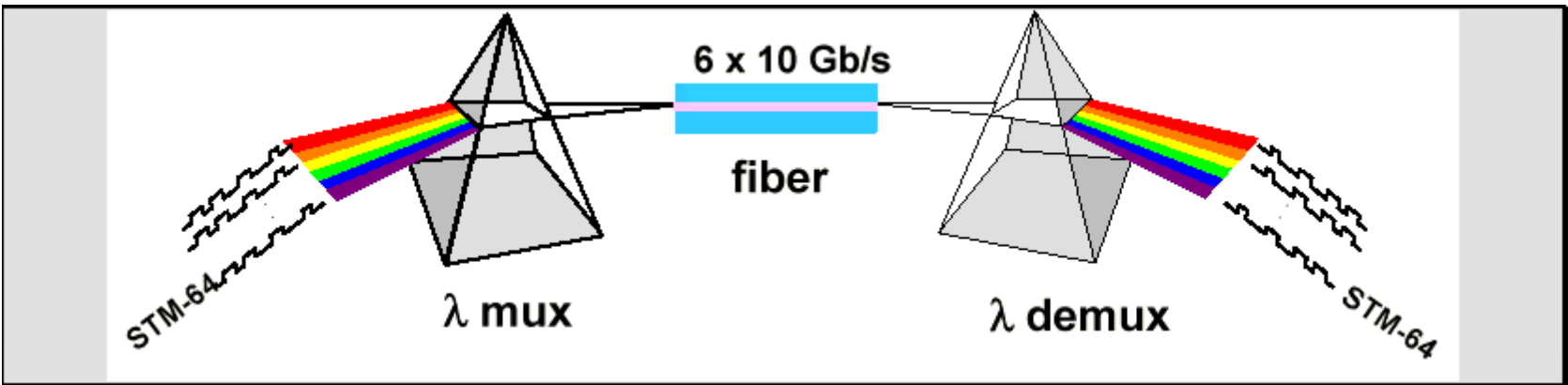


4 Pares de fibras
32 Regeneradores

1 Par de Fibras
4 Amplificadores Opticos

Un mundo óptico: WDM

- WDM (Wavelength Division Multiplexing, multiplexación por división en longitudes de onda) consiste en:
 - Enviar varias señales a diferentes longitudes de onda (diferentes λ) por una misma fibra (luz de varios 'colores')
- WDM puede ser:
 - Densa (DWDM, 'Dense' WDM): se utilizan 16 o más
 - Ligera (CWDM 'Coarse' WDM): se utilizan 2 ó 4

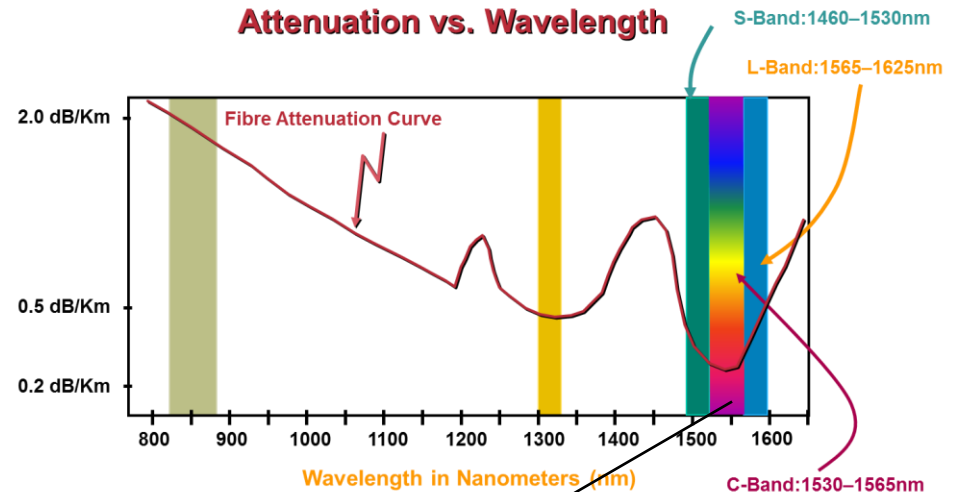


WDM: Coarse vs. Dense

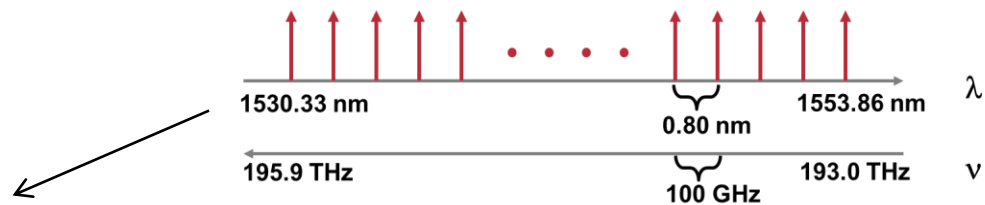
Característica	CWDM	DWDM
Número de canales	18	40 – 320
Longitudes de onda	1270 – 1610 nm	1530-1625 nm
Estándar ITU-T	G.694.2	G.694.1
Separación entre canales	20 nm	0,8 nm (100 GHz): 40 canales 0,4 nm (50 GHz): 80 canales 0,2 nm (25 GHz): 160 canales 0,1 nm (12,5 GHz): 320 canales
Alcance max.	60 Km (aprox)	Ilimitado (con amplificadores y repetidores)
Aplicación	LAN, MAN	MAN, WAN
Costo	Bajo	Medio-Alto

WDM: Definición de canales

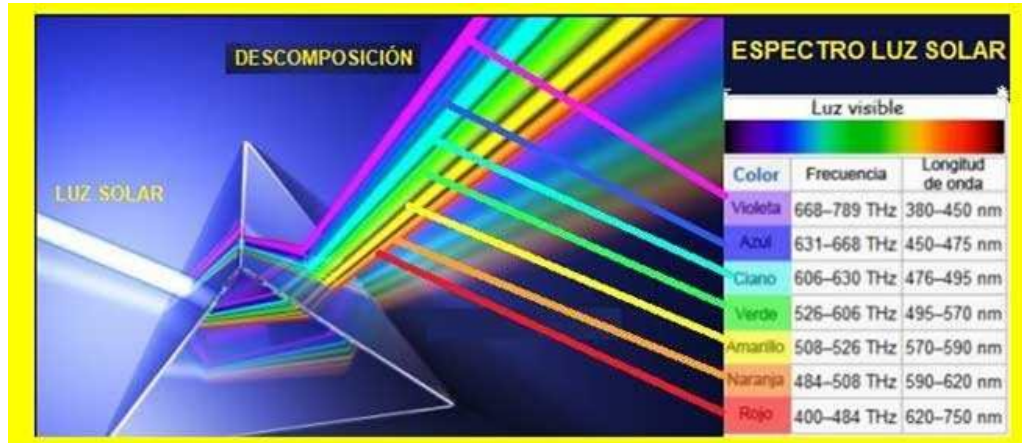
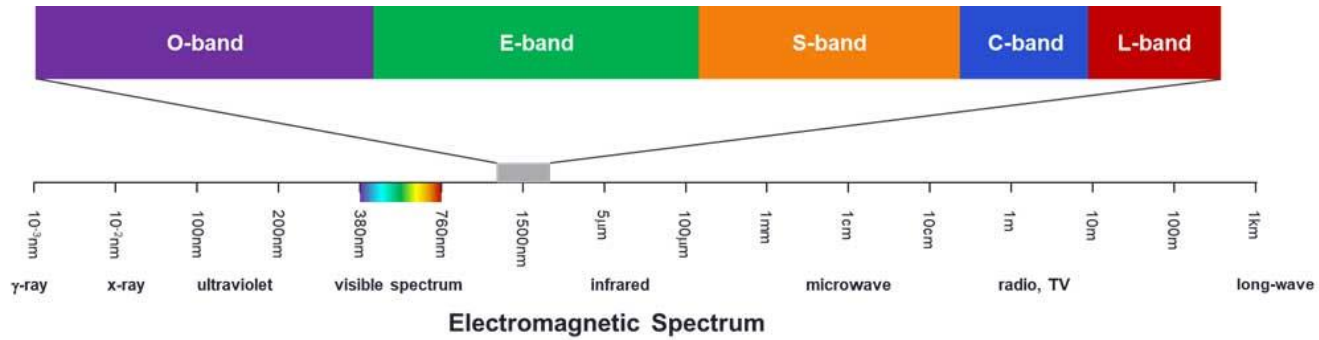
Band	Wavelength (nm)
	820 - 900
	1260 - 1360
“New Band”	1360 - 1460
S-Band	1460 - 1530
C-Band	1530 - 1565
L-Band	1565 - 1625
U-Band	1625 - 1675



Frecuencia (THz)	Long. onda (nm)	Frecuencia (THz)	Long. onda (nm)	Frecuencia (THz)	Long. onda (nm)
196,1	1528,77	194,6	1540,56	193,1	1552,52
196,0	1529,55	194,5	1541,35	193,0	1553,33
195,9	1530,33	194,4	1542,14	192,9	1554,13
195,8	1531,12	194,3	1542,94	192,8	1554,94
195,7	1531,9	194,2	1543,73	192,7	1555,75
195,6	1532,68	194,1	1544,53	192,6	1556,56
195,5	1533,47	194,0	1545,32	192,5	1557,36
195,4	1534,25	193,9	1546,12	192,4	1558,17
195,3	1535,04	193,8	1546,92	192,3	1558,98
195,2	1535,82	193,7	1547,72	192,2	1559,79
195,1	1536,61	193,6	1548,51	192,1	1560,61
195,0	1537,40	193,5	1549,32	192,0	1561,42
194,9	1538,19	193,4	1550,12	191,9	1562,23
194,8	1538,98	193,3	1550,92	191,8	1563,05
194,7	1539,77	193,2	1551,72	191,7	1563,86



- ITU-T λ grid toma como base 191.7 THz \pm 100 GHz
- Es el estándar para un laser para sistemas DWDM

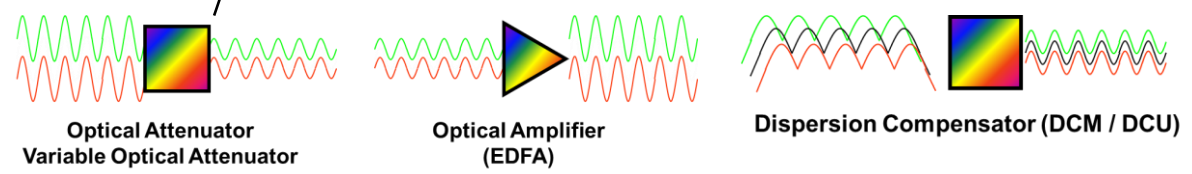
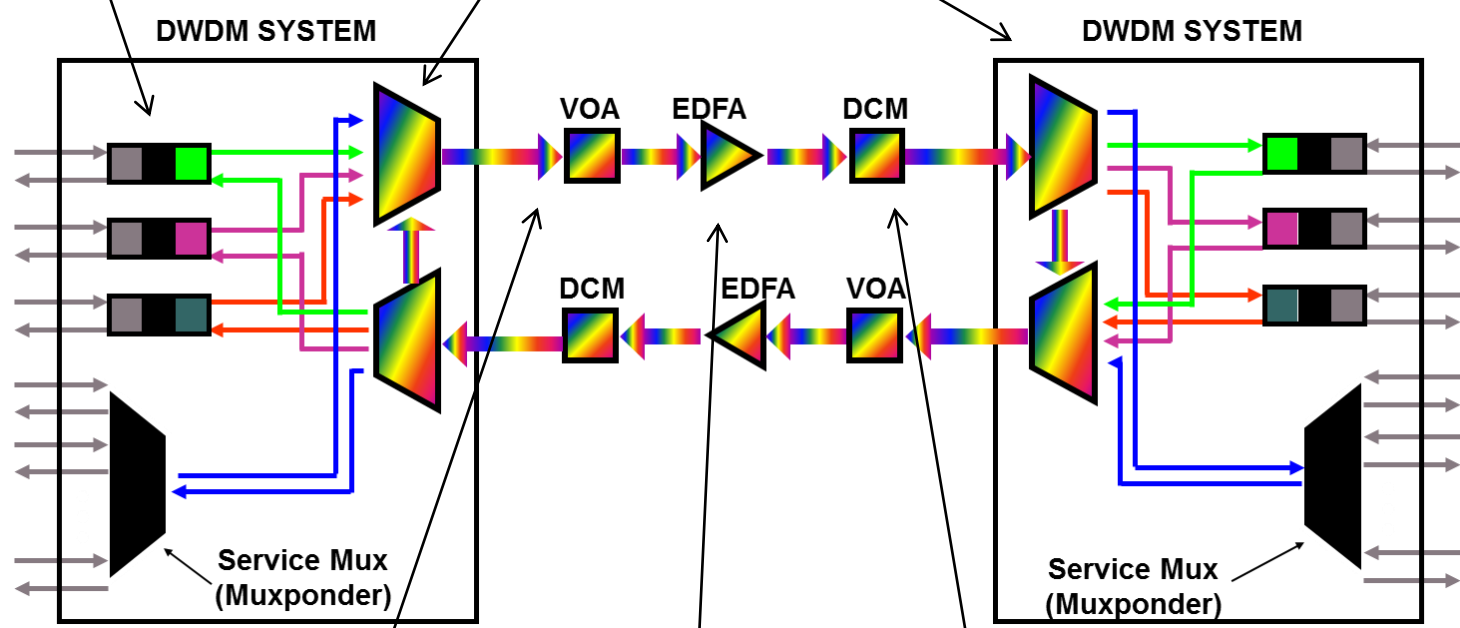
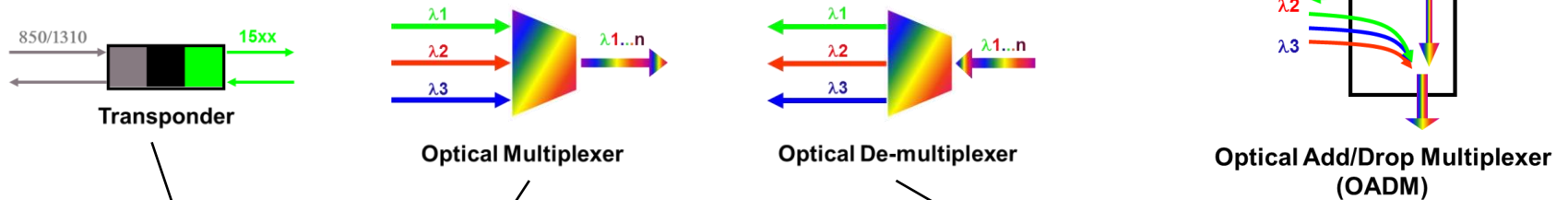


Center Wavelength	Bail Color	Color Code
1270nm	Grey	
1290nm	Grey	
1310nm	Grey	
1330nm	Violet	
1350nm	Blue	
1370nm	Green	
1390nm	Yellow	
1410nm	Orange	
1430nm	Red	
1450nm	Brown	
1470nm	Grey	
1490nm	Violet	
1510nm	Blue	
1530nm	Green	
1550nm	Yellow	
1570nm	Orange	
1590nm	Red	
1610nm	Brown	

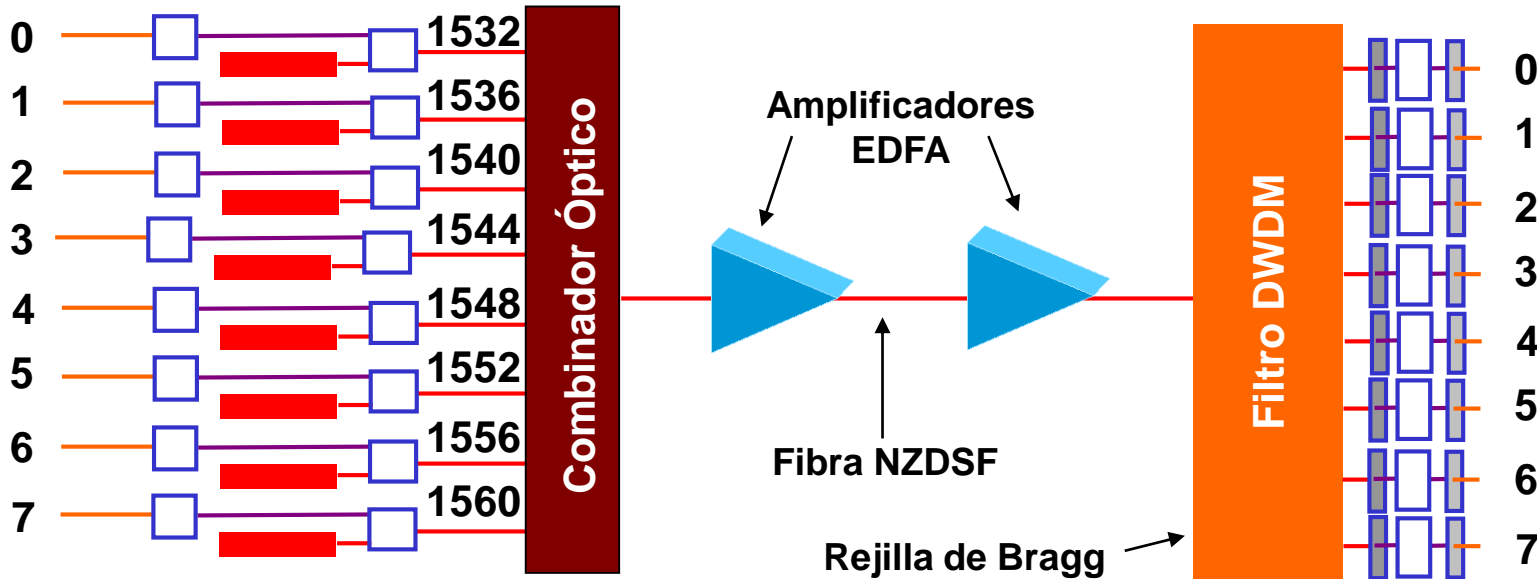
FSO (Free-space-optical)
 VLC (Visible Light Communication)
 IEEE 802.15.7 (VPAN)

	LiFi	WiFi	WiMAX	LTE	Bluetooth 5.0	ZigBee	NFC
Norma	IEEE 802.15.7	IEEE 802.11ac	IEEE 802.16m-2011	3GPP 4G	Bluetooth v5.0	IEEE 802.15.4	ISO 14443
Rango de frecuencias	385 - 784 THz	2,4 - 5 GHz	2-11 GHz	Multibanda	2,4 - 5GHz	2,4 GHz	13,56 MHz
Ancho de Banda	Ilimitado	160 MHz	20 MHz	20 MHz	2 MHz	9,15 MHz	13,56 MHz
Velocidad de transmisión	1Gbps	433 Mbps	100 Mbps móvil 1Gbps fijo	326,5 Mbps	50 Mbps	250 kbps	848 kbps
Cobertura	10 m	100 m	70 Km	5 km	240 m	10 m	0,2 m
Perdidas de propagación	170 dB	86 dB	140 dB	125dB (1km)	2dB	3dB	0,5 dB
Consumo	1mW	100 mW	30 W	1,26 W	1mW	1mW	1mW
Latencia	Muy baja	Media	Alta	Muy baja	Baja	Baja	Muy Baja
Medidas de seguridad	Sin regular	Intensidad regulada	Intensidad regulada	Intensidad regulada	Intensidad regulada	Intensidad regulada	Intensidad regulada
Seguridad en la transmisión	Alta	Limitada	Limitada	Media	Alta	Alta	Alta
Coste de red	Bajo	Medio	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Bajo
Complejidad del sistema	Bajo	Alta	Alta	Alta	Bajo	Bajo	Bajo
Impacto medioambiental	No	Si	Si	Si	No	No	No
Interferencias electromagnéticas	No	Si	Si	Si	No	No	Si

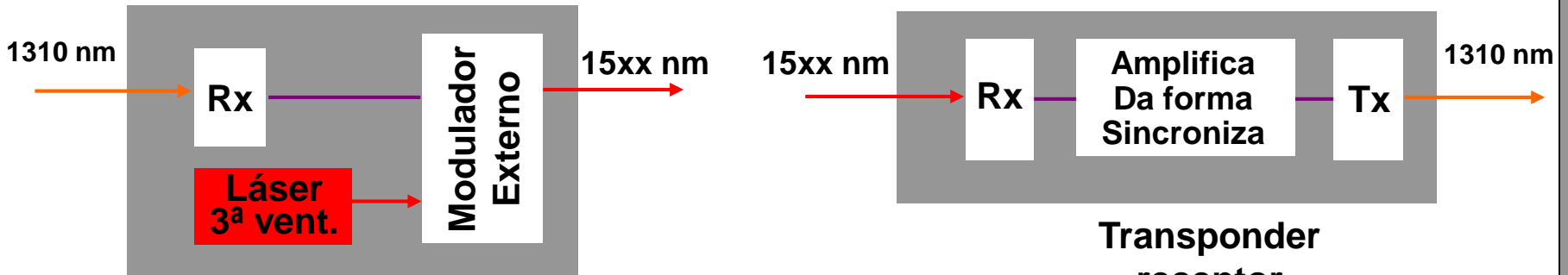
WDM: Componentes



WDM: Funcionamiento



Láser sintonizable



Transponder emisor

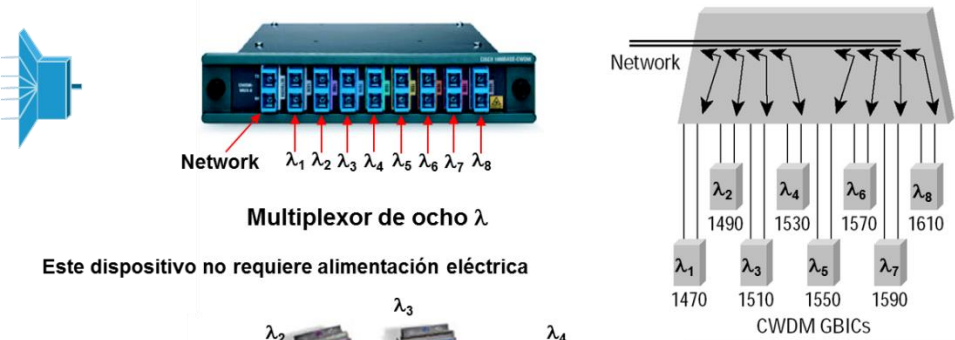
Transponder receptor

- F.O. 2ª vent.
- F.O. 3ª vent.
- Eléctrico

3R: {
Restore
Reshape
Resincronize

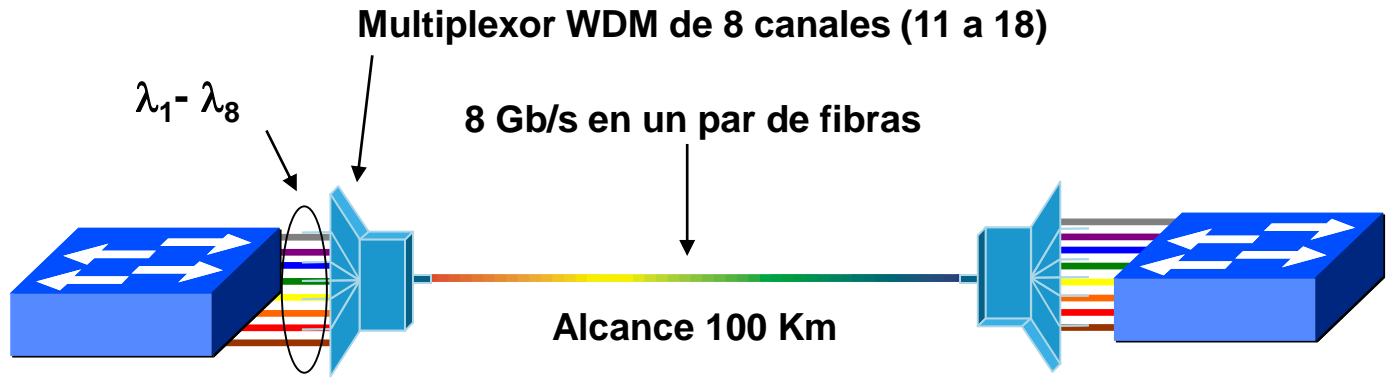
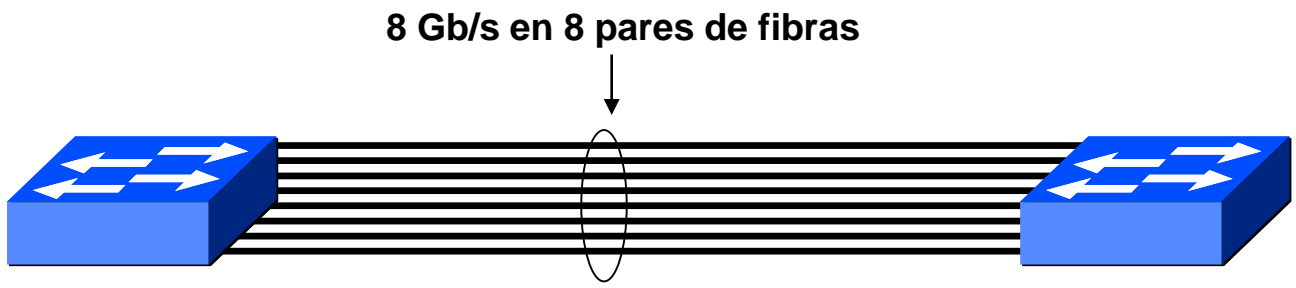
WDM en Metro: CWDM

- Es la opción más económica para alcances de hasta 100 Km:
 - No utiliza amplificadores (repetidores cada 50 Km)
 - Utiliza canales mucho más separados (20 nm frente a 0,4-0,8 nm)
 - Emplea un rango de longitudes de onda mucho más amplio (desde la 2ª hasta la 4ª ventana)
 - El uso de canales más anchos reduce el coste de los emisores láser en 4-5 veces

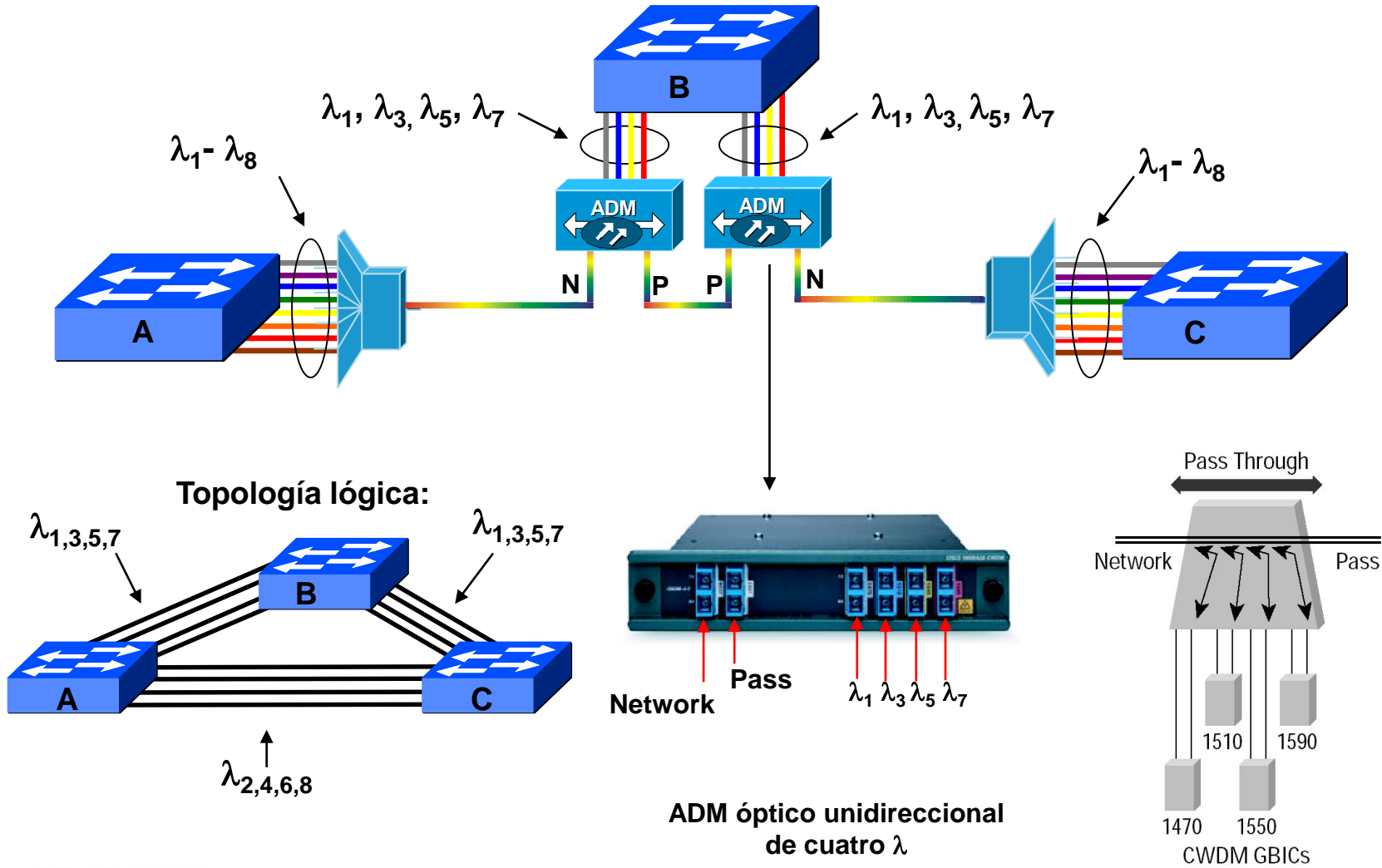


GBICs (Gigabit Interface Converter) CWDM de diferentes λ

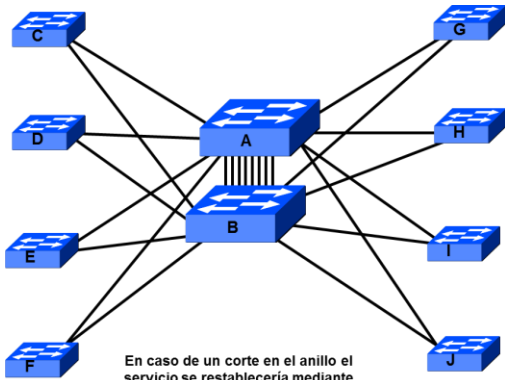
CWDM: Punto a Punto



CWDM: Punto -Multipunto

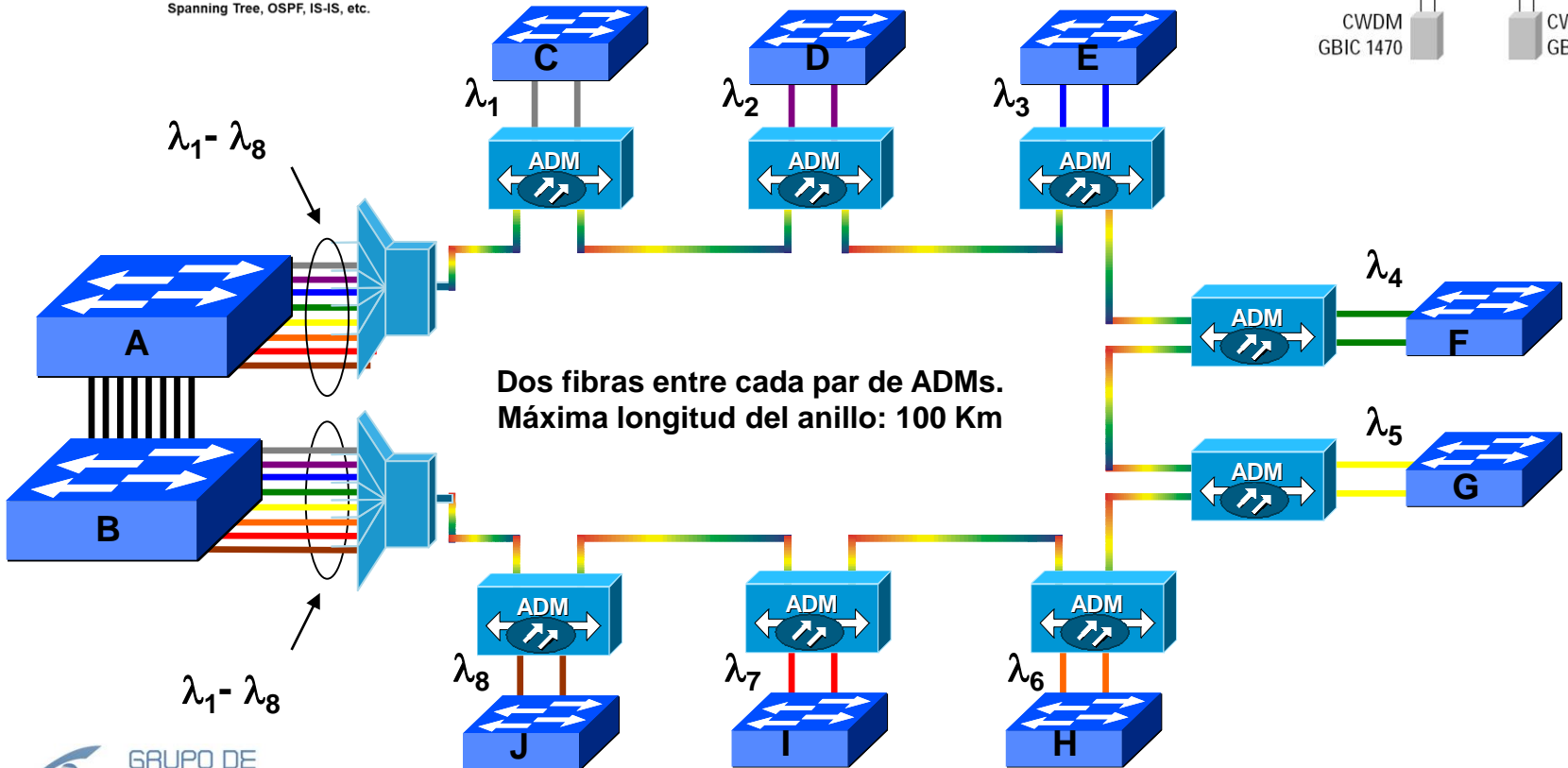
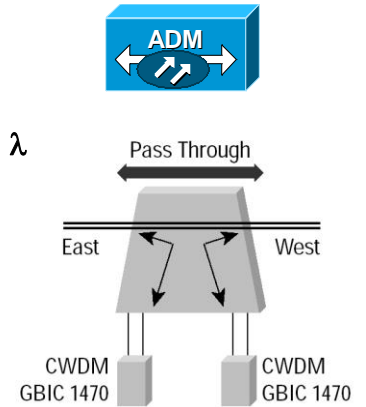


CWDM: Anillo

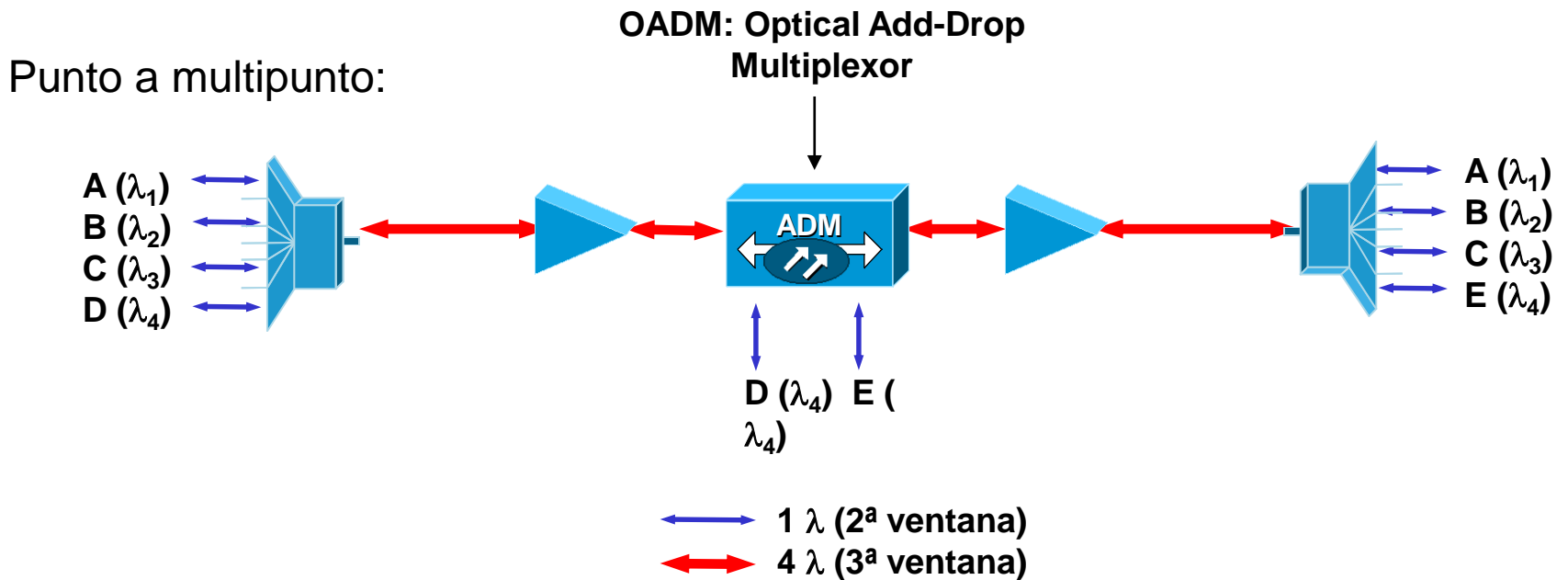
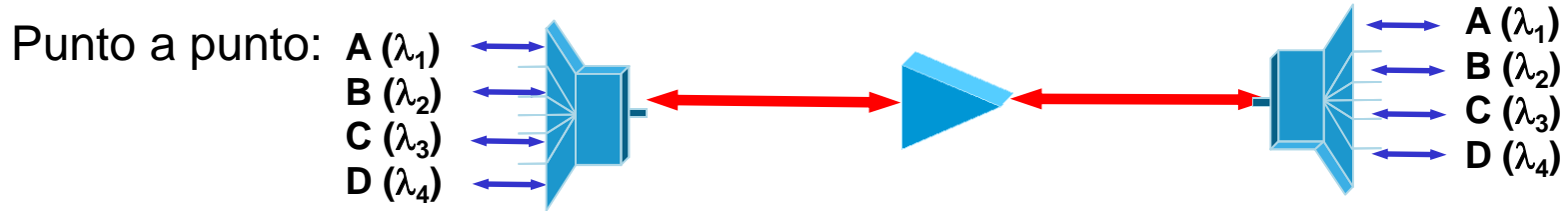


En caso de un corte en el anillo el servicio se restablecería mediante Spanning Tree, OSPF, IS-IS, etc.

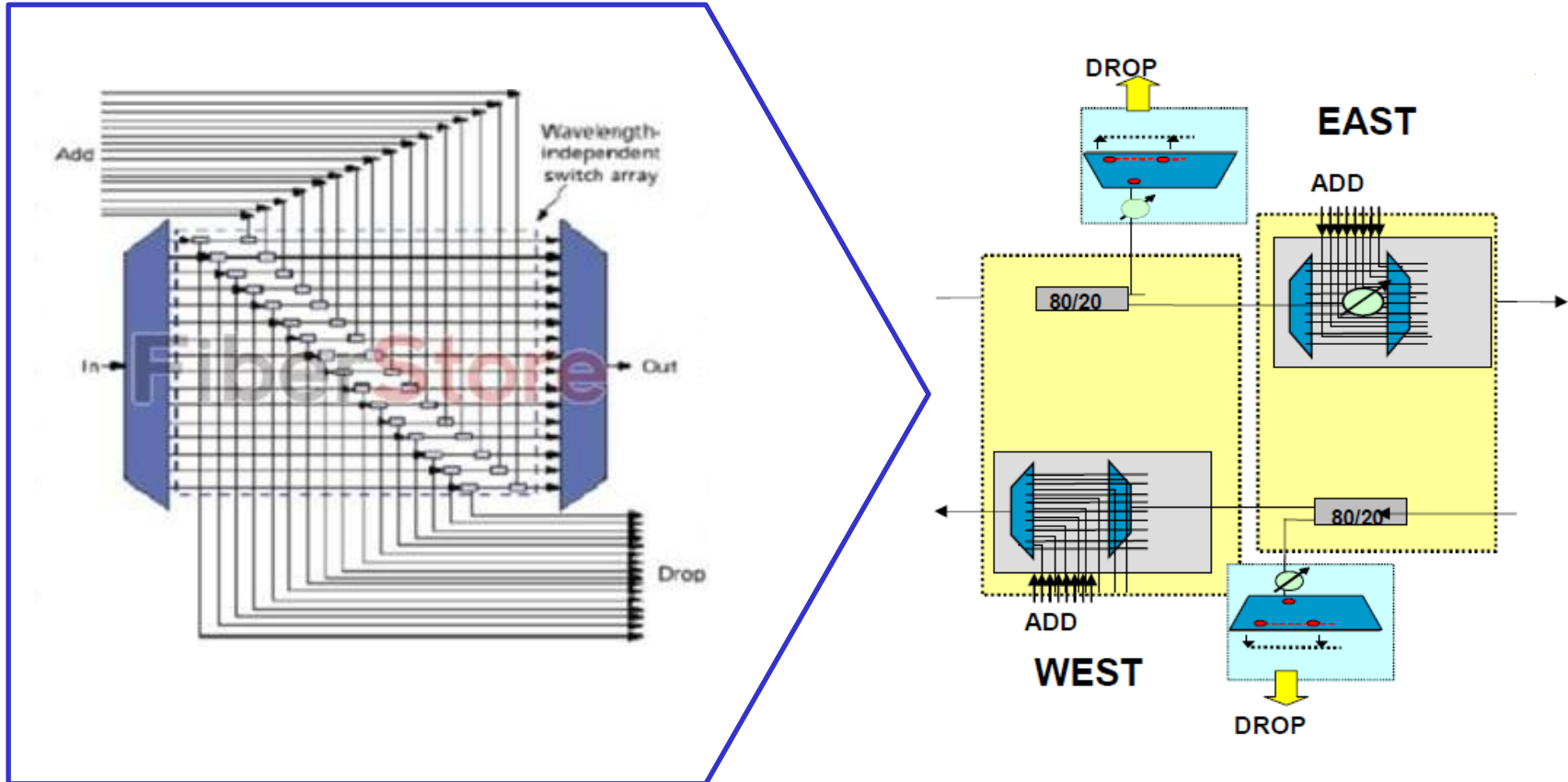
ADM óptico bidireccional de una λ



DWDM



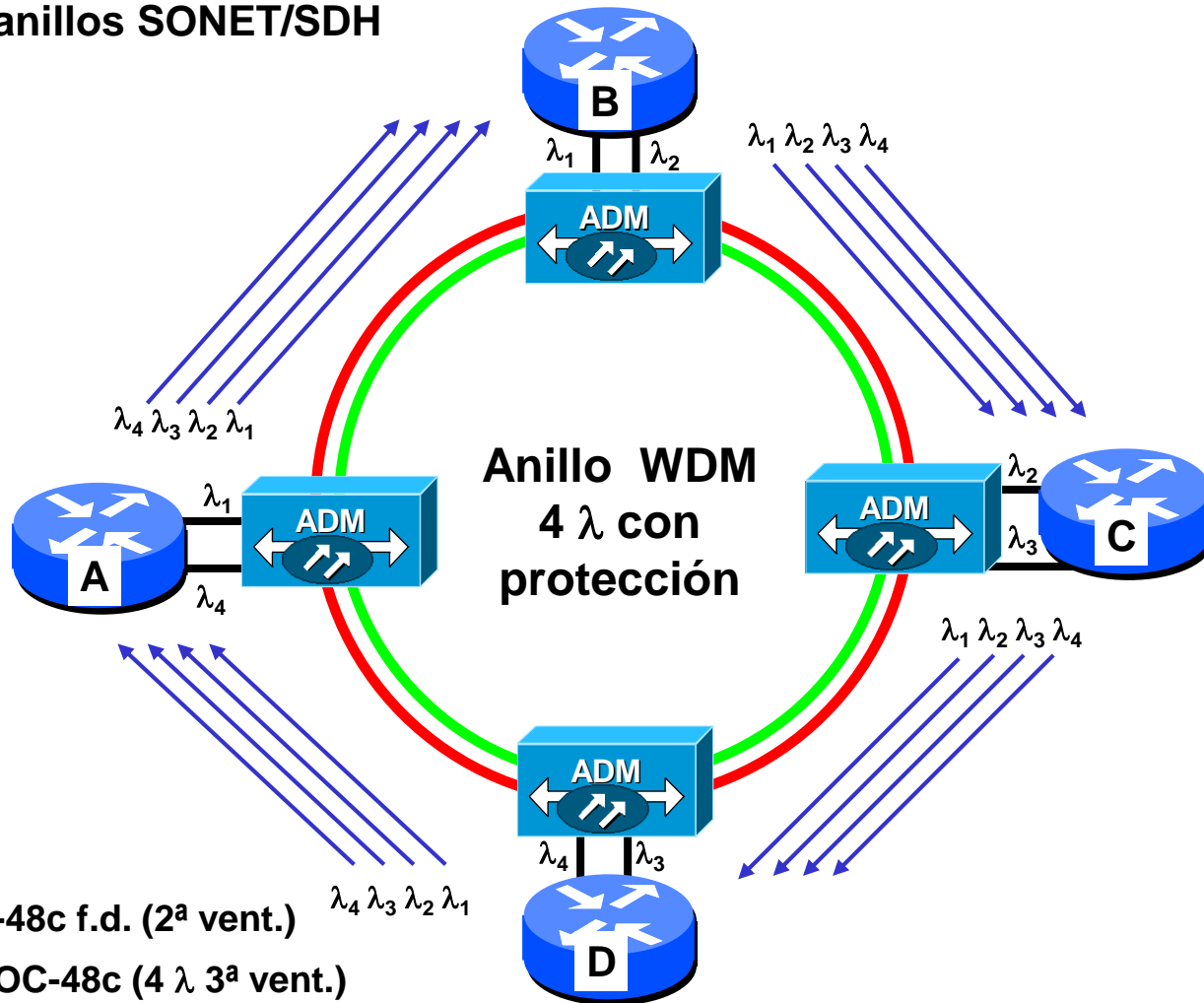
DWDM: OADM / ROADM



Quando las λ son configurables tenemos un ROADM (Reconfigurable OADM)

DWDM: Anillo

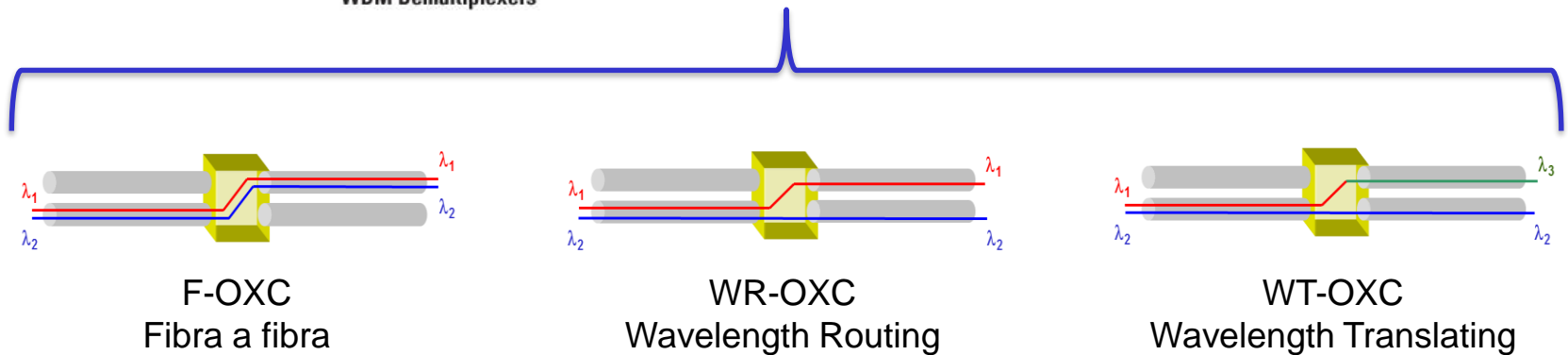
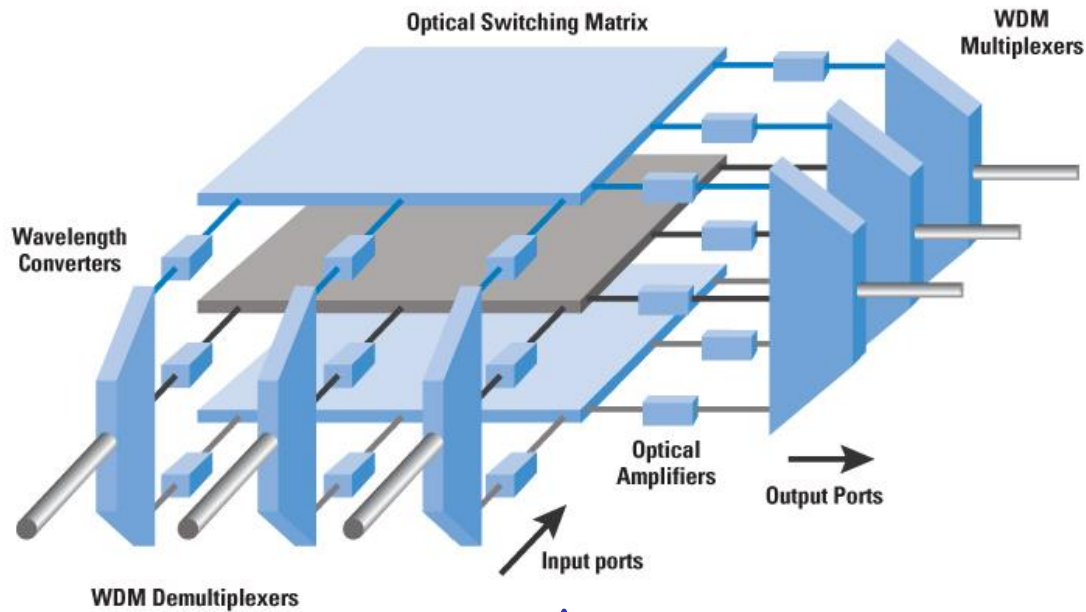
Similar a los anillos SONET/SDH



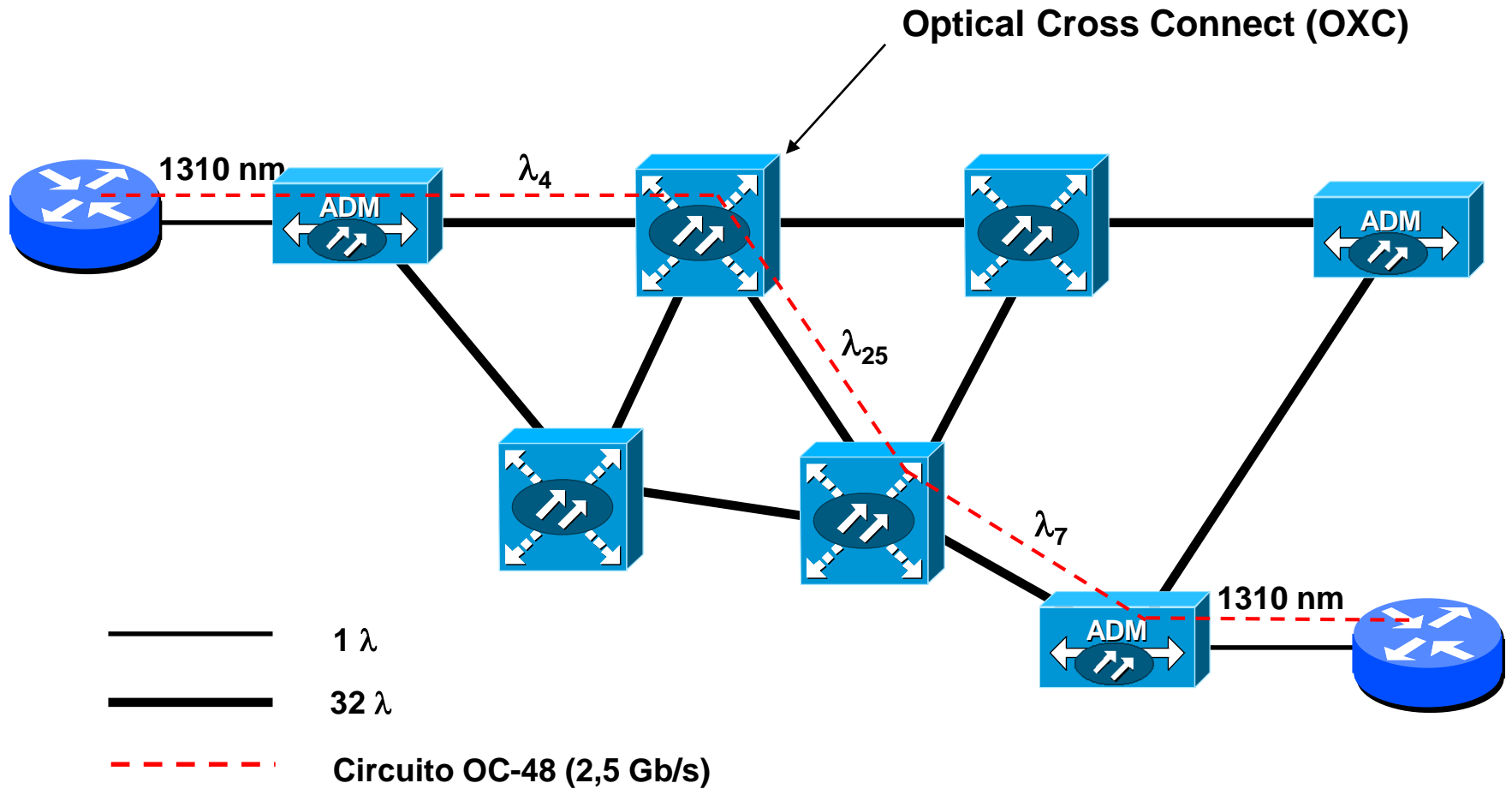
A ↔ B: λ_1
 B ↔ C: λ_2
 C ↔ D: λ_3
 D ↔ A: λ_4

- OC-48c f.d. (2ª vent.) $\lambda_4 \lambda_3 \lambda_2 \lambda_1$
- 4 * OC-48c (4 λ 3ª vent.)
- 4 * OC 48c (4λ 3ª vent.) reserva

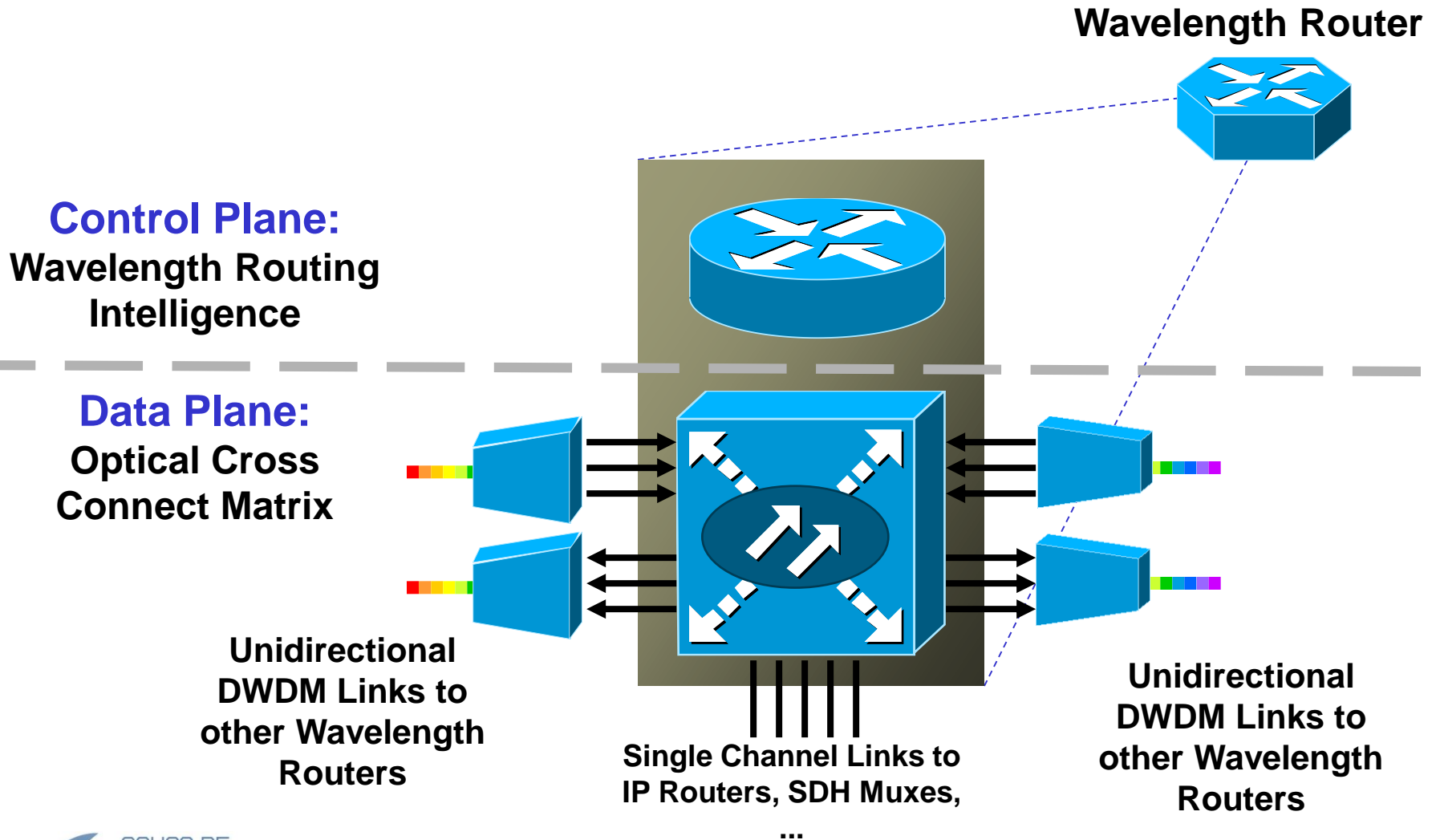
DWDM: Optical Cross-Connect (OXC)



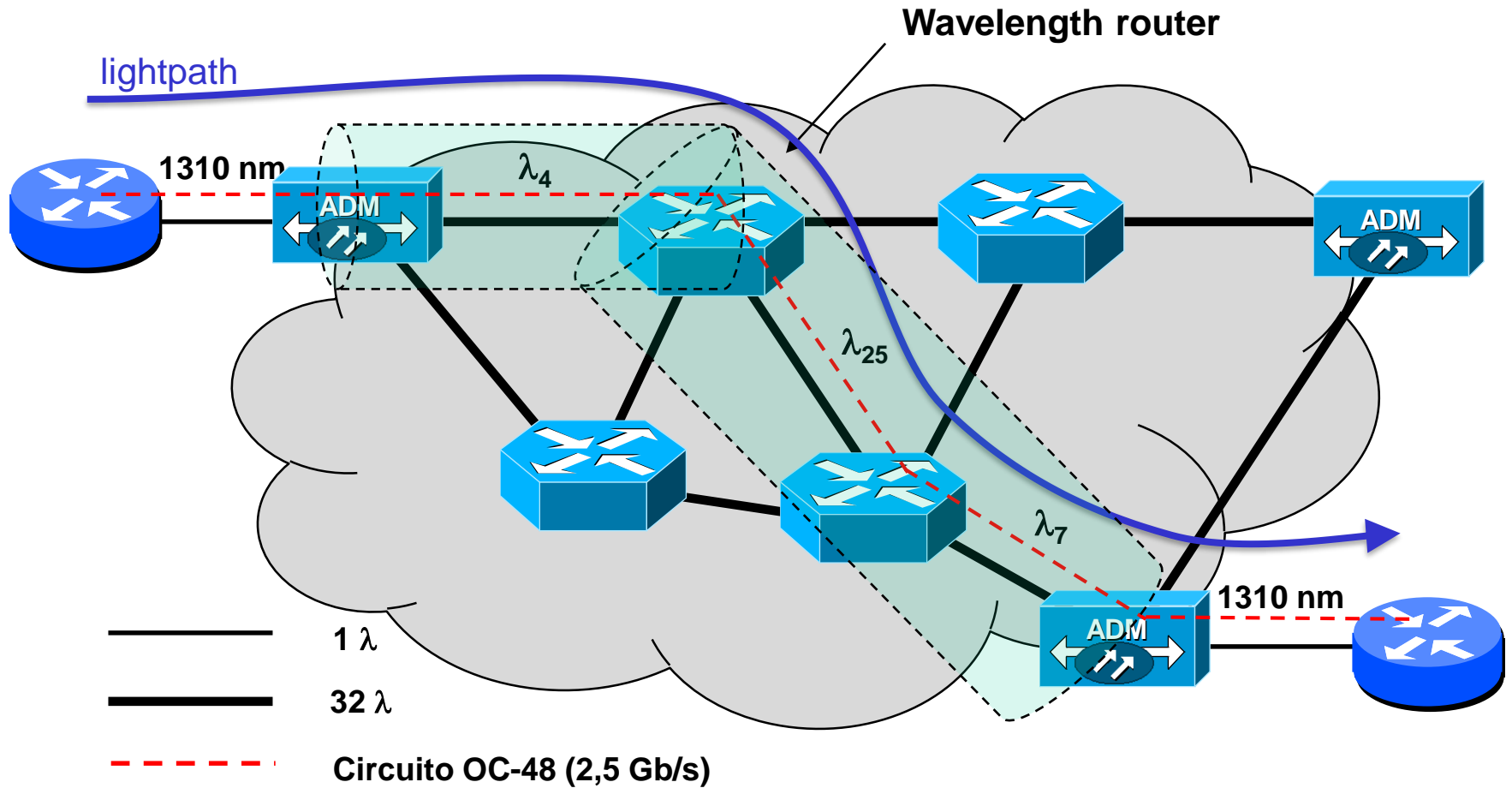
DWDM: Malla (Mesh)

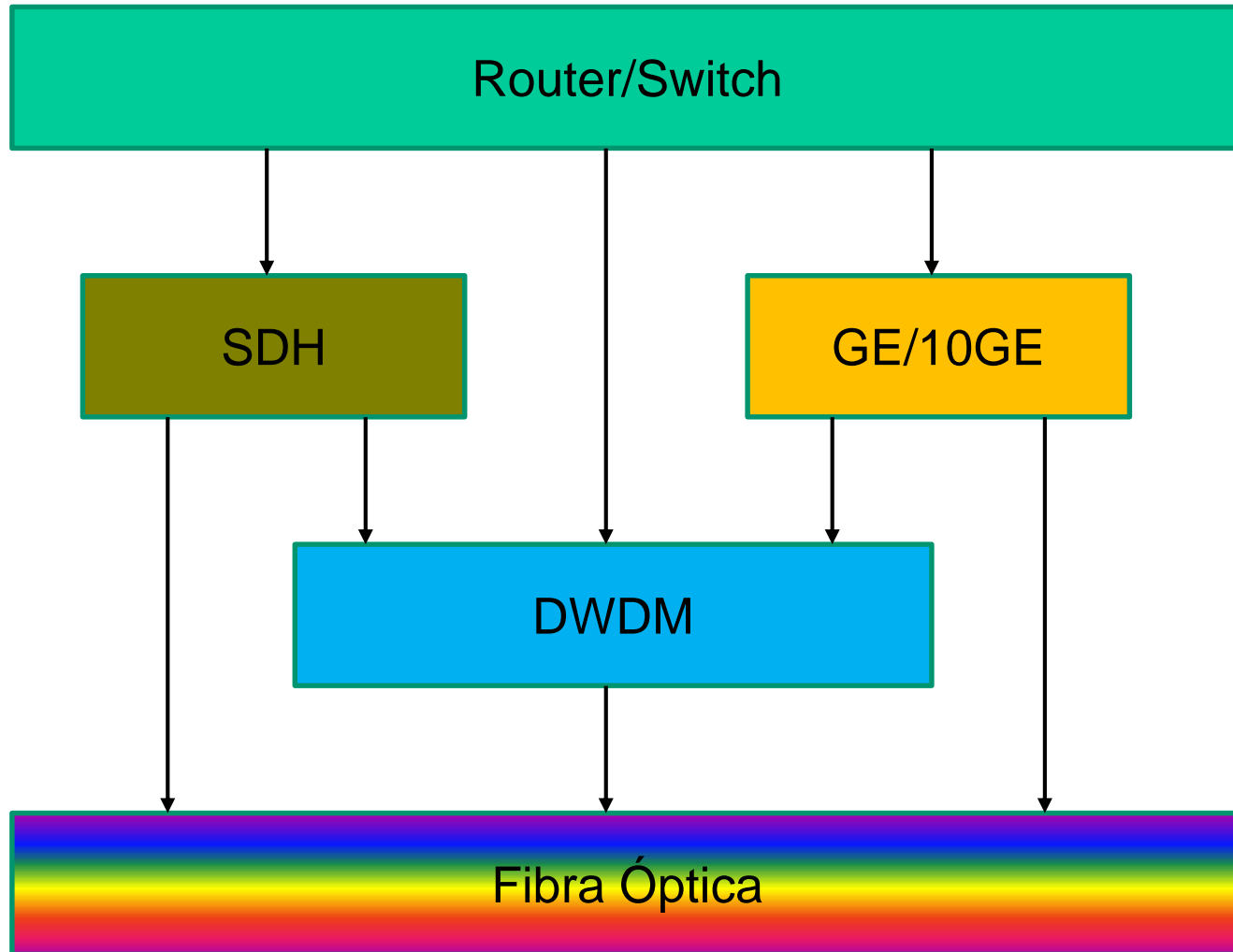


DWDM: OXC+Routing



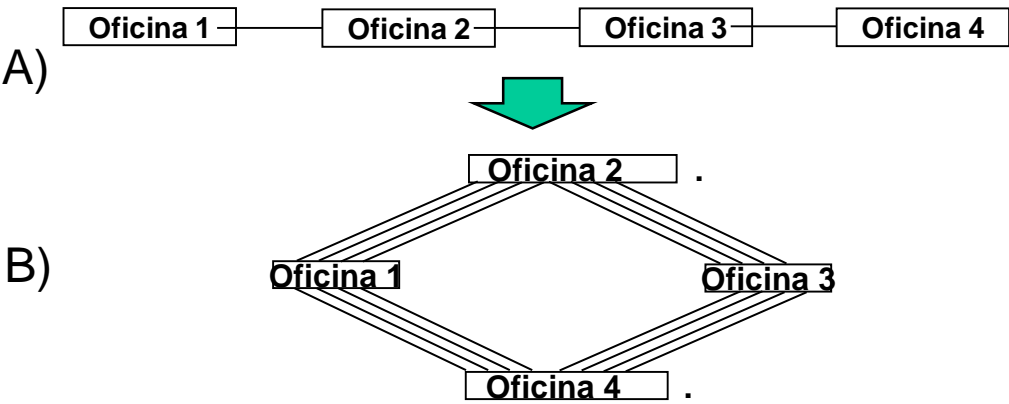
GMPLS + DWDM





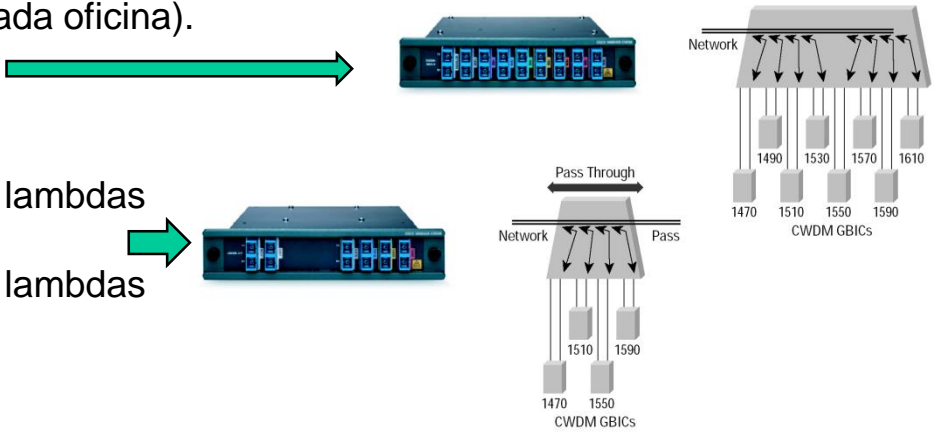
Ejercicio 1

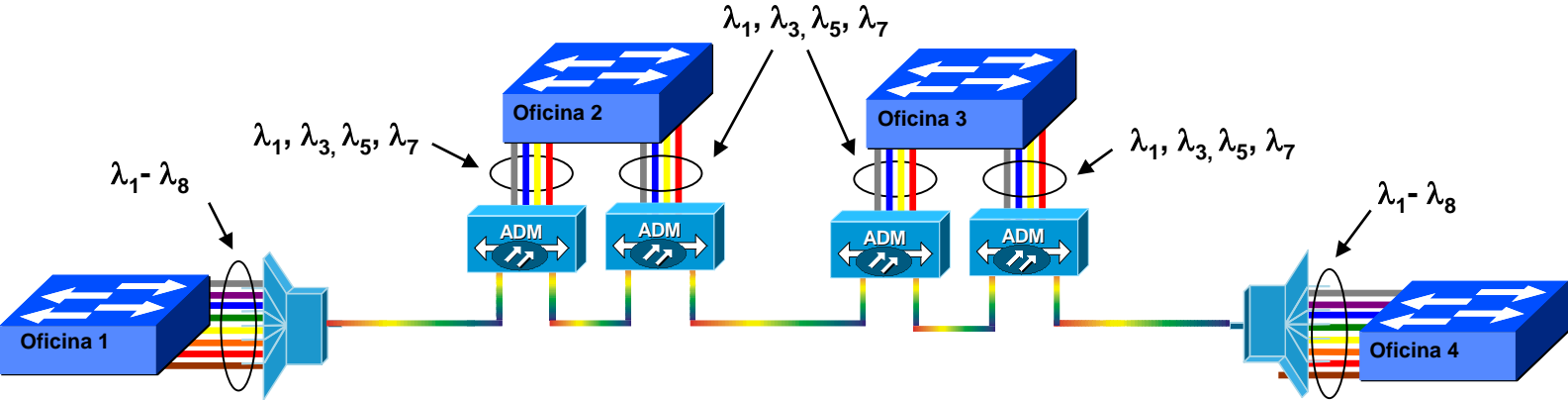
A partir de la topología física indicada en A, diseñe la topología lógica mostrada por B:



- Se disponen de los siguientes elementos:
- 4 conmutadores LAN, cada uno con 16 puertos Gigabit Ethernet (8 se utilizarán para conectar las oficinas entre sí y 8 para la LAN de cada oficina).
 - 4 multiplexores de ocho lambdas.

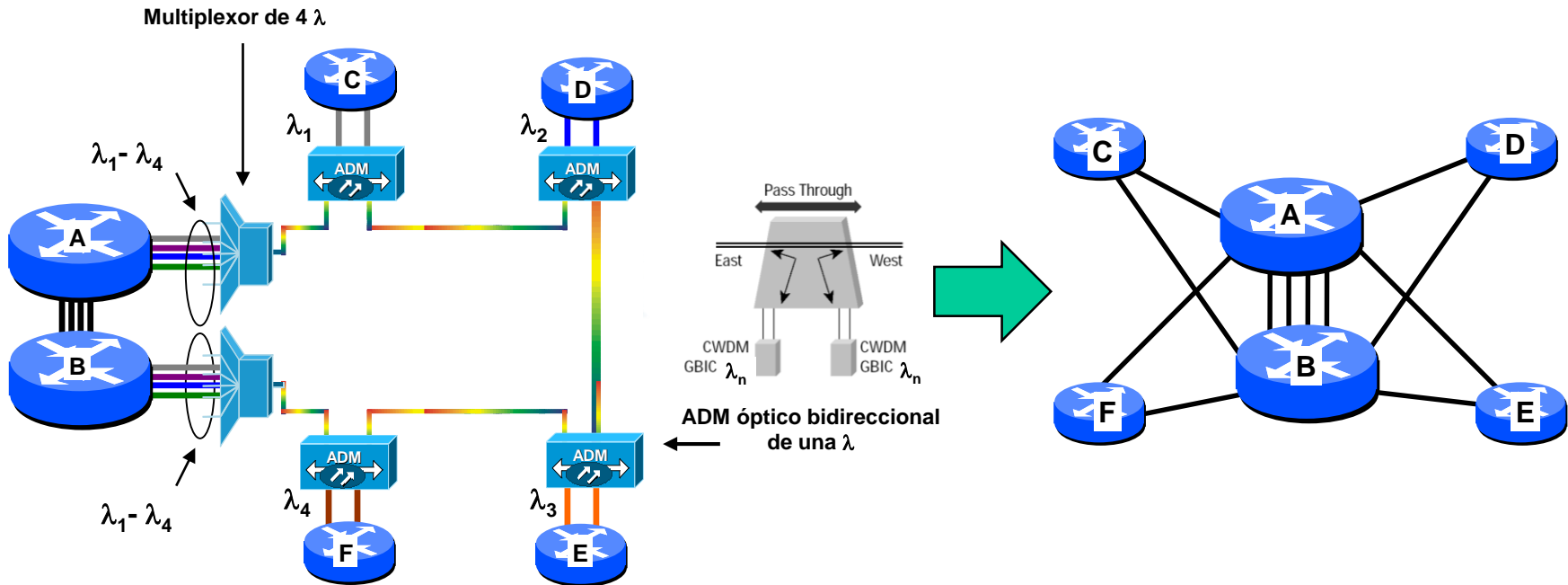
- 4 ADMs ópticos unidireccionales de lambdas impares (1,3,5,7).
- 4 ADMs ópticos unidireccionales de lambdas pares (2,4,6,8).





- Utilizamos las lambdas impares para enlazar la oficina 1 con la 2, la 2 con la 3 y la 3 con la 4.
- Utilizamos las lambdas pares para enlazar la oficina 1 con la 4
- Los ADMs de lambdas pares no se utilizan

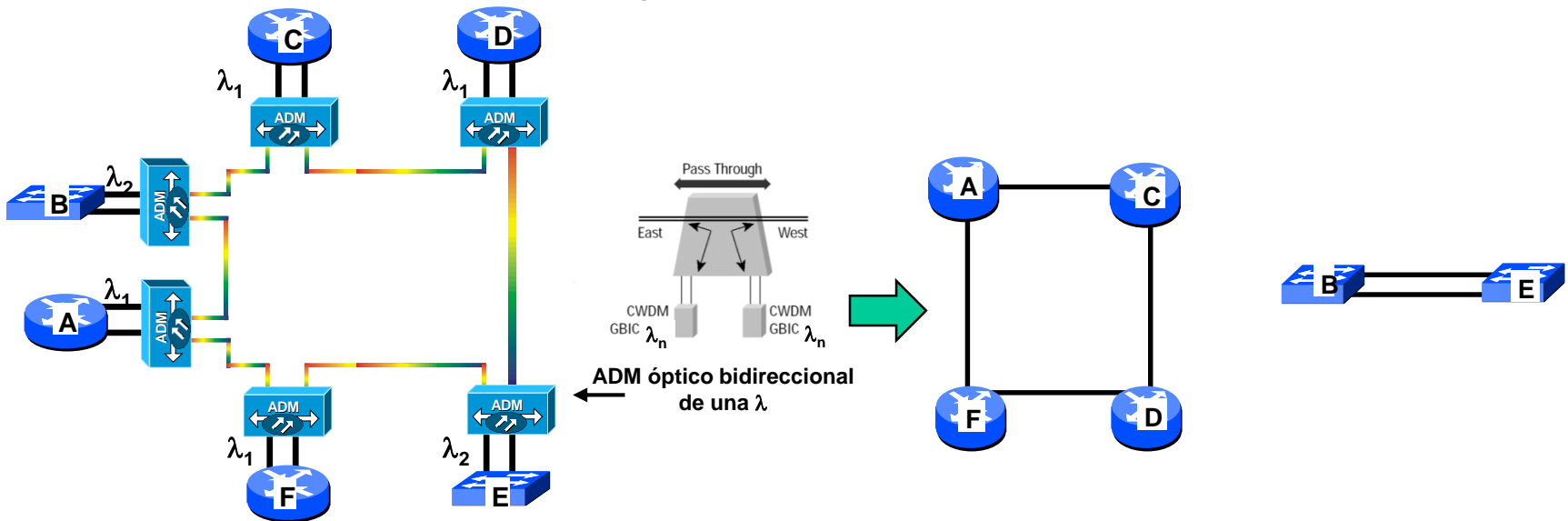
Ejercicio 2



Explicar como funciona esta red, a que topología equivale y que debería hacerse para obtener el máximo rendimiento

- Es una red WDM que utiliza un anillo de fibra óptica y 4 longitudes de onda diferentes para que los routers A y B tengan cada uno un enlace con los otros cuatro.
- La topología es resistente a fallos ya que si se rompe el anillo de fibra se mantendrá la conectividad de toda la red.
- Para que ello sea posible es preciso utilizar un protocolo de routing, por ejemplo IS-IS u OSPF.

Ejercicio 3



Explique en detalle como funciona dicha red, cual es la topología equivalente y que debería hacerse para obtener de ella el máximo rendimiento y fiabilidad ante posibles averías.

- Routers: máximo rendimiento y resistencia a fallos con OSPF o IS-IS.
- Conmutadores: se debería utilizar spanning tree, ya que de lo contrario la red se bloquearía.
- Con el spanning tree no se conseguiría aprovechar más que uno de los enlaces..

ETHERNET

- El paso siguiente en la evolución hacia una red de datos pura es utilizar interfaces Ethernet en vez de POS en los routers
- Durante muchos años Ethernet se ha utilizado en la LAN por su sencillez, fiabilidad y bajo costo
- Los aspectos de fiabilidad y redundancia se siguen basando en el protocolo de routing
- Además el formato de trama se homogeneiza entre la LAN y la MAN/WAN
- Pero: ¿podemos usar Ethernet en la MAN/WAN? ¿Qué problemas podemos tener?
 - En modo full duplex ya no hay problema de distancias. Gb y 10 Gb Eth. solo funcionan en f.d., no con CSMA/CD:
 - 1998: Hasta 10 Km en Gb Ethernet (100 Km con sistemas propietarios)
 - 2002: Hasta 40 Km en 10 Gb Ethernet
 - Misma estructura y tamaños de trama a todas las velocidades. No conversión de formatos
 - Posibilidad de conectar a nivel 2 en la MAN/WAN (redes malladas con Spanning Tree)
 - Servicios tipo VPN mediante VLANs

1GE/10GE...

- Alternativa mas económica que POS
- Adecuado para redes metropolitanas sobre fibra oscura o WDM (Wavelength Division Multiplexing)
- Permite funcionamiento compatible con SONET/SDH STM-64
- Soporte de todo tipo de servicios, incluido QoS (priorización con 802.1p y 802.1Q)
- Versátil, permite limitar caudales por software
- Adecuado para backbone de grandes redes locales y conexión de servidores de muy altas prestaciones

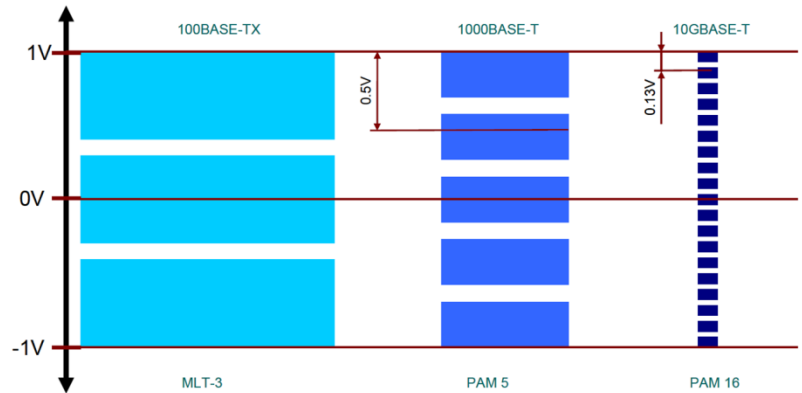
Velocidad	Apareció en:	Nivel físico heredado de ...
10 Mb/s compartidos	1981	De nada. Nuevo
10 Mb/s conmut.	1992	De nada. Nuevo
100 Mb/s	1995	FDDI (100 Mb/s)
1 Gb/s	1998	Fibre Channel (800 Mb/s)
10 Gb/s	2002	Basado en SDH (STM-64)
40 Gb/s	2010	Basado en SDH (STM-192)
100 Gb/s	2010	??

La familia ETH

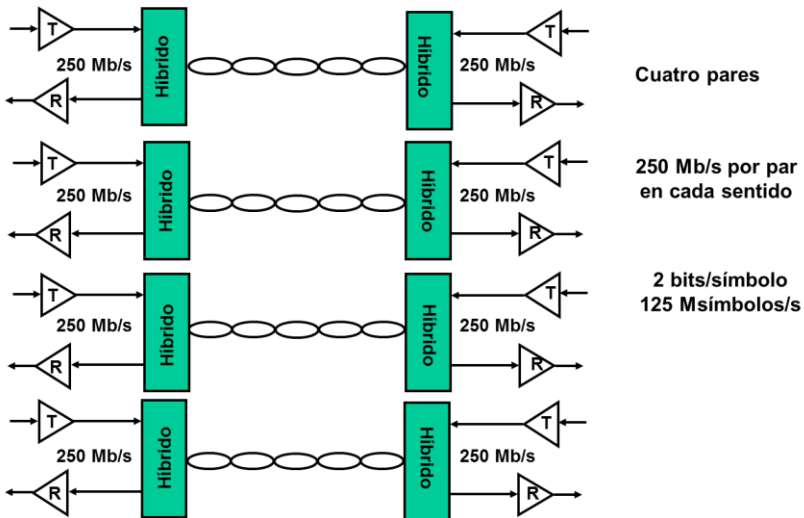
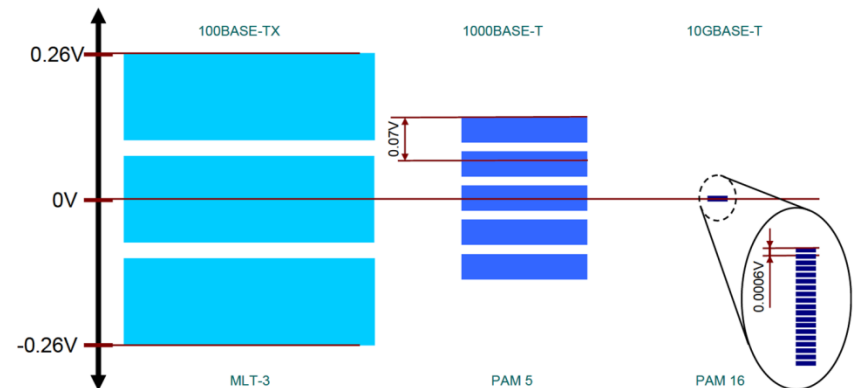
Velocidad (Mb/s)	Medio	Cable	Distancia	Costo	Fecha estand.
1	(1BASE5)	UTP-2	500m	Bajo	1987
10	(10BASE5)	Coax RG8 50 Ω	500 m	Bajo	1983
	(10BROAD36)	Coaxial 75 Ω	3,6 Km	Alto	1985
	(10BASE2)	Coax RG58 50 Ω	185 m	Bajo	1985
	10BASE-F	F.O. multimodo	2 Km	Medio	1987
	10BASE-T	UTP-3/5	100/150 m	Bajo	1990
100	100BASE-TX	UTP-5	100 m	Bajo	1995
	100BASE-FX	F.O. multimodo	2 Km	Alto	1995
1000	1000BASE-SX	F.O. multimodo	500 m	Medio	1998
	1000BASE-LX	F.O. monomodo	5 Km	Alto	1998
	1000BASE-T	UTP-5e	100 m	medio	1999
10000	10GBASE-LR	F.O. monomodo	10 Km	Alto	2002
	10GBASE-ER	F.O. monomodo	40 Km	Muy	2002
	10GBASE-CX4	Coax 4 pares	15 m	Bajo	2004
	10GBASE-T	UTP-6/6a	55/100 m	Alto	2006
40000	40GBASE-LR4	F.O. monomodo	10 Km	N.D.	2010 (est.)
	40GBASE-CR4	Cobre	10 m	N.D.	
100000	100GBASE-LR4	F.O. monomodo	10 Km	N.D.	2010 (est.)
	100GBASE-ER4	F.O. monomodo	40 Km	N.D.	2010 (est.)
	100GBASE-CR10	Cobre	10 m	N.D.	

También hay problemas

Señal emitida en Ethernet a
100 Mb/s, 1 Gb/s y 10 Gb/s



Señal recibida en Ethernet a
100 Mb/s, 1 Gb/s y 10 Gb/s

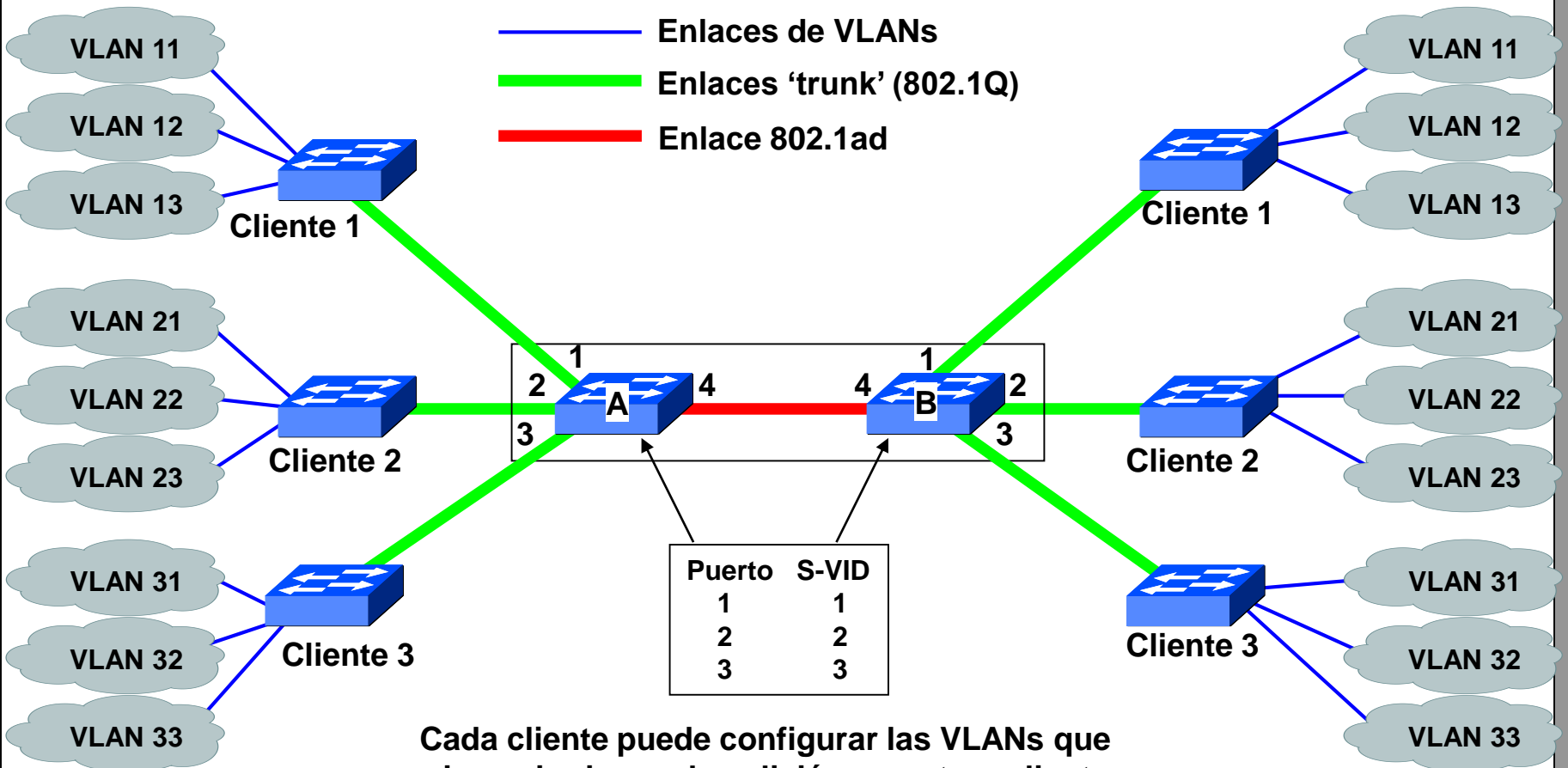


ETH en la troncal

- Aprobado en junio de 2010 (IEEE 802.3ba)

Tipo cable	Distancia	40 Gb Eth	100 Gb Eth
Backplane	1 m	40GBASE-KR4	
Coaxial	10 m	40GBASE-CR4	100GBASE-CR10
Fibra multimodo OM3	100 m	40GBASE-SR4	100GBASE-SR10
Fibra multimodo OM4	125 m	40GBASE-SR4	100GBASE-SR10
Fibra monomodo	10 km	40GBASE-LR4	100GBASE-LR4
Fibra monomodo	40 km		100GBASE-ER4

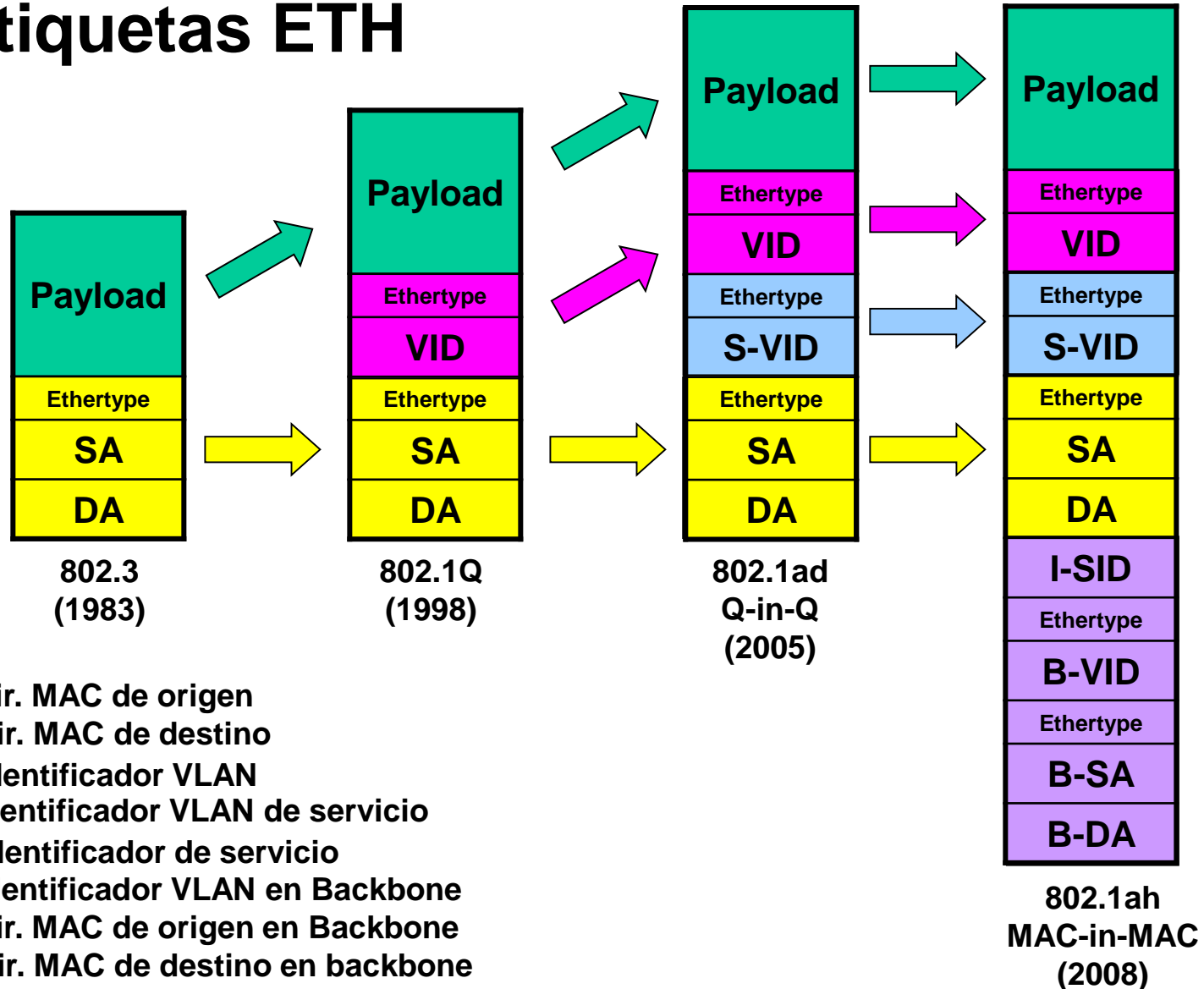
¿ETH o MPLS?



Cada cliente puede configurar las VLANs que quiera, sin riesgo de colisión con otros clientes

Solo los conmutadores A y B han de saber poner/quitar etiquetas 802.1ad.
Las etiquetas se ponen en función del puerto por donde se recibe la trama (como en 802.1Q)

Etiquetas ETH



- SA = Dir. MAC de origen
- DA = Dir. MAC de destino
- VID = Identificador VLAN
- S-VID = Identificador VLAN de servicio
- I-SID = Identificador de servicio
- B-VID = Identificador VLAN en Backbone
- B-SA = Dir. MAC de origen en Backbone
- B-DA = Dir. MAC de destino en backbone