

Transmisión

EDICIÓN 2024

Agenda

Introducción:

Motivación

Definiciones

Transmisión en Redes de Circuitos:

Multiplexación TDM

PDH y SDH

FDM en Transporte Óptico: CWDM y DWDM

Transmisión en Redes de Paquetes:

MPLS

Redes Privadas Virtuales

Introducción

Motivación

¿Cómo enviar señales de un punto a otro?

¿Y cuando son muchas señales a enviar?

¿Cómo aprovechar los medios físicos disponibles?

¿Qué consideraciones deben tenerse?

¿Qué sucede cuando algo falla?

Introducción

Transmisión: proceso de mandar, propagar y recibir una señal analógica o digital con información, por un medio punto a punto o punto a multipunto, ya sea cableado, óptico o inalámbrico

Segmento de red (**agregación/transmisión**) que está entre el núcleo y la red de acceso. En ocasiones no se lo distingue del núcleo

Originalmente: medios físicos en paralelo con señales analógicas y repetidores

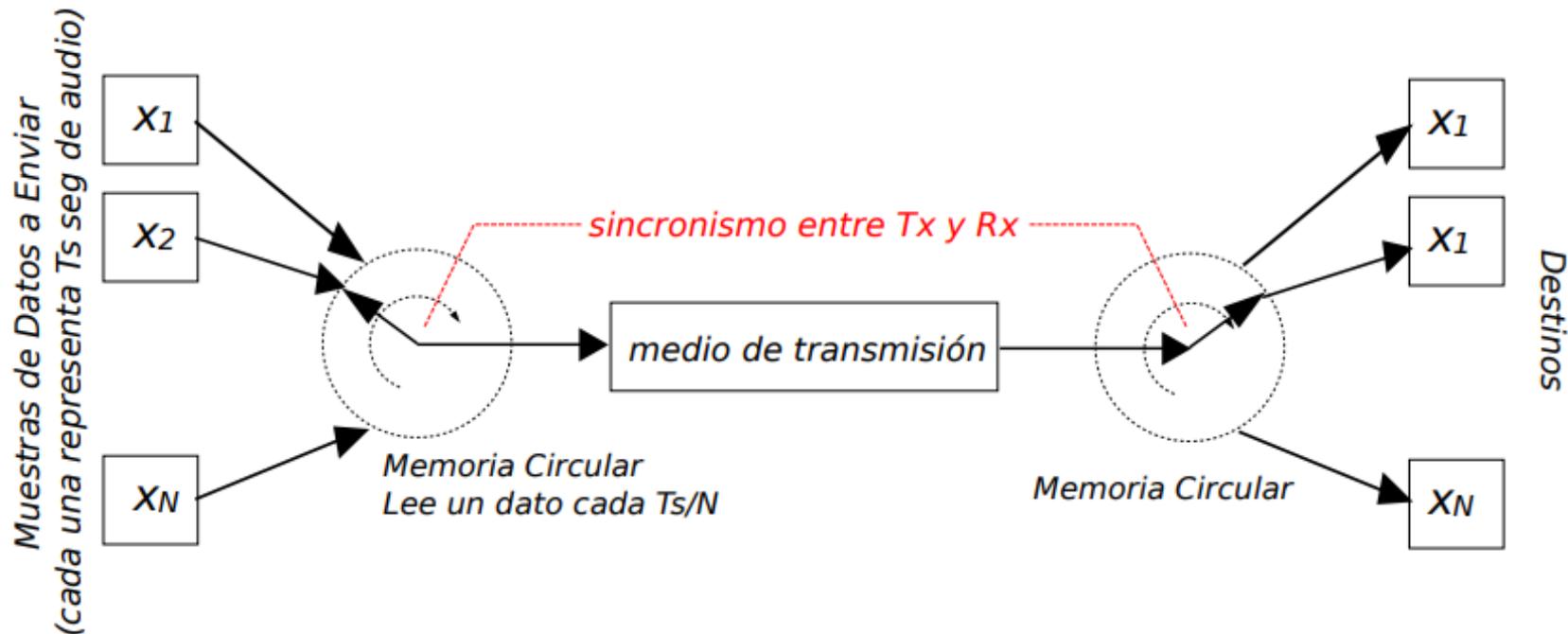
Actualmente las señales son digitales y se usan regeneradores, y **multiplexación** para transmitir múltiples señales por un mismo medio físico

Transmisión

EN REDES DE CIRCUITOS

Transmisión entre Centrales – TDM

- G.711: se toma una muestra de voz cada 8 bits, cada intervalos fijos de 125 us que reciben nombre de Tiempo de Símbolo (T_s).
- Para multiplexar N llamadas simultáneas con TDM se toman las N muestras de 8 bits en el último T_s y se transmiten en orden durante el siguiente T_s , con tasa de bits de al menos $8N/T_s$. Se forma así una trama.
- **TDM aprovecha las características de la señal digital para transmitir varios canales de voz por el mismo medio físico y es la base de la conmutación de circuitos**



Jerarquías PCM – E0

El sistema PCM establece esquemas TDM.

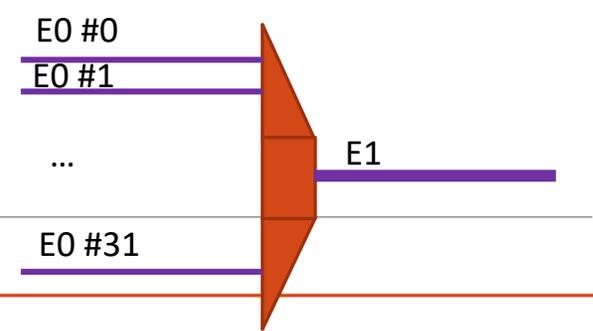
E0: PCM de orden cero (E0, T0, DS0). Jerarquía más baja.
Es lo que corresponde a una llamada de 64 kbps (unidireccionales).

Definido en ITU-T G.708.

1 muestra de voz son 8 bits y frecuencia de muestreo de 8 kHz.
Esto da $8 \times 8 = 64$ kbps con tiempo de símbolo $T_s = 1/8\text{kHz} = 125$ us.

Sólo BORSCHT y los terminales ISDN trabajan con DS0 64 kbps.

Jerarquías PCM – E1



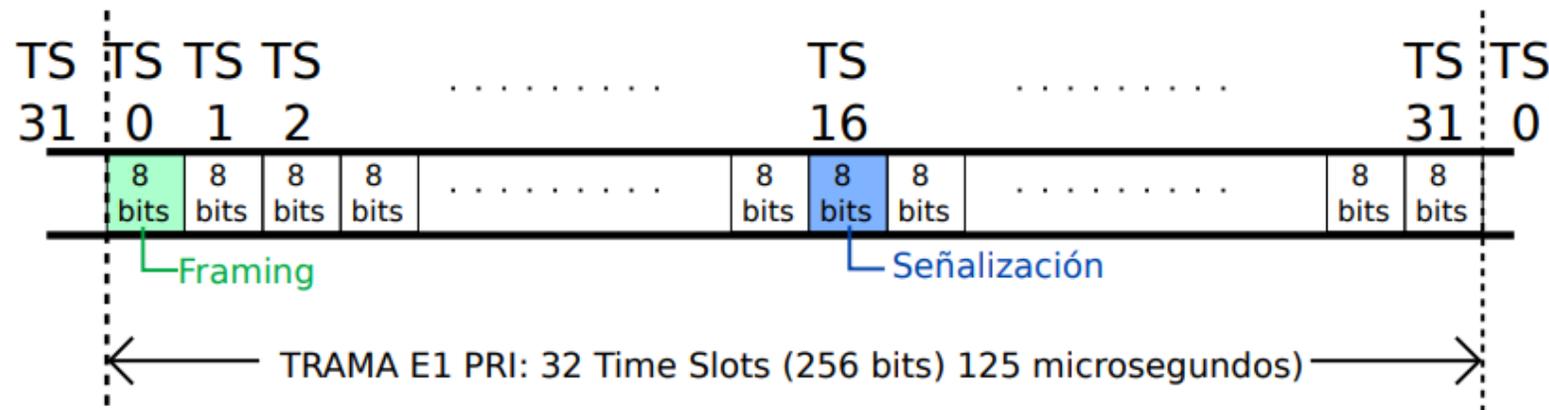
E1: PCM de primer orden.

E1 multiplexa en una trama estructurada de bits.

32 Time Slots (TS): 30 señales de voz y 2 para sincronismo y control.

32 x 64 kbps = 2048 kbps (2 Mbps). Son 256 bits en 125 us.

La trama se divide en 32 time slots.



Jerarquías PCM – E2, E3 y E4

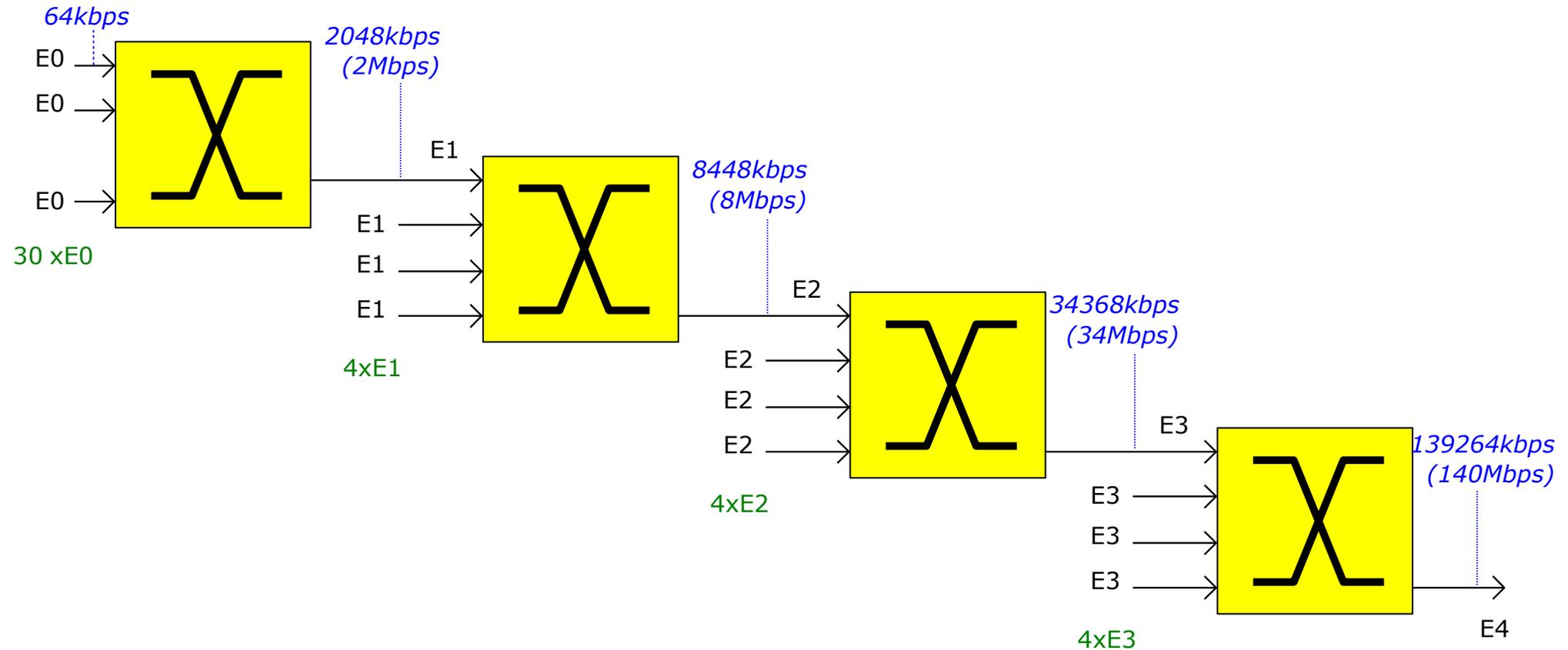
PCM de Segundo Orden (E2): Multiplexa 4 señales E1 y nuevas señales de control, logrando 8,448 kbps

PCM de Tercer Orden (E3): Multiplexa 4 señales E2 y nuevas señales de control, logrando 34,368 kbps

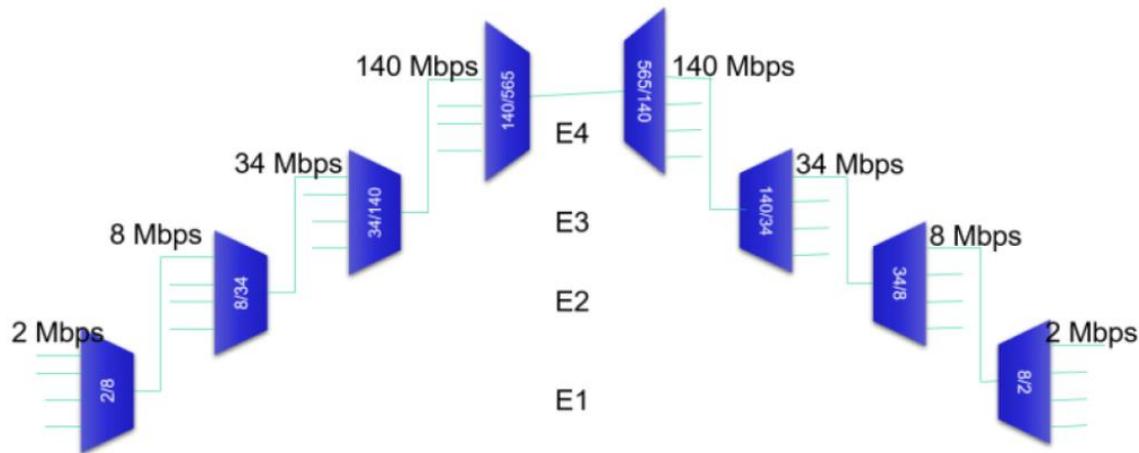
PCM de Cuarto Orden (E4): Multiplexa 4 señales E3 y nuevas señales de control, logrando 139,264 kbps

Las velocidades no son exactamente 4 veces la anterior porque se agregan señales de control para sincronizar las tramas y para control

Jerarquías PCM – E2, E3 y E4



Jerarquías PCM – E2, E3 y E4



| Jerarquía | Velocidad | Canales | Trama |
|-----------|---------------|---------|----------------------|
| E1 | 2048 Kbit/s | 30 | 256 bits = 125 us |
| E2 | 8448 Kbit/s | 120 | 848 bits = 100.38 us |
| E3 | 34368 Kbit/s | 480 | 1536 bits = 44,7 us |
| E4 | 139264 Kbit/s | 1920 | 2904 bits = 20.85 us |
| E5 | 564992 Kbit/s | 7680 | 2688 bits = 4.7 us |

Jerarquías PCM

En la central conecto servicios ISDN y BORSCHT a estas jerarquías.

Los concentradores (digitales) arman tramas E1 y E3 para conectarse a los conmutadores.

Manejando E1, E3 y superiores se hace posible que las centrales manejen mayor cantidad de llamadas simultáneas sobre los mismos medios físicos

PDH

Jerarquía Digital Plesiócrona (casi sincronizadas)

Tecnología que define las Jerarquías PCM

E1 multiplexa por **bytes**, órdenes superiores por **bits**: 1 bit de la trama 1, seguido de 1 bit de la trama 2, luego de la 3, luego de la 4.

Los multiplexados superiores agregan bits a la trama para control y señalización

La multiplexación en niveles superiores a E1 implica la multiplexación de tramas con **fuentes de reloj** diferentes e independientes nominalmente iguales (+/-50ppm)

PDH - Características

Sistema complejo y caro (ineficiente para transmitir)

Relativa **baja capacidad** (actualmente): Hasta E5 (565Mbps)

Sincronismo de tramas mediante palabra de alineamiento.

Acceso complejo a las tramas multiplexadas: Conduce a falta de flexibilidad del sistema

Interfaces **ópticas no estandarizadas**

Multiplexación superior no estandarizada

Recolección de alarmas, canales de supervisión y servicio **no normalizados**

PDH – Compensación de Reloj

Los abonados deben estar **en fase** y con igual **frecuencia** entre sí

Justificación Positiva (Bit Stuffing): Para compensar las diferencias de reloj, se leen todas las tramas al menos a la máxima velocidad permitida (En E1: 2048kbps+50ppm) y se introducen bits de relleno en las tramas más lentas.

Se señala al extremo receptor sobre **cuales bits son los de relleno** para que la trama original pueda ser reconstruida incluso manteniendo la cadencia original

En resumen: se agrega **relleno** y **control** de cuáles son de relleno

PDH – Equipamiento

ADM (Add Drop Multiplexer): Equipo que realiza la función de tomar una trama PDH, demultiplexarla varios niveles hasta alcanzar el nivel que busca (ej.: flujo de 2Mbps), leer y escribir datos en él, y volver a multiplexar la trama completa.

Cada central cumple también las funciones de un **ADM**, por lo que son clientes en el sistema PDH.

Esta estructura **no escala bien** ya que requiere nodos muy complejos y dificulta la detección de alarmas y problemas en las tramas multiplexadas.

SDH

Genera un estándar en interfaces de transmisión (Node Network Interface).

Estandariza la velocidad básica de 155,520 Kbps y las jerarquías superiores $N \times 155,520$ Kbps.

Duración de la trama 125 us

Compatible con las redes **PDH existentes**

Sincroniza a toda la red con mayor precisión que PDH

Utiliza **justificación positiva, negativa y nula**

SDH

Efectúa el entrelazado **de a bytes**, no de a bits: Simplifica inserción y extracción de carga.

Utilización de **punteros** en la multiplexación para **identificar** las tramas de los tributarios y para la adaptación de velocidades. Esto permite acceder a tributarios específicos desde una trama superior.

Canales de supervisión estandarizados. Facilita la localización de fallas y centraliza la gestión y el monitoreo.

Permite Arquitecturas del tipo anillo (Redundancia).

SDH

Casos de uso para SDH:

Asignación de Ancho de banda a demanda.

Carrier para ISDN, ATM y redes de datos o voz en general.

Puede usarse como backbone y reemplazar líneas E1 y E3.

SDH - Capas

Capa de Sección: se encarga del framing, del scrambling y del control de errores.

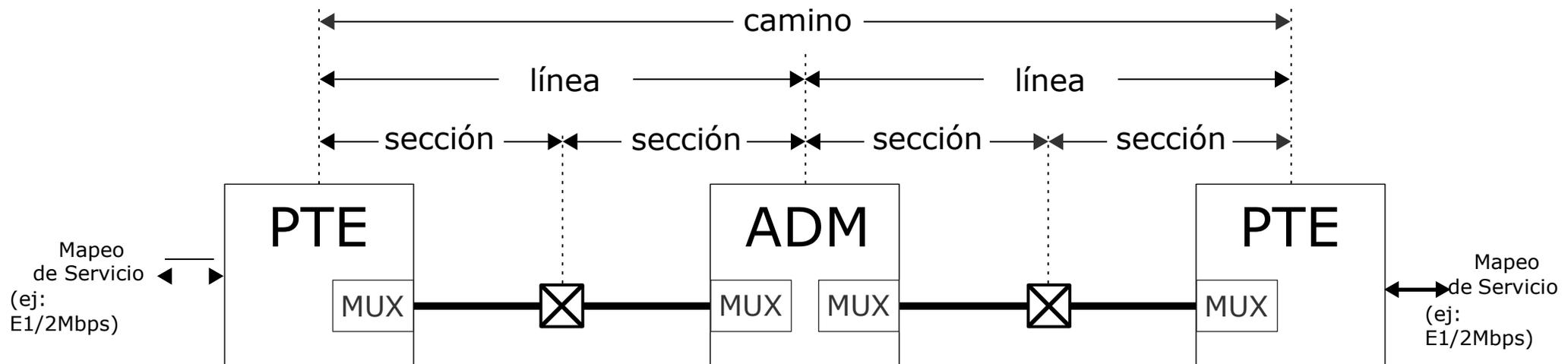
Capa de Línea: Responsable de mover señales sobre una línea física. Se encarga de gestionar los punteros y los bytes de protección.

Capa de Camino: Encargada del transformar la señal de eléctrica a óptica, hacerla llegar a su destino y realizar la transformación inversa. Se encarga del multiplexado y encapsulamiento de señales.

SDH - Componentes

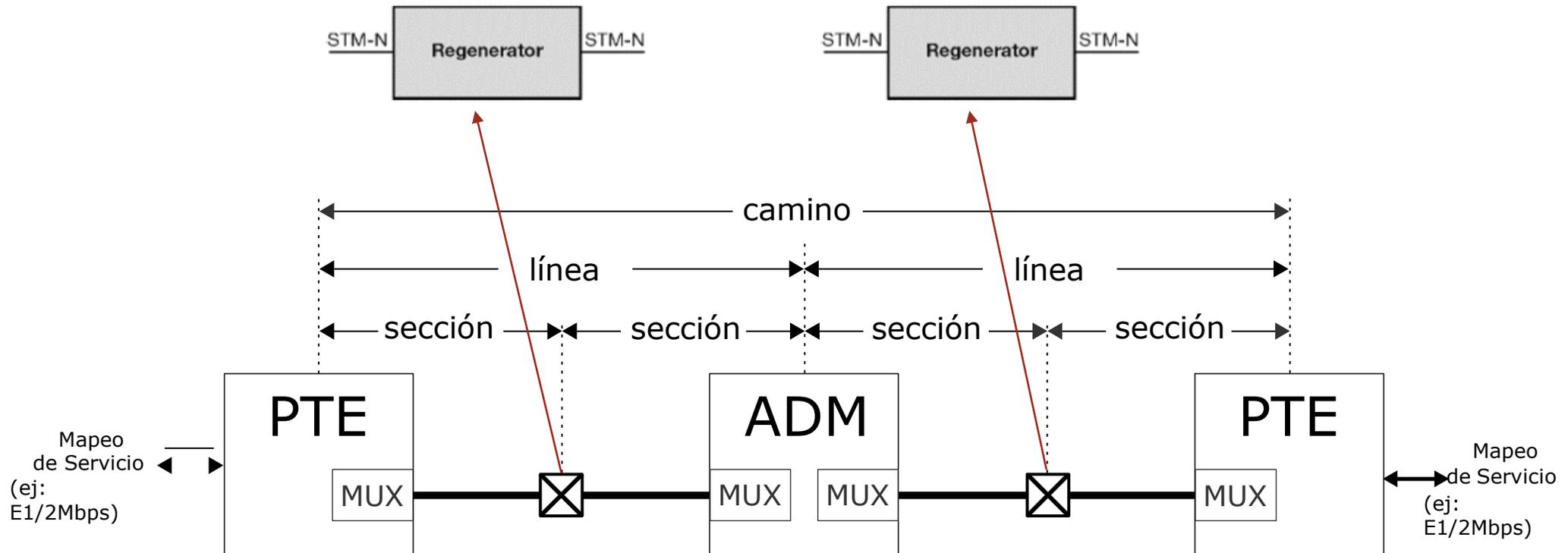
PTE: Equipo Terminal de Camino. Puntos de (des)ensamblado, es donde se inserta o extrae carga de transporte en las tramas.

MUX: Terminal de Línea (multiplexor). Capaces de asociar señales a una jerarquía mayor o a la inversa.



SDH – Componentes

X: Terminal de Sección (regenerador). Únicamente regeneran la señal para cubrir mayores distancias.

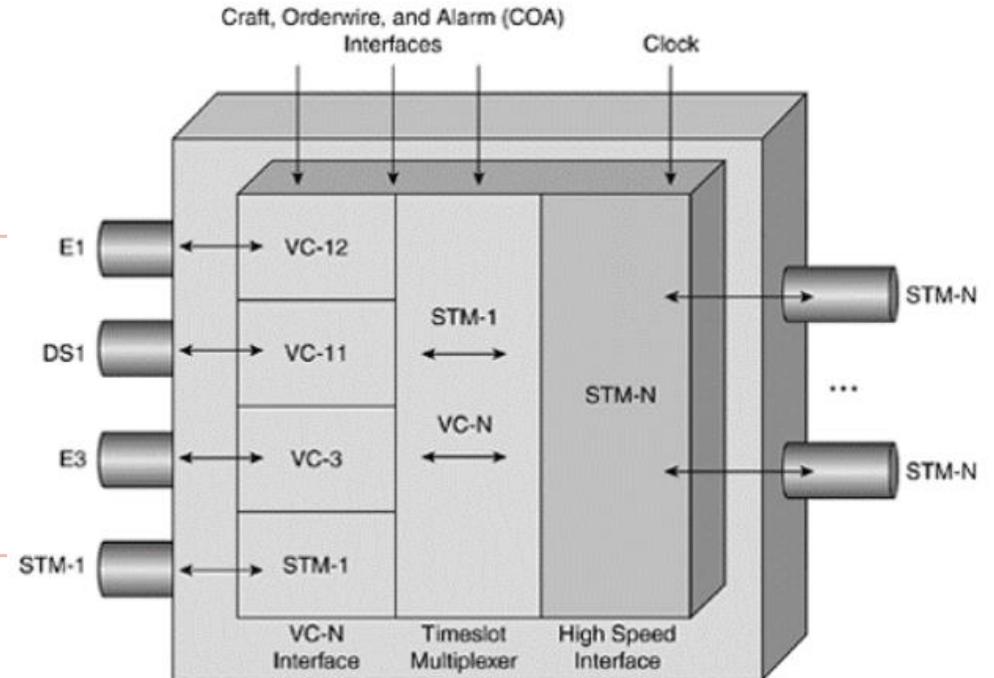


SDH - Componentes

Terminal MUX: Concentra o agrega distintos tipos de señales

Mapeo a contenedores (VCs) y multiplexado a STM-N

TM: inserta o extrae flujos

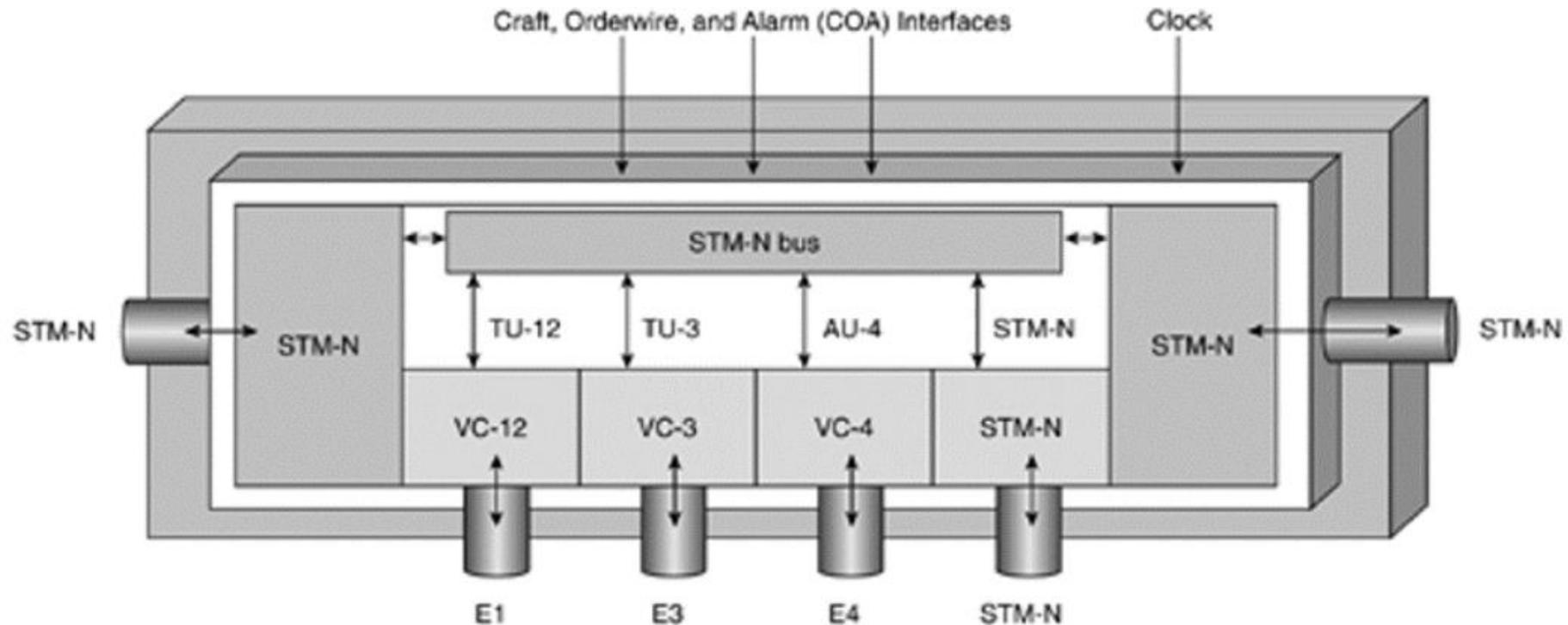


SDH – Componentes

Add Drop MUX (ADM):

Sólo aquella que se precisa se insertan o extraen

El resto del tráfico sigue continúa su camino sin procesamiento



SDH – Componentes

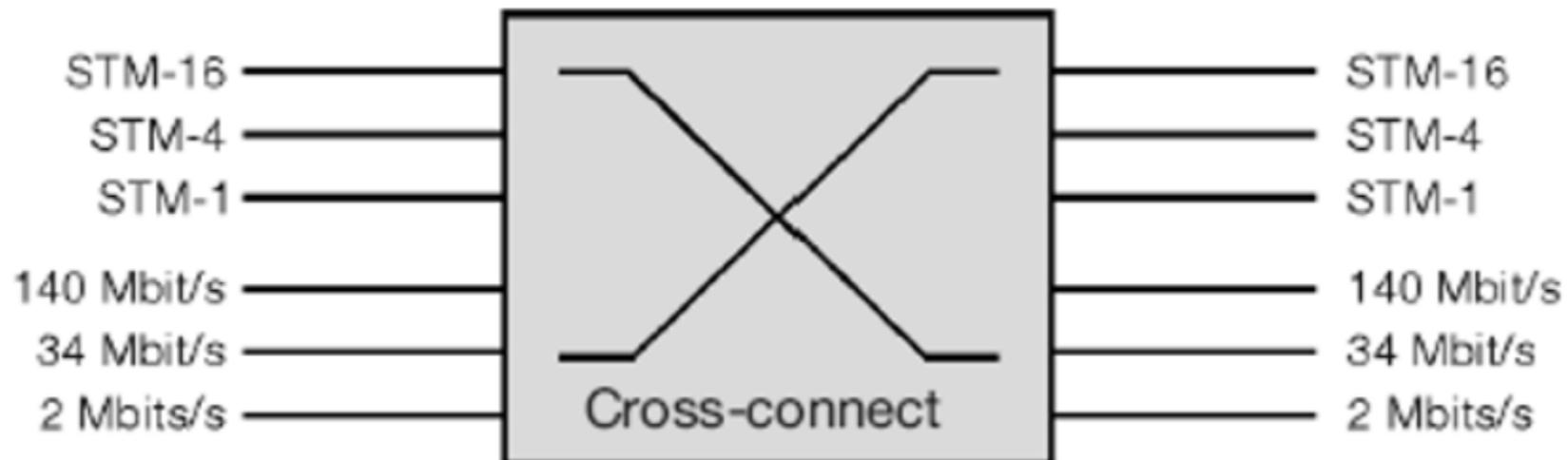
Digital Cross-connect (DXC):

Nodo de red SDH similar a una central de conmutación

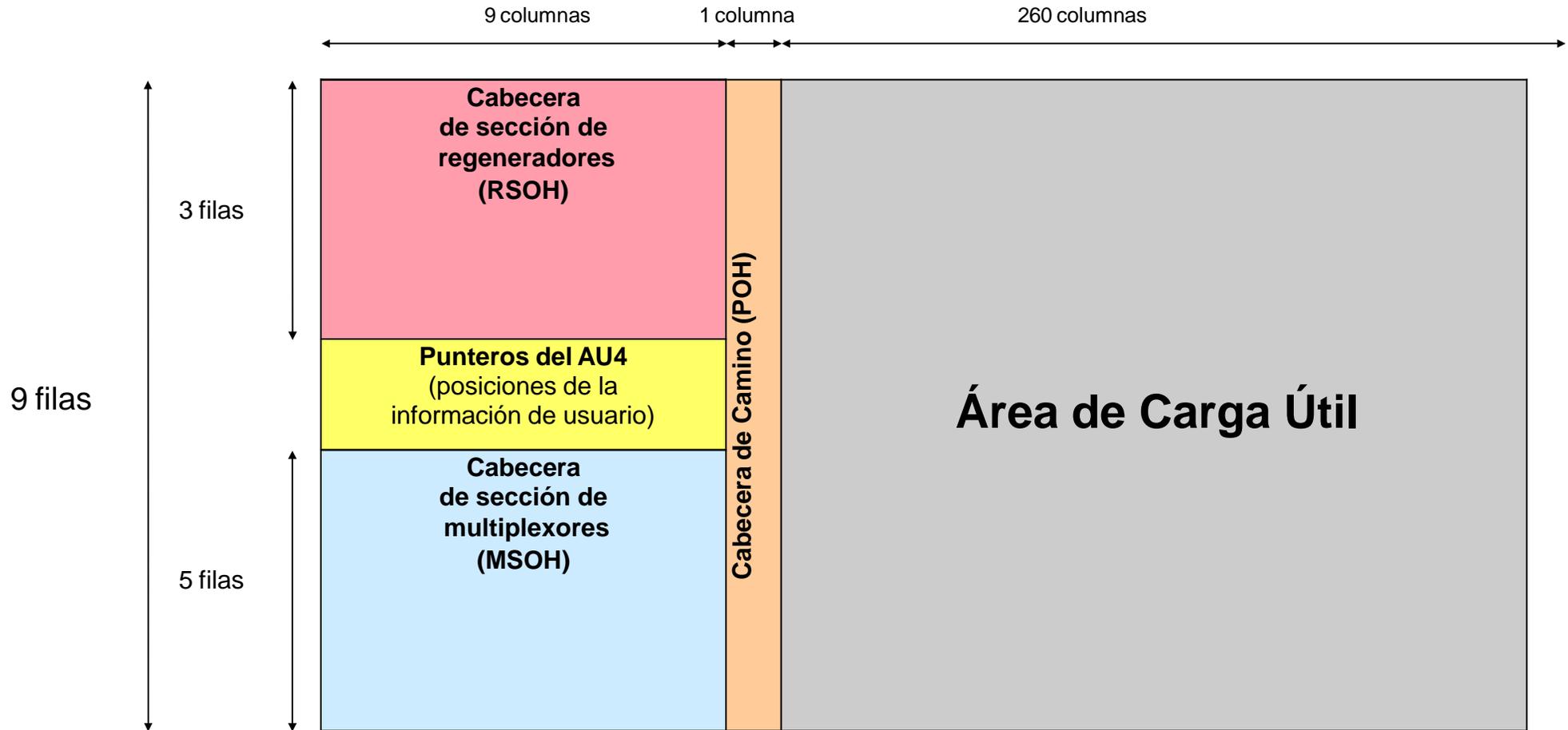
Mayor capacidad de conmutación que los nodos PDH

Permite agregar/segregar señales

En general, opera con granularidad de hasta STM-1 (puede ser más)



SDH – Trama STM-1



Duración: $T_s = 125\mu s$

Velocidad: $270 \times 9 \times 8 / T_s = 155.520 \text{ Mb/s}$

La transmisión se realiza bit a bit en el sentido de izquierda a derecha y de arriba a abajo

SDH - Trama STM-1

Tres canales de servicio y control de errores: entre regeneradores (RSOH), entre terminales o multiplexores (MSOH) y entre extremos del canal (POH).

SOH: Se usa para comunicación a nivel del STM-1 (sección). Bits para alineamiento de trama y de paridad (control de errores), identificación de sección, alarmas, información de gestión, y scramble.

POH: comunicación entre extremos del camino. Forma parte de los contenedores virtuales y se usa para la comunicación entre extremos del trayecto.

SDH – Punteros y Justificación

Función de los punteros: Justificación e identificación de la posición relativa de inicio del VC dentro de la trama.

Justificación en SDH: Permite absorber cambios de fase o de velocidad. Se obtiene modificando la posición de inicio del VC y con el empleo de bits de justificación.

Justificación Positiva: Corrimiento hacia adelante (menor velocidad relativa de VC respecto del STM-1). Se emplean bytes de oportunidad de justificación positiva y el puntero se incrementa periódicamente.

Justificación Negativa: Corrimiento hacia atrás (mayor velocidad relativa de VC respecto de STM-1). Se emplean bytes de oportunidad de justificación negativa, y el puntero disminuye periódicamente.

SDH – Topologías de Red

PDH usa punto a punto, mallas o estrellas (con hubs).

SDH permite combinar esos arreglos con anillos y cadenas (chains) para mejorar la confiabilidad.

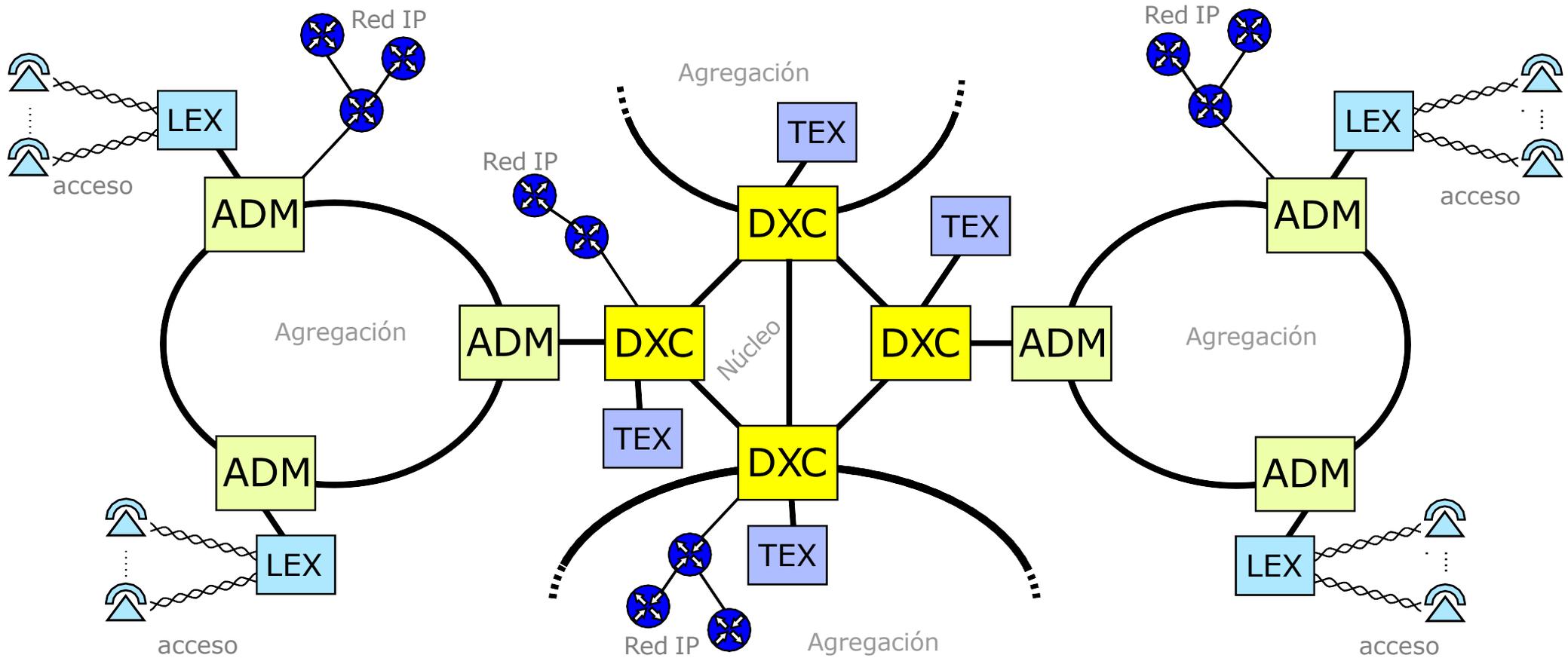
Anillos

La topología más usada con SDH

Mayor flexibilidad que punto a punto

Mejor protección: dos rutas independientes entre dos nodos

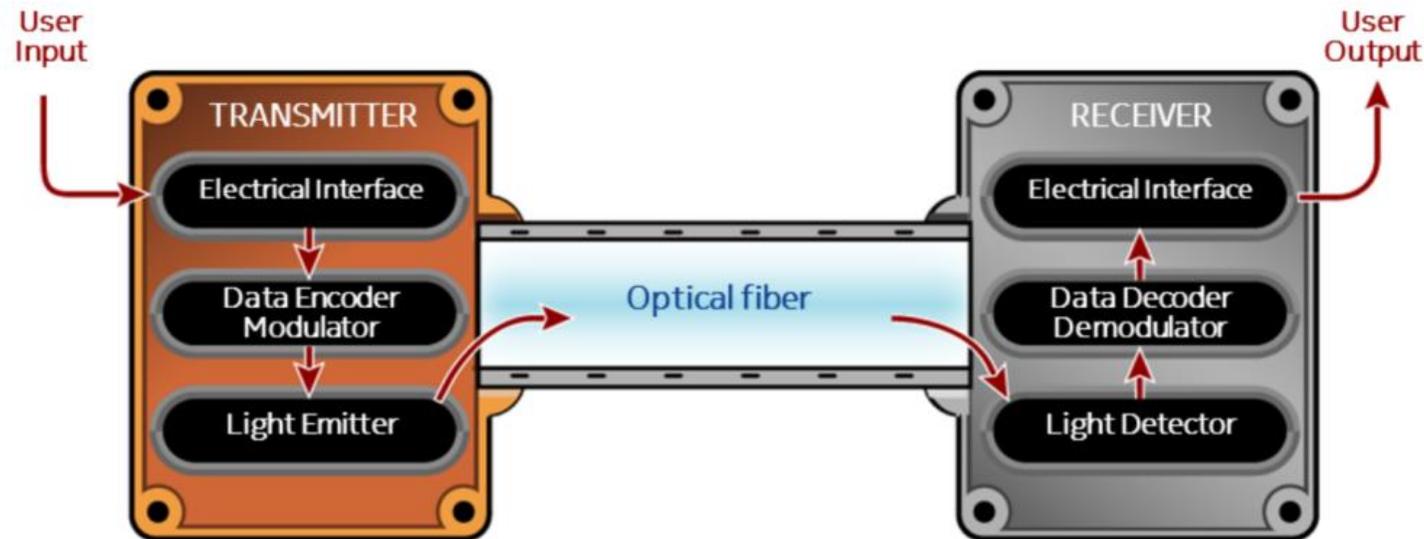
SDH – Topologías de Red



Transporte Óptico – Fundamentos

Transmisión: proceso de mandar, propagar y recibir una señal analógica o digital con información

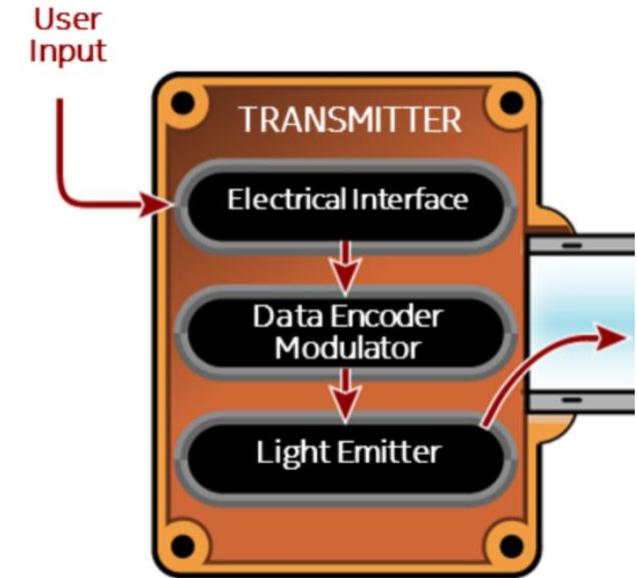
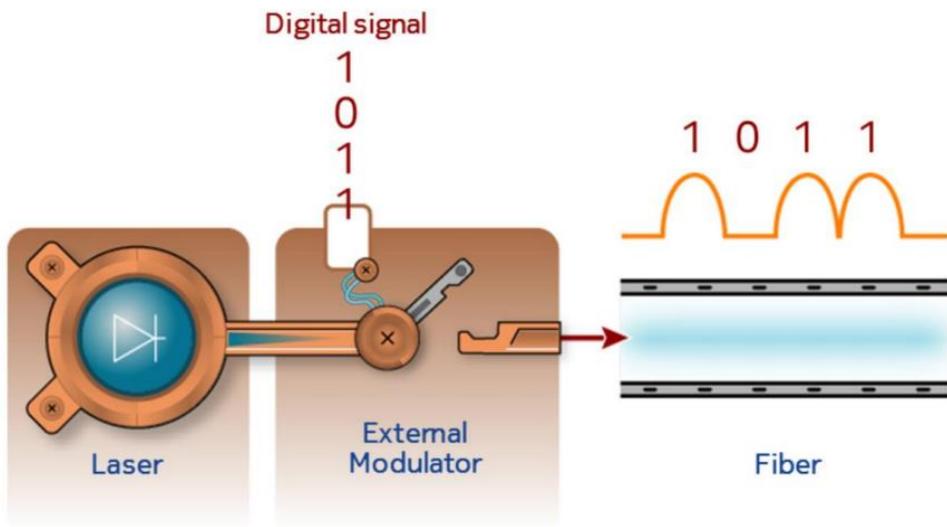
El transporte óptico usa los mismos elementos básicos que por cobre: transmisor, receptor y medio (en este caso fibra óptica)



Transporte Óptico – Fundamentos

El **transmisor** recibe la señal digital o analógica a ser enviada

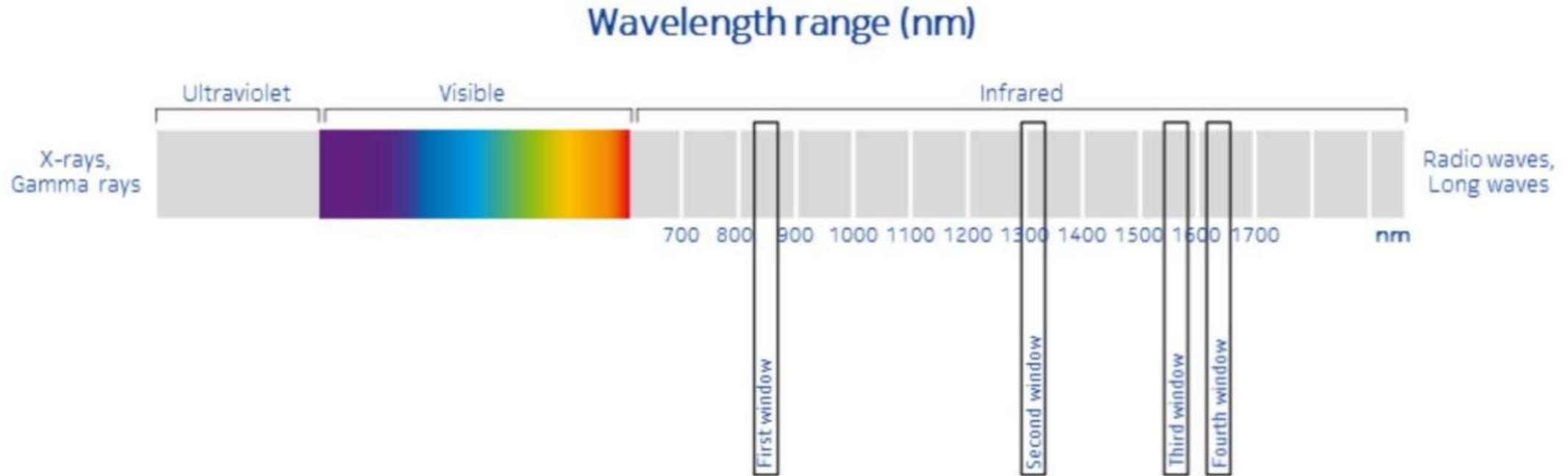
Para convertir la señal a pulsos de luz, usa un emisor de luz que puede ser un LED o un LD



El diodo está siempre encendido y el modulador mueve el contacto según el valor de la señal

Genero '1' con el contacto cerrado (mando un pulso) y '0' con el contacto abierto (sin luz)

Transporte Óptico – Fundamentos



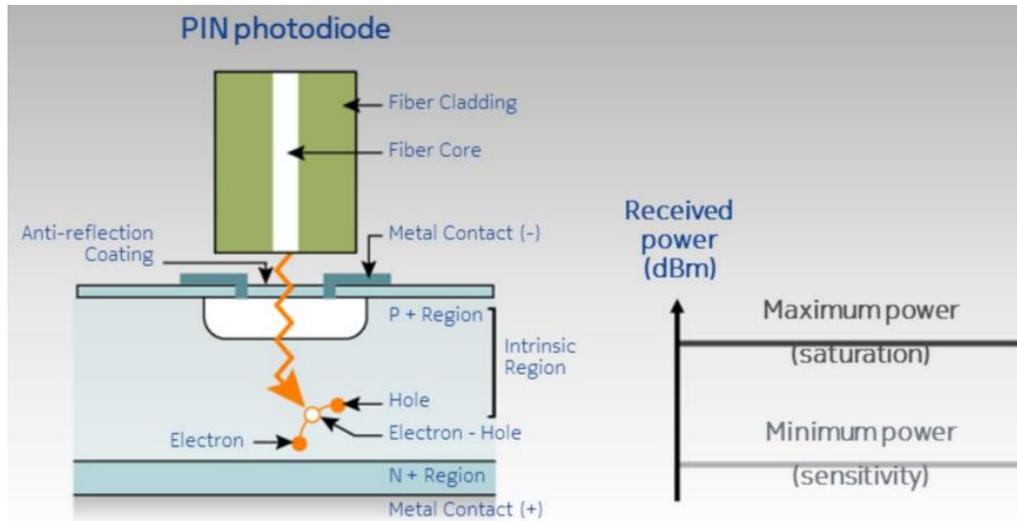
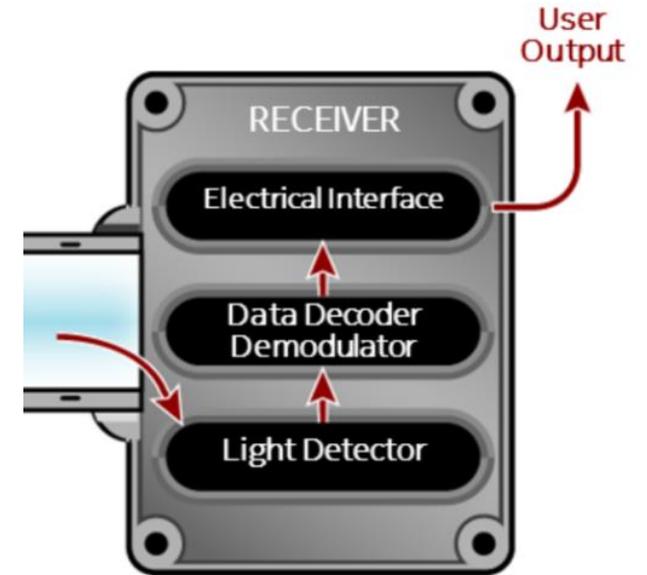
En sistemas ópticos distinguimos las señales por su longitud de onda (en nm)

Para fibra óptica, el rango de longitudes de onda utilizadas está en el infrarrojo

Transporte Óptico – Fundamentos

El **receptor** usa un fotodiodo para recibir la señal óptica

El fotodiodo produce corriente eléctrica en respuesta a la luz entrante para reconstruir la señal



Se usa la potencia recibida para determinar el valor de la señal

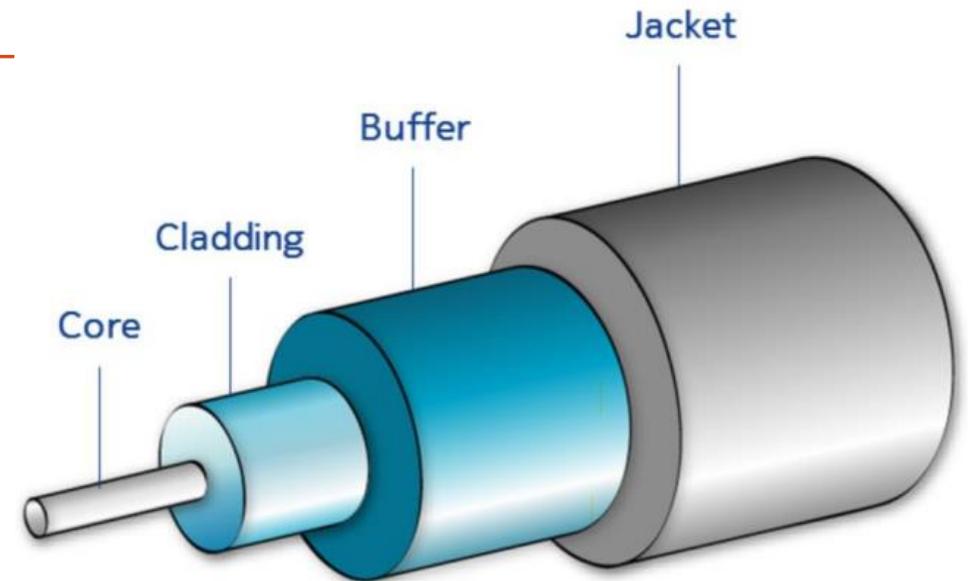
Se establece un mínimo (sensibilidad) y un máximo (saturación) para la potencia

Transporte Óptico – Fundamentos

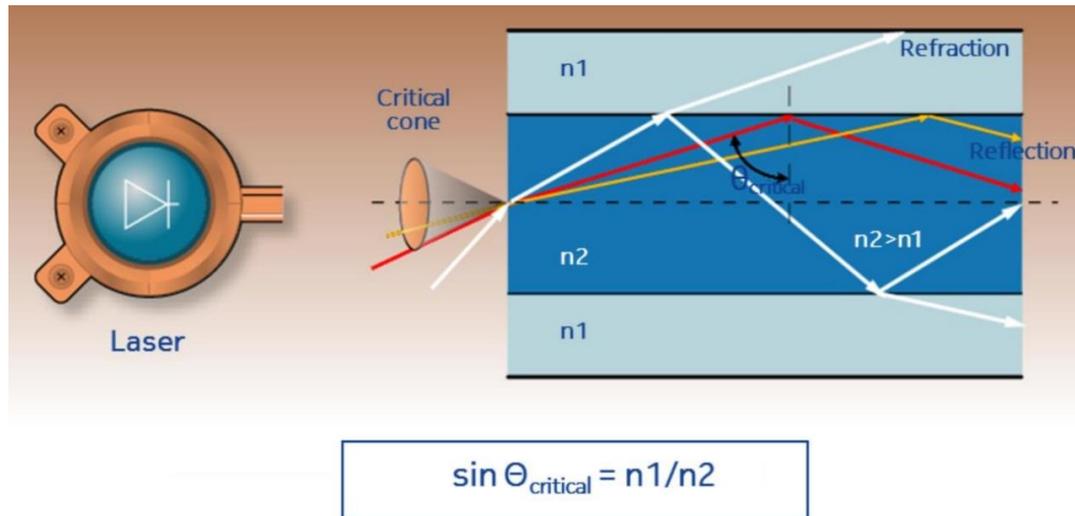
El **medio** a través del cual se envían las señales es la fibra óptica, que conecta transmisor con receptor

Está hecha de cuatro **regiones** principales:

- Núcleo: transporta la luz con la información de la señal
- Revestimiento: vidrio con índice de refracción distinto para confinar la luz
- Buffer: plástico para proteger la fibra
- Funda: protección contra humedad, daños mecánicos o químicos



Transporte Óptico – Fundamentos



El núcleo de la fibra funciona de **guía de onda** para la luz transmitida

El rayo tiene que estar en el cono de incidencia para no superar el ángulo crítico

Con un ángulo mayor al crítico, la luz cambia de medio

Transporte Óptico – Fundamentos

Dos grandes tipos de **fenómenos** pueden afectar la propagación a través de la fibra:
Atenuación y Dispersión

La **atenuación** puede estar dada por absorción o scattering, además de otros factores externos a la fibra

La **dispersión** puede verse en dos modos:

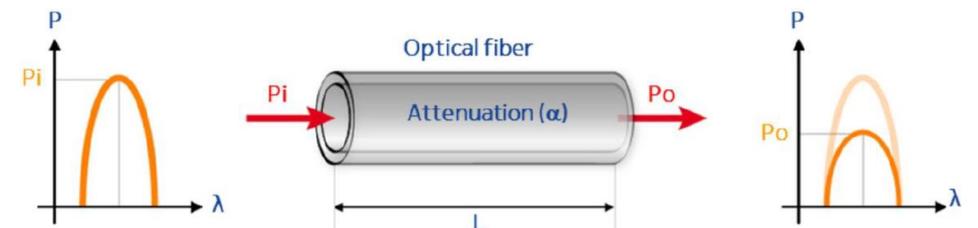
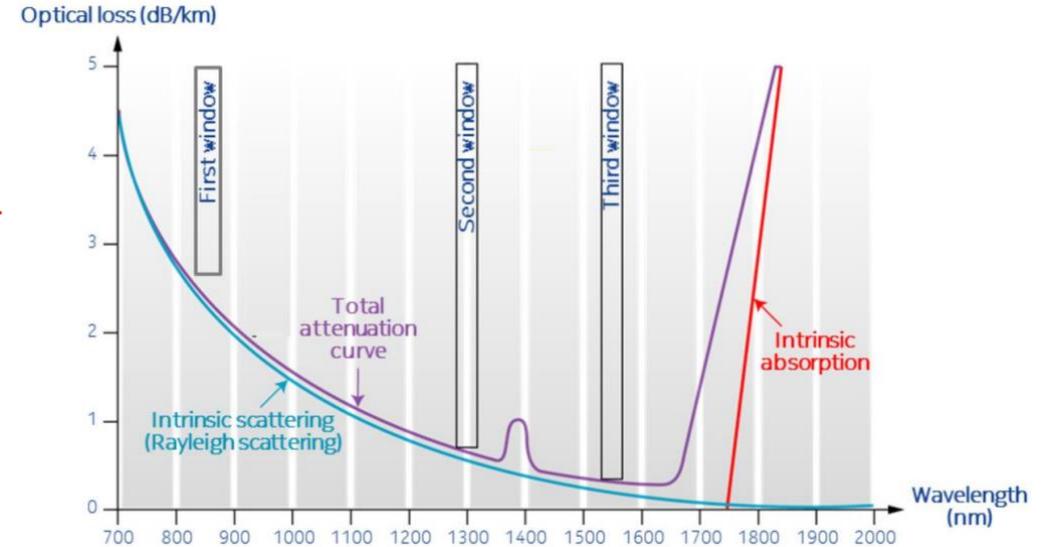
- PMD: Polarization Mode Dispersion
- CD: Chromatic Dispersion

Transporte Óptico – Fundamentos

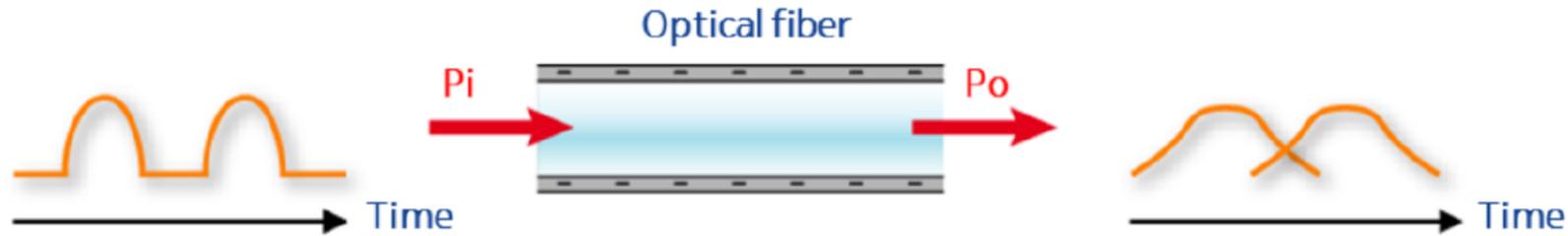
Los fenómenos que pueden generar atenuación (pérdida de potencia) son:

Scattering (Rayleigh): causado por pequeñas variaciones en la densidad del vidrio en su fabricación, que pueden cambiarle el ángulo de propagación al haz

Absorción: impurezas en el vidrio de la fibra absorben la energía óptica, generando que la luz pierda potencia. Afecta significativamente a $\lambda > 1700$ nm

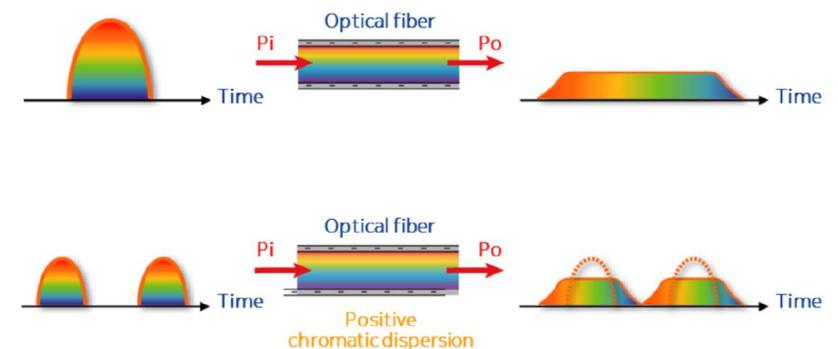


Transporte Óptico – Fundamentos



Dispersión: espaciado o esparcimiento de los pulsos de luz en la medida que se propagan por el medio óptico. Limita el ancho de banda.

Dispersión cromática: generada porque diferentes lambdas viajan a diferentes velocidades por el medio, esparciendo el espectro



Dispersión por modo de polarización: generada por asimetrías en la fibra, ya sea por fabricación o por efectos mecánicos sobre el núcleo (como doblar el cable). El efecto no es lineal por ser un fenómeno estadístico.

Transporte Óptico - WDM

WDM: Multiplexación por división en longitud de onda. Tecnología que usa múltiples longitudes de onda para transmitir diferentes flujos de datos sobre una misma fibra

Corresponde al concepto de multiplexación en Frecuencia (FDM), aplicado en el dominio de la óptica

Obtiene los mayores anchos de banda en transmisiones punto a punto (Tbps) sobre una sola fibra

Beneficioso para enlaces de media y larga distancia

Los primeros sistemas WDM aparecieron en torno a 1985 combinando dos señales (1310 nm y 1550 nm)

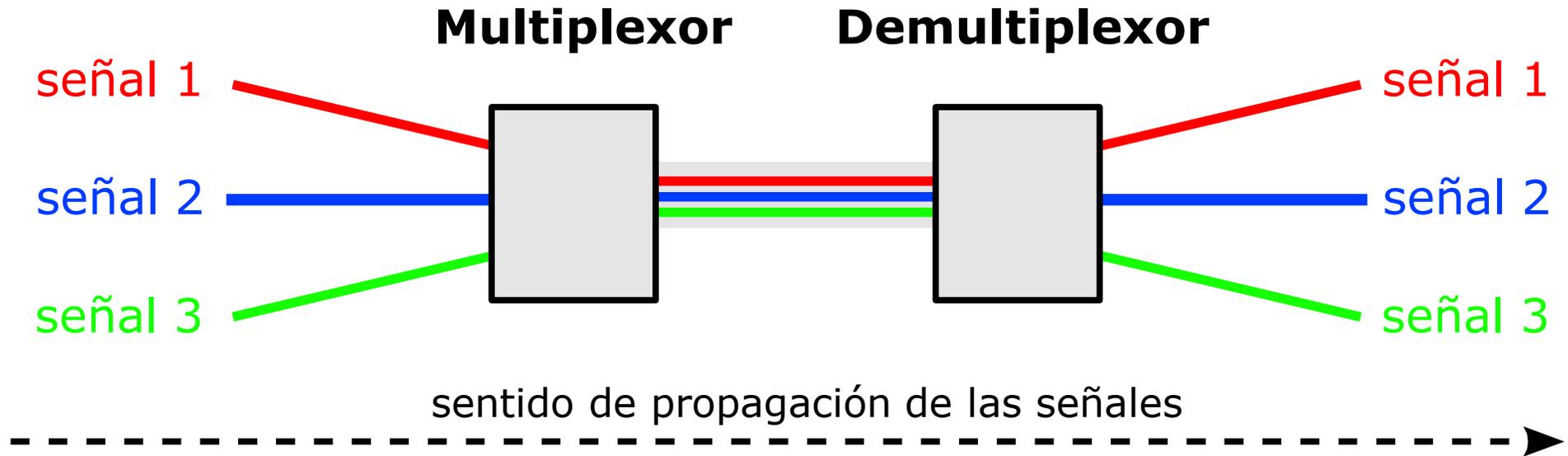
Transporte Óptico - WDM

Existe fibra desde los 60s, pero el punto de inflexión en telecomunicaciones ópticas: amplificadores puramente ópticos (90s). Posibilitan sistemas ópticos puros de larga distancia, reduciendo costos y facilitando su despliegue comercial.

Los primeros sistemas multicanal usaban la banda de 1550 nm y requerían láseres de precisión de alto costo, por lo que solo eran convenientes en enlaces de muy larga distancia

La necesidad de soluciones WDM más económicas para emplearse en las regiones metropolitanas condujo a la aparición de técnicas multicanal más espaciados y que no requiriesen los componentes más costosos.

Transporte Óptico – WDM



Los sistemas WDM se dividen en dos categorías según el patrón de lambdas empleado: CWDM y DWDM

Transporte Óptico - CWDM

Coarse Wavelength Division Multiplexing: Es la tecnología que provee espacios amplios entre lambdas

Permite el uso de equipamiento menos sofisticado y más económico para su funcionamiento. Es el método de transporte **más económico por bps**

ITU-T G.694.2 (2003) define las lambdas para CWDM: 18 lambdas equidistantes a 20 nm entre sí, desde 1271 nm a 1611 nm

Limites aproximados: 80 km para una señal de 2.5 Gbps, distancias más cortas pueden soportar hasta 100Gbps

Se utiliza en redes de TV y algunos sistemas FTTx (ej.: PON), etc.

Transporte Óptico - DWDM

Dense Wavelength Division Multiplexing: Mayor densidad de portadoras, en un rango solapado con CWDM

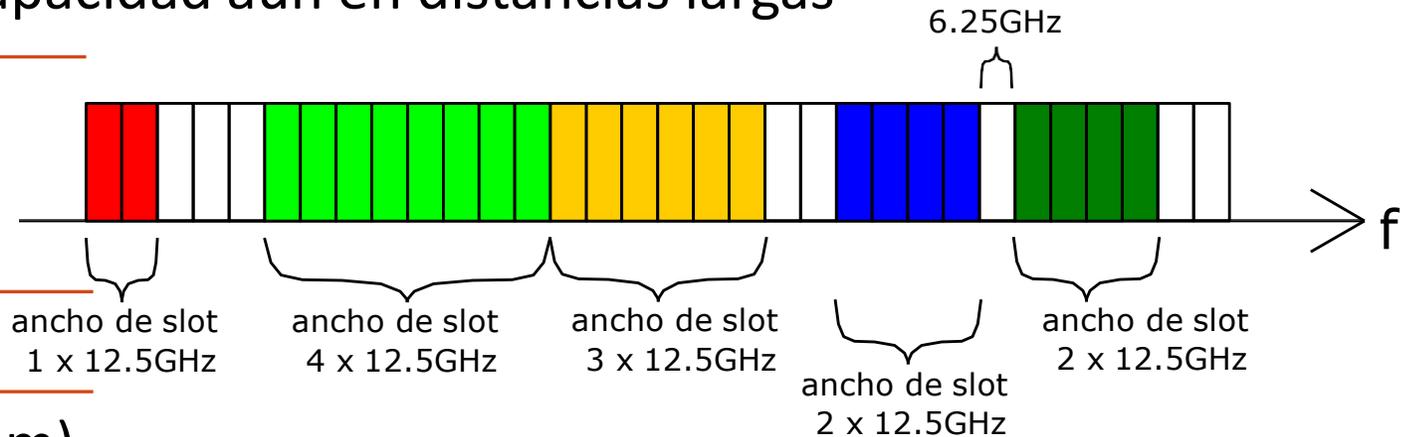
Método de transporte de mayor capacidad aún en distancias largas

ITU-T G.694.1 define las lambdas para DWDM: $193.1\text{THz} + n * \Delta f$

$\Delta f = 12.5\text{ GHz} (\sim 0.1\text{nm}), 25\text{ GHz}, 50\text{ GHz}$ o $100\text{GHz} (\sim 0.8\text{nm})$

Mínimo: 184.5THz ($\sim 1624.89\text{nm}$)

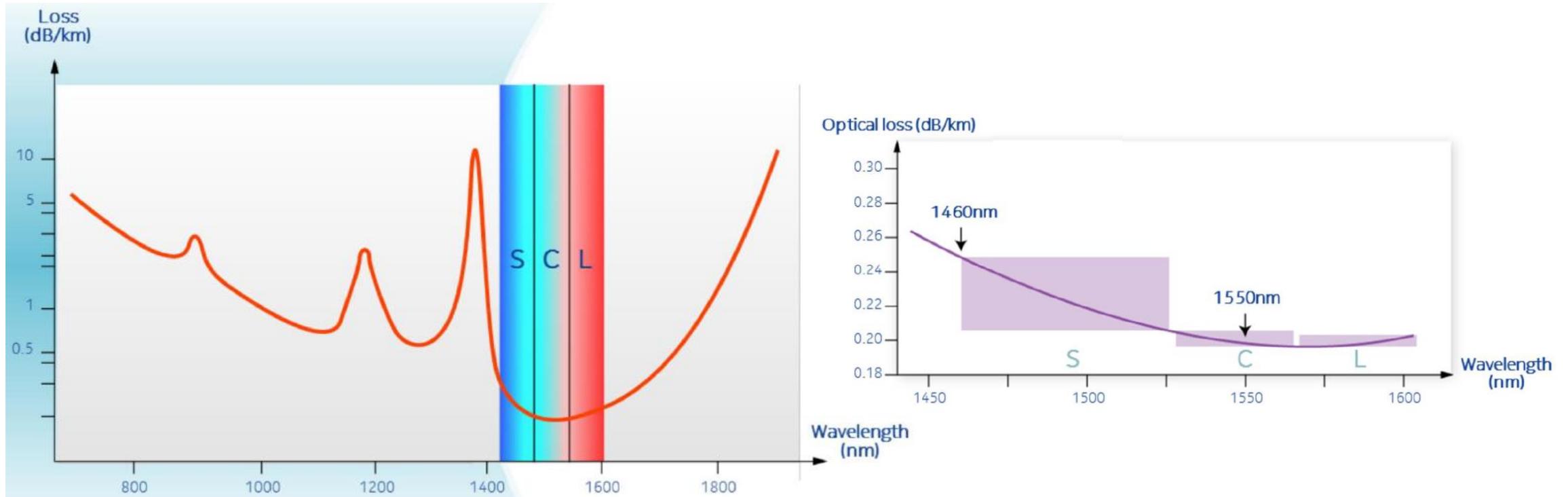
Máximo: 195.9375THz ($\sim 1530.04\text{nm}$)



Grilla Fija: Ancho de banda se toma igual al espaciado.

Grilla Flexible: Anchos de banda múltiplos de $12,5\text{GHz}$. Puede usarse un $\Delta f = 6.25\text{GHz}$ para posicionar y componer la grilla.

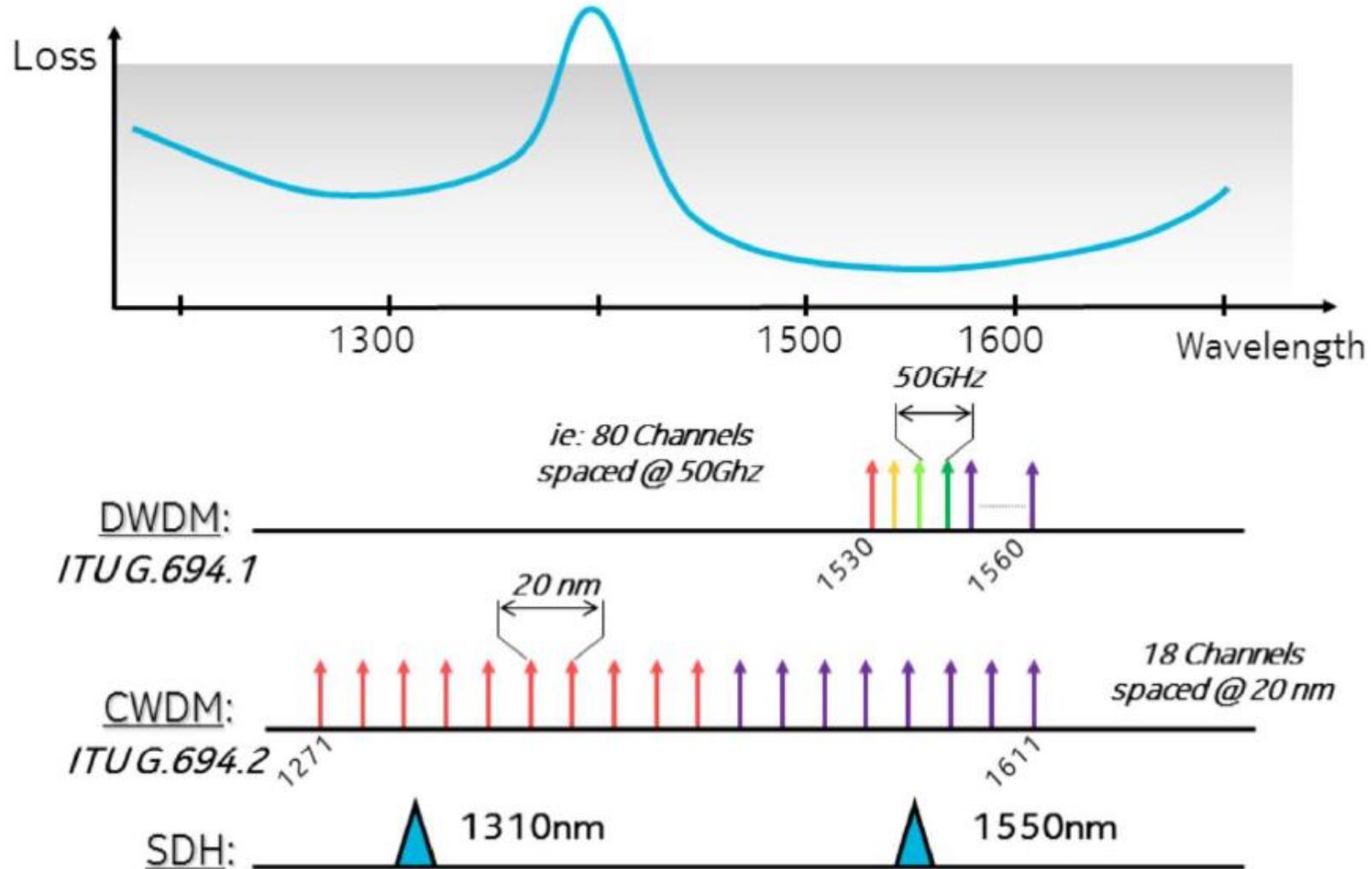
Transporte Óptico – DWDM



El rango de DWDM está definido para contemplar las frecuencias de atenuación

Se divide en tres bandas ópticas: banda corta (S, 1460-1530nm), banda convencional (C, 1530-1565nm) y banda larga (L, 1565-1625nm)

Transporte Óptico – CWDM vs DWDM



Transporte Óptico – CWDM vs DWDM

CWDM

Menor costo

Redes Metro

Topologías Point to Point

Hasta 8 canales / 20nm separación

Hasta 80km / 20dB

Sin amplificación óptica

Lambdas de 10G o menos

DWDM

Mayor costo / equipos más versátiles

Redes Metro y Long haul

Topologías PtP / Mesh / Anillo

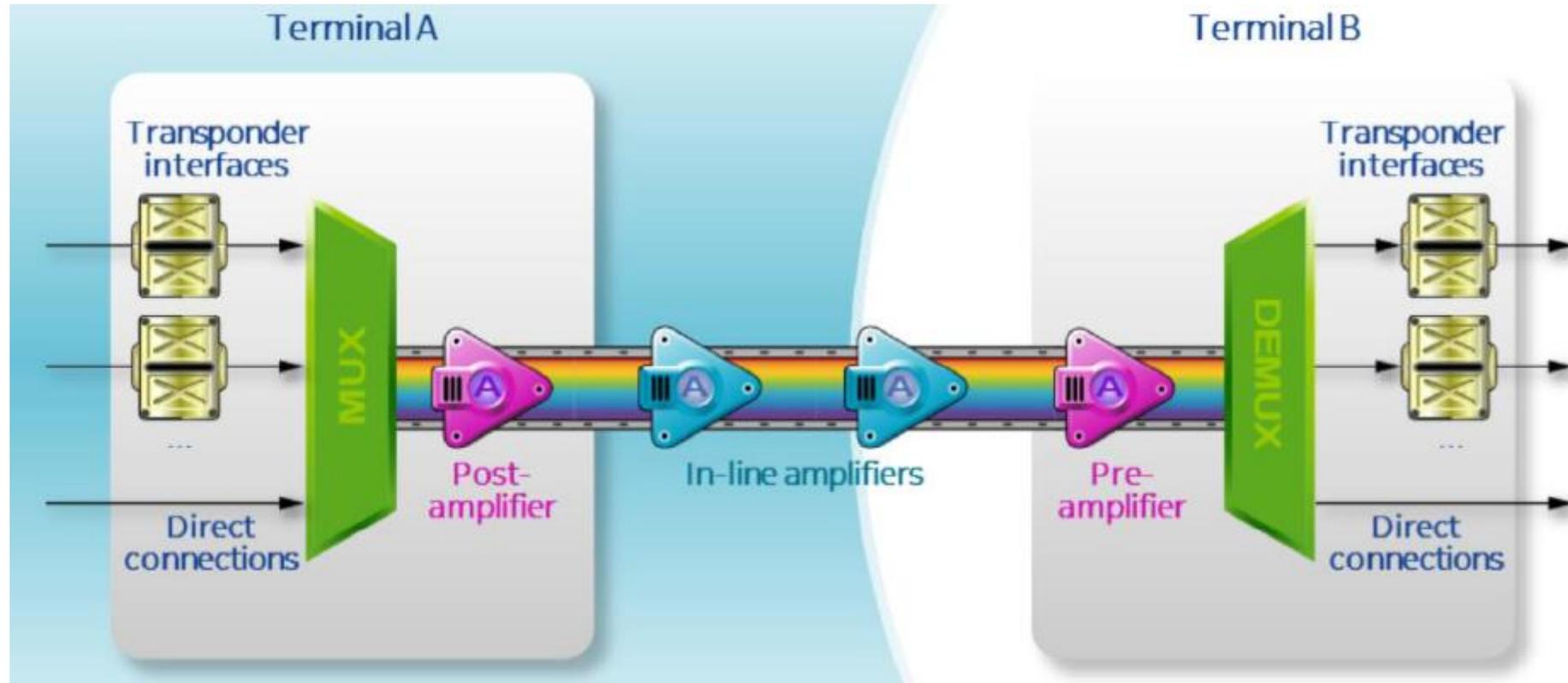
Hasta 128 canales / 25 GHz separación

Miles de km

Con amplificación óptica

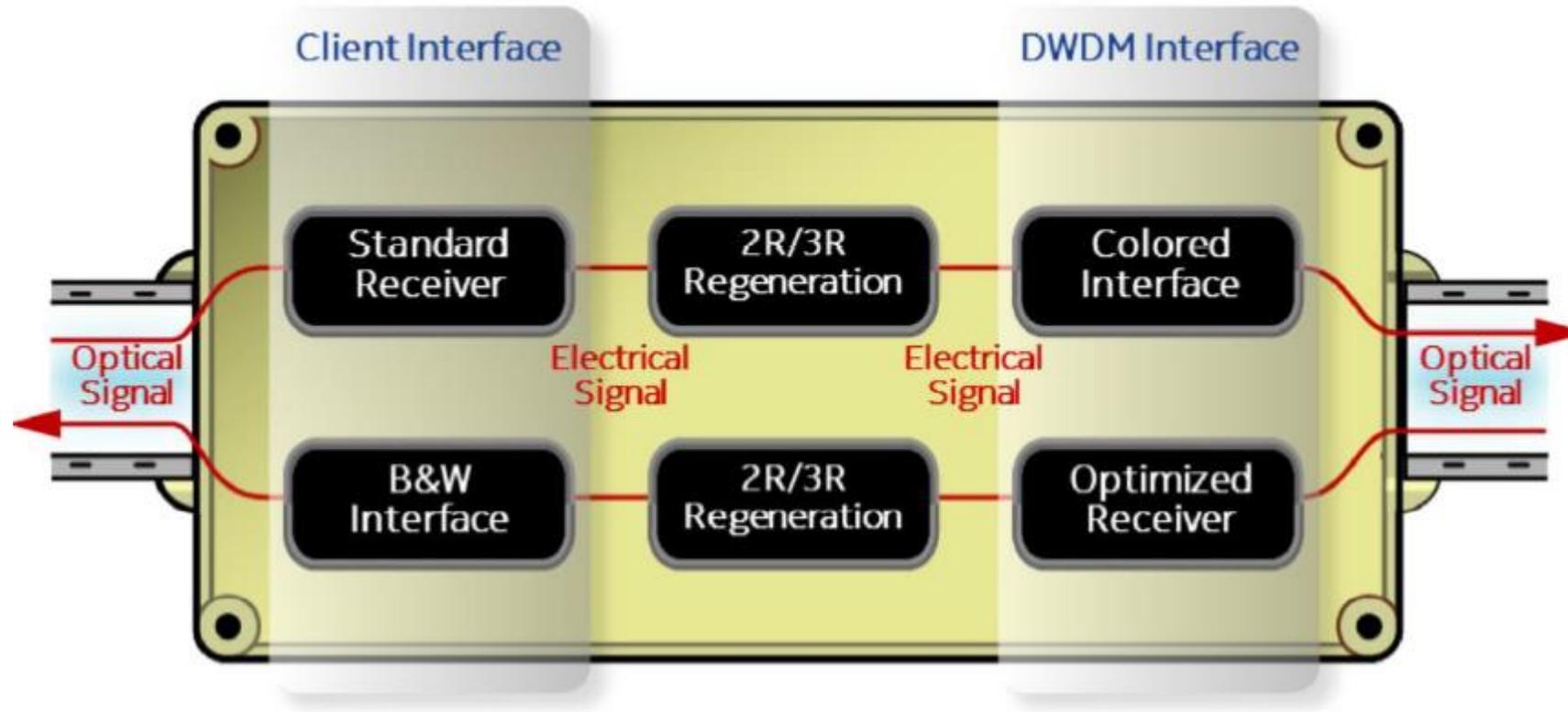
Lambdas de 100G

Transporte Óptico – Equipamiento WDM



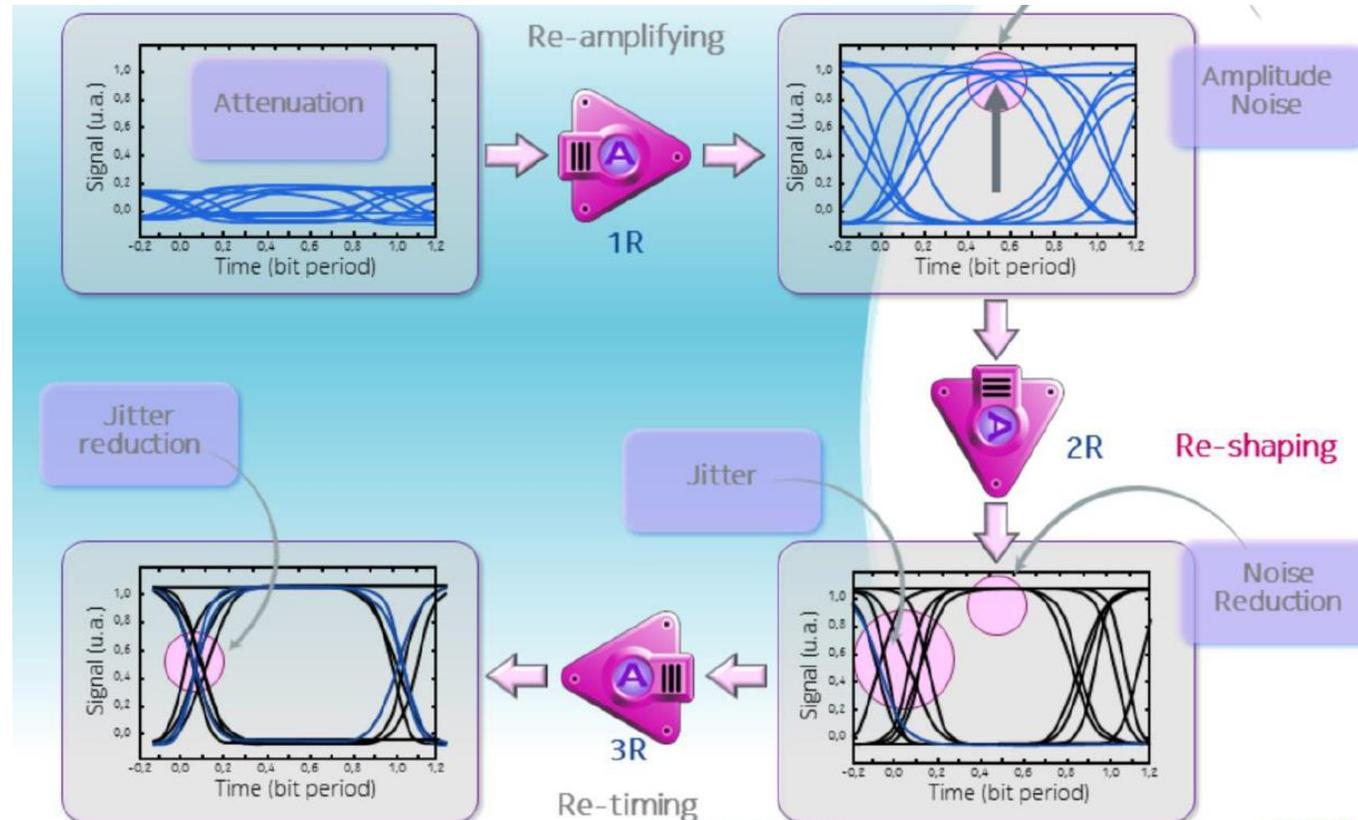
Componentes para la comunicación WDM entre dos terminales: Transmisor (Transponder), Mux/Demux, Amplificadores, Fibra, Receptor (Transponder). Además: regeneradores, OADM, OXC

Transporte Óptico – Equipamiento WDM



Transponder: Convierte una señal full-dúplex eléctrica de sistemas clientes (ej.: SDH) en una señal óptica sobre una lambda disponible, o lo inverso

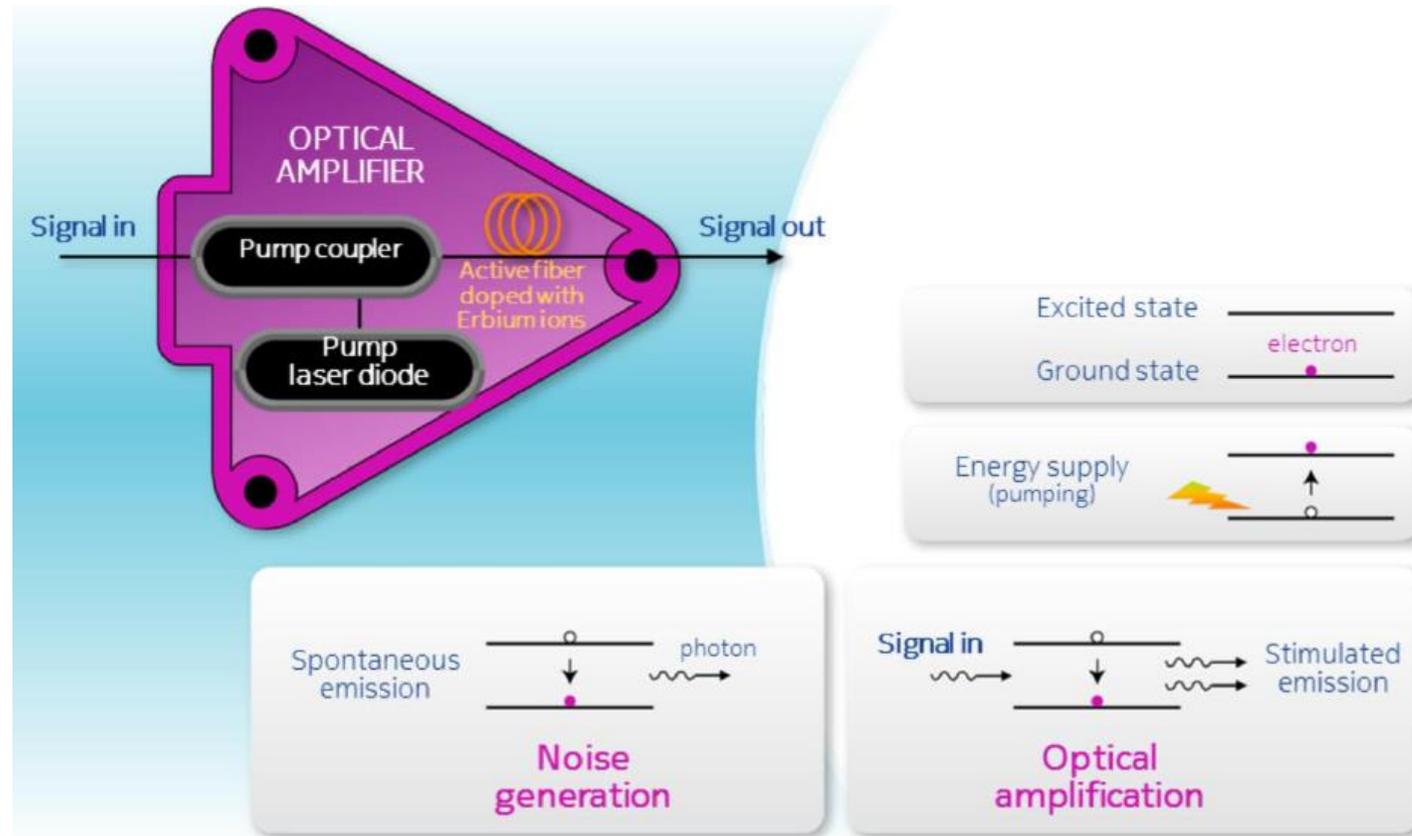
Transporte Óptico – Equipamiento WDM



Regeneradores reconstruyen la señal óptica. '3R': Re-amplify, Re-shape, Re-timing

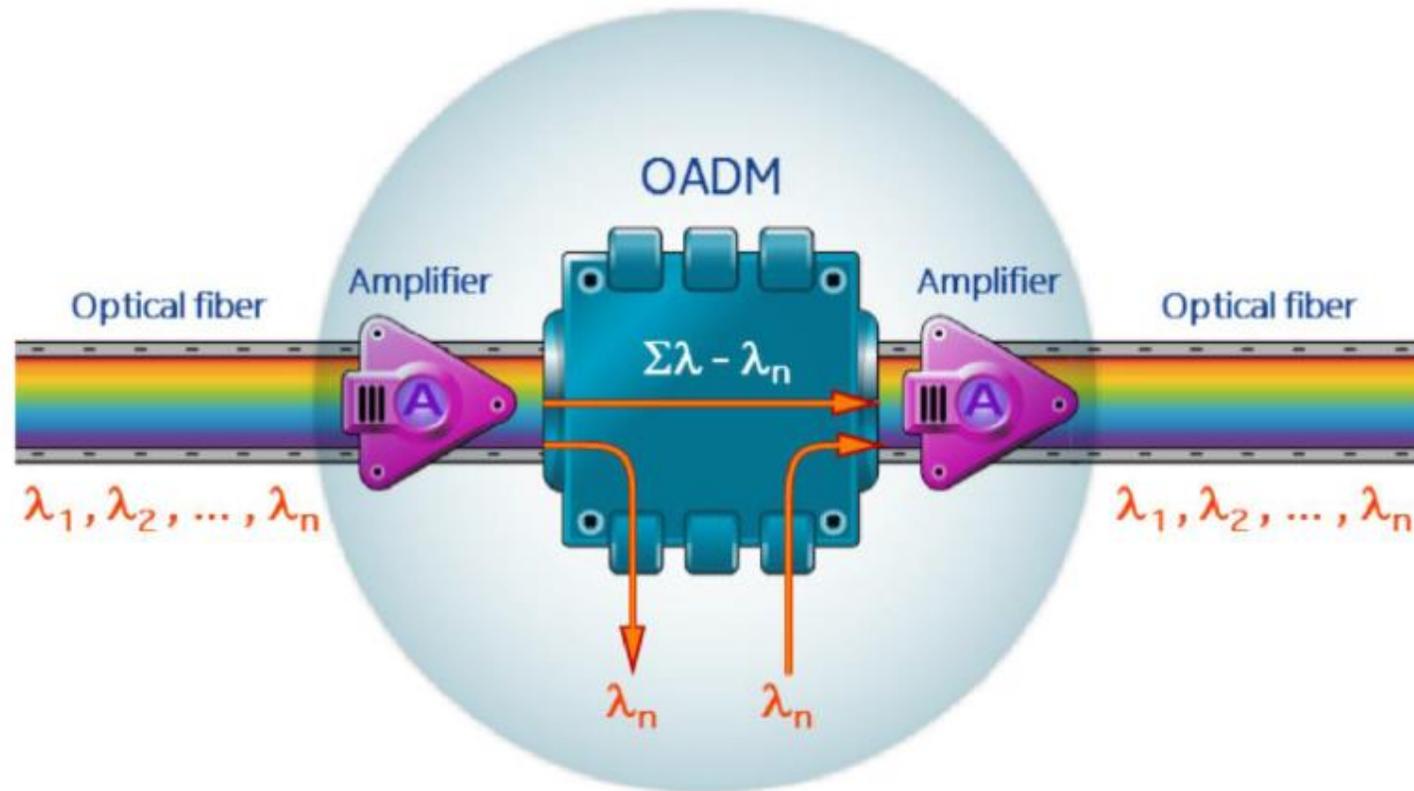
Corrigen atenuación, distorsión y Jitter (variaciones de retardo). Contiene amplificadores

Transporte Óptico – Equipamiento WDM



Amplificadores suelen usar Erbium-Doped Fiber Amplifier (EDFA). Emiten luz cerca de 1550 nm al ser estimulados con otra fuente, que amplifica y agrega ruido.

Transporte Óptico – Equipamiento WDM



(Reconfigurable) **Optical Add-Drop Multiplexer**: elemento que inserta o extrae carga de una lambda sin afectar a las demás. Opción reconfigurable es por software.

Transporte Óptico – Equipamiento WDM

Terminal de Línea DWDM: termina un camino DWDM, contiene uno o más transponders, muxponders y regeneradores.

Conmutador Óptico (OXC): análogo a un DXC de SDH o un conmutador de circuitos TDM. Conmuta lambdas de cualquier fibra y las conmuta con otra lambda de cualquier otra fibra.

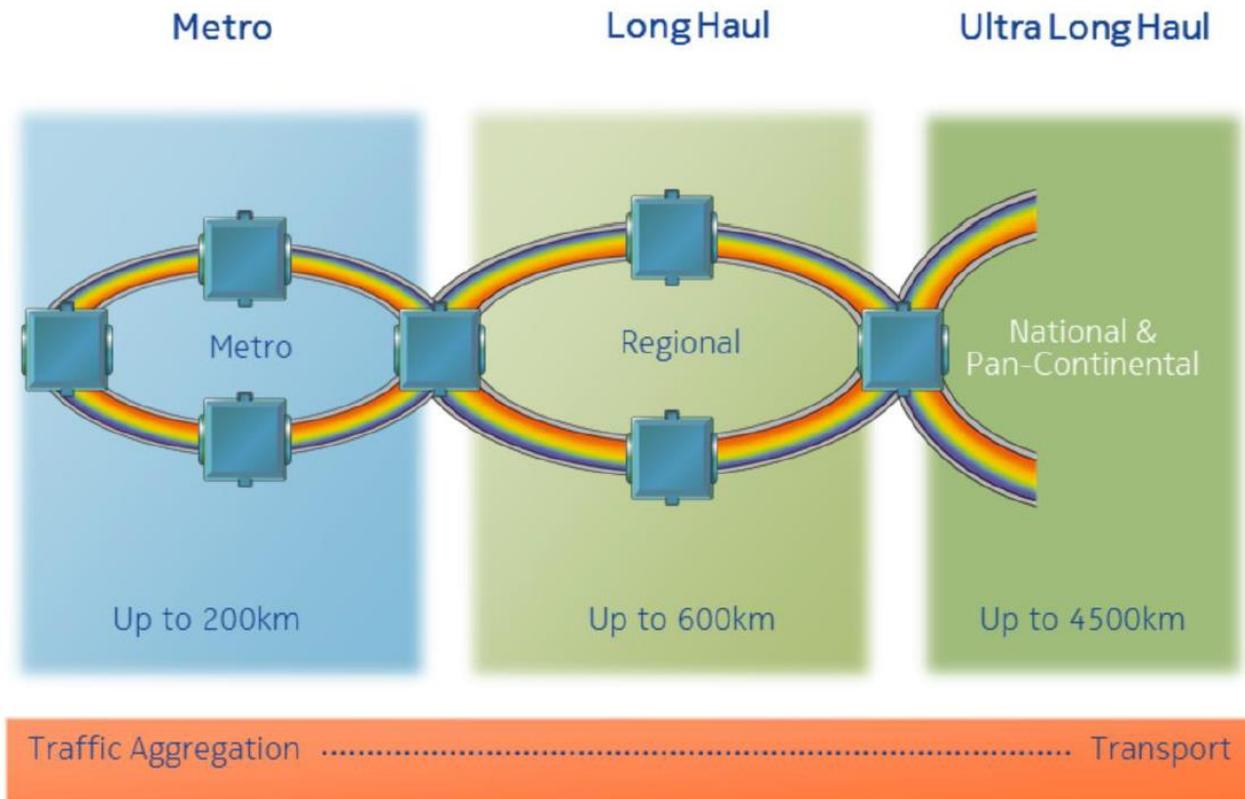
Clasificación según el grado de conversión eléctrica:

Opaco: Toda señal óptica se convierte a eléctrica para su procesamiento interno

Transparente: Todo el procesamiento es óptico

Transporte Óptico – Arquitectura DWDM

Los elementos de red DWDM pueden usarse para aplicaciones muy variadas, desde ciudades hasta intercontinentales.



Transporte Óptico – Arquitectura DWDM

Metro

Menos de 80 canales

Lambda 40G a veces no soportado

1 o 2 etapas de amplificación

No siempre soporta Raman

Uso de Lambdas Alien

Long Haul

Más de 80 canales

Lambda 40G, 100G (o más)

2 etapas de amplificación

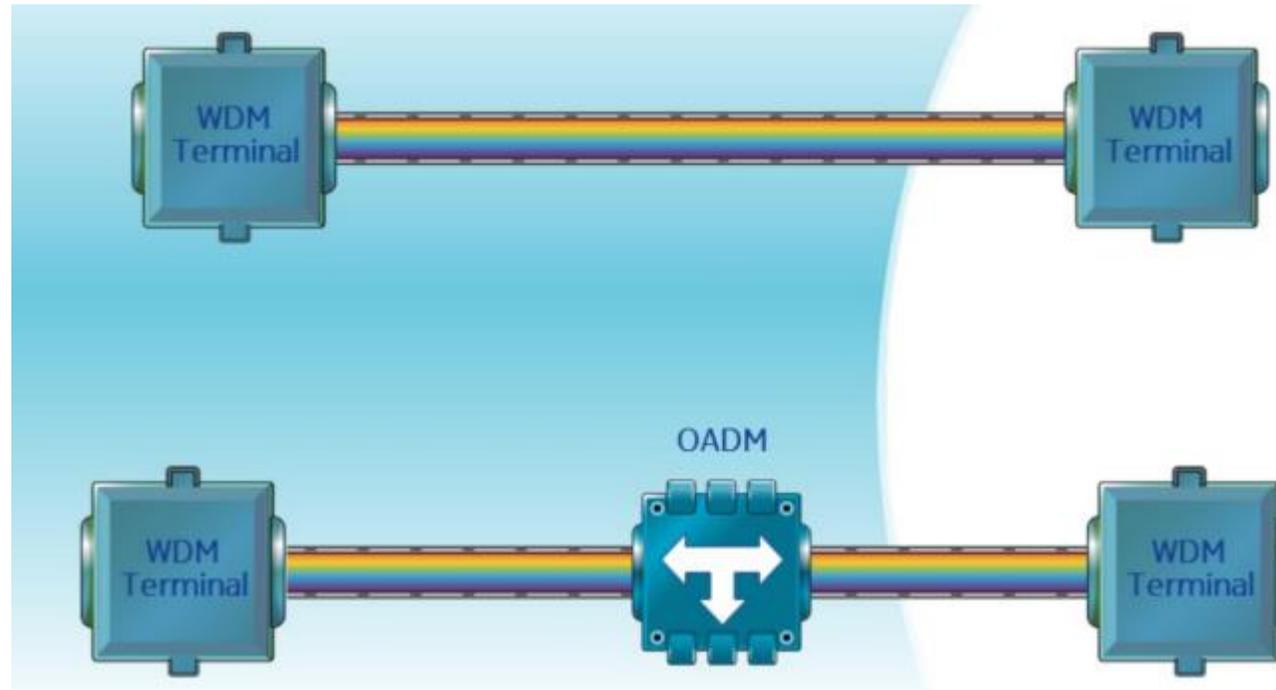
Uso de Amp. Raman

Raro el uso de Lambdas Alien

Transporte Óptico – Arquitectura DWDM

Topologías punto a punto pueden implementarse con o sin OADM. Estas redes permiten velocidades de 10 a 40 Gbps, con buena integridad y confiabilidad.

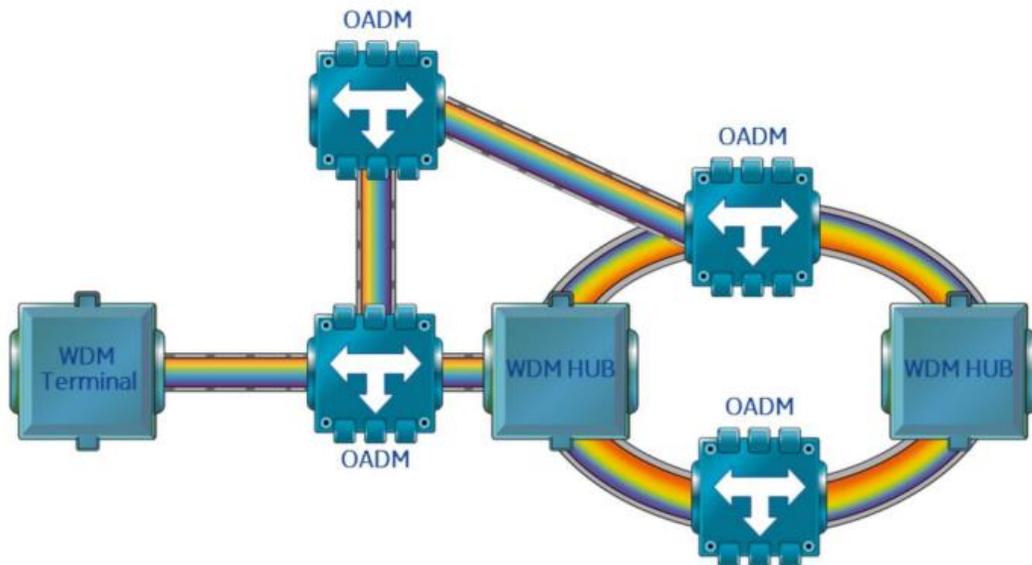
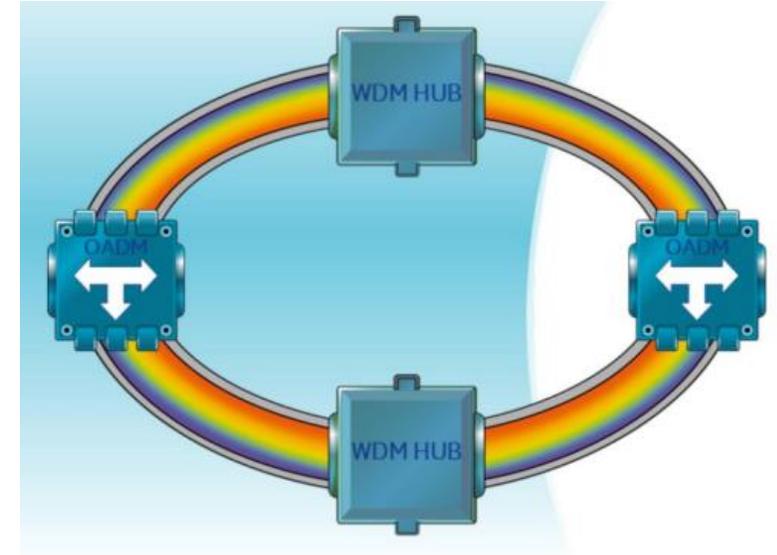
En redes long haul suelen requerir amplificadores, en redes metro no



Transporte Óptico – Arquitectura DWDM

El **anillo** es la topología más común en redes Metro, a lo largo de decenas de kilómetros

Se usan hubs para conectarse con otras redes y OADMs para distribuir o incluir lambdas en distintos puntos



Mesh es la topología más robusta, que usa nodos transparentes interconectados

Requieren un alto nivel de inteligencia para las funciones de gestión y protección

OTN – Introducción

Definición ITU-T G.709: *OTN es un conjunto de Elementos de Red Óptica (ONE) conectados por fibras ópticas capaces de proveer funcionalidades de transporte, multiplexación, conmutación, gestión, supervisión y supervivencia de los canales ópticos que llevan señales de clientes.*

Más simple, proporciona inteligencia de red sobre tecnologías WDM.

Define una trama ("envoltorio digital") con una cabecera y elementos Forward Error Correction para cada lambda.

Permite proveer **varios tipos de servicios** sobre una misma longitud de onda.

Las OTN integran el transporte de señales SDH, Ethernet, MPLS, etc. de entre 100Mbps y 100Gbps. Incorpora **adaptación directa** para transmisión de paquetes. Ej. permite IPoDWDM, que elimina varias capas intermedias

OTN – Introducción

Idea: construir un transporte sobre los mismos principios que SDH pero con mayor capacidad y menos overhead por agregación de señales

Emplea encapsulamiento jerárquico para transmisión de datos de usuarios

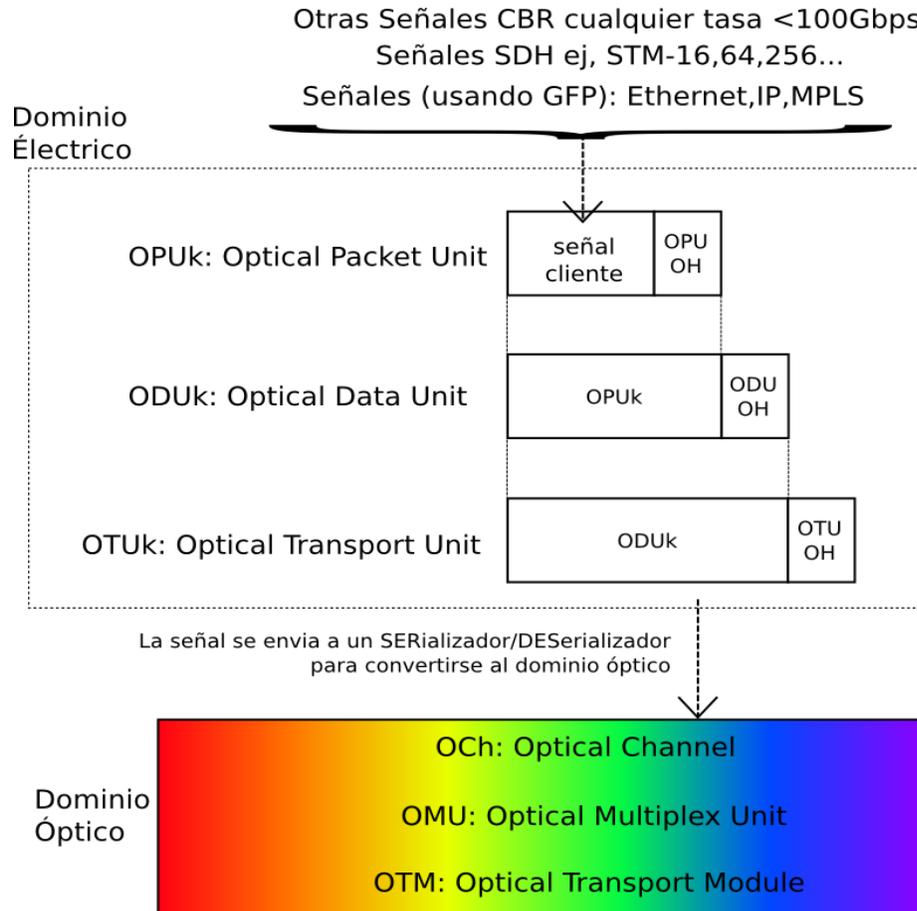
Especifica esquemas de mapeo de tramas SDH

Usa Generic Framing Procedure (GFP, ITU-T G.7041), una técnica para mapeo de señales de usuarios de largo variable a redes de circuitos.

Introduce, además de WDM, el uso de TDM dentro de cada lambda (“sub- λ ”)

Las tasas de transmisión de G.709 se basan en las de SDH: OTU1 de 2,6Gbps (para STM-16), OTU2 de 10.7Gbps (para STM-64), OTU3 de 43.1Gbps, OTU4 de 112 Gbps o de cada lambda (o “sub- λ ”)

OTN – Jerarquías OTH

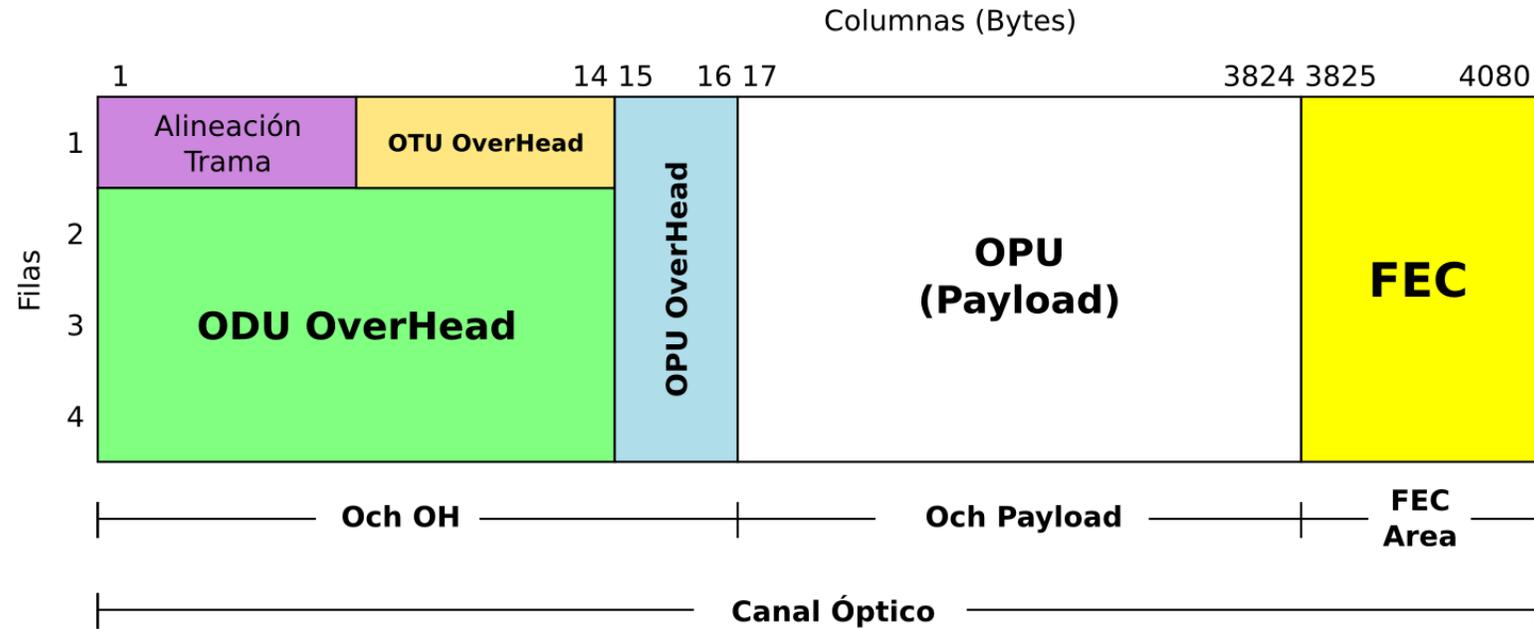


OPUk: Encapsula señal cliente y añade justificación. No lo modifica la red, sólo los extremos (similar a POH de SDH)

ODUk: se utiliza para combinar múltiples señales OPUk en una sola señal. Permite multiplexar ODUs sobre sí mismas

OTUk: Añade FEC y funciones similares al SOH de SDH.

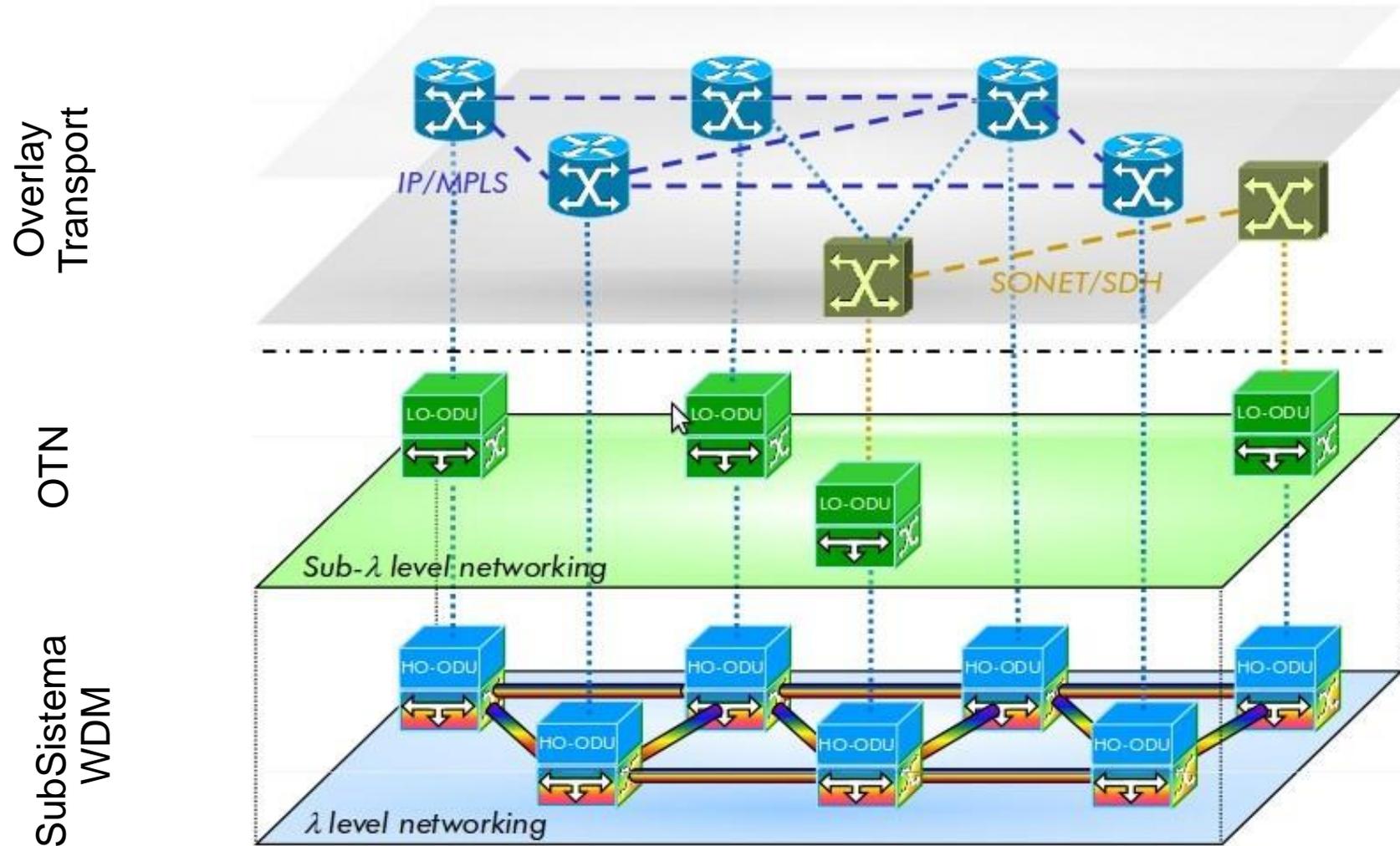
OTN – Trama



Diferencia con SDH: OTN emplea misma estructura y diferentes duraciones de tramas para obtener diferentes bitrates, en lugar de usar un bitrate fijo y agrandar la estructura

Esto es posible gracias al uso de WDM a nivel de lambdas

OTN – Estructura de Red



Transmisión

EN REDES DE PAQUETES

Transmisión de Paquetes – Introducción

Convergencia: Actualmente además de datos tradicionales, las redes de paquetes se usan para transportar servicios de voz y video tanto a demanda como en tiempo real; cambian los requerimientos de Calidad de Servicio (QoS) como retardo, jitter, tasa de pérdida, etc.

Para proporcionar los recursos necesarios para estos nuevos servicios (capacidad de conmutación y de transmisión, control de congestión) se ha transformado la antigua infraestructura de Internet y otras redes de paquetes. **Balance: Reserva de recursos VS Rentabilidad**

El crecimiento exponencial del número de usuarios y del volumen de tráfico desde los años 90 añade otra dimensión al problema y lleva a la aceptación de TCP/IP como estándar de facto

MPLS – Multi Label Protocol Switching

Protocolo de transporte de paquetes en una posición dominante frente a los demás.

IETF RFC 3031

Surge para tener routers en hardware con **mayor capacidad** que los IP (IP era costoso de conmutar en hardware).

La conmutación de alta velocidad (en hardware) de los paquetes es posible debido al uso de etiquetas de largo fijo en el encabezado de los paquetes, sencillas de resolver con look-up tables.

Luego se encontró que la idea tenía un potencial mucho mayor: MPLS sirve como solución para satisfacer las necesidades de la gestión y asignación de anchos de banda, ingeniería de tráfico, escalabilidad y requerimientos de calidad de servicio en las redes cuyos backbones son basados en IP.

Típicamente MPLS es usado en forma aislada dentro de la red del ISP.

MPLS – Características

Se basa en la asignación e intercambio de etiquetas. Separa el routing del forwarding.

Permite implementar Ingeniería de Tráfico, ruteo basado en restricciones y garantizar **QoS** sobre IP. También generar VPNs.

Es agnóstico de los protocolos de capa 2 y 3, y que soporta los protocolos más usados, como Ethernet

MPLS local protection (fast re-route): ante la falla de algún elemento MPLS provee un tiempo de recuperación si hay caminos alternativos

Opera de manera independiente del protocolo de ruteo “superior”

MPLS – Características

Permite la construcción de redes jerárquicas agregando etiquetas.

Se basa en el establecimiento de circuitos virtuales (apropiado para establecer VPN)

Existen distintas aplicaciones para MPLS que permiten:

- **Mapear** conjuntos de direcciones IP a etiquetas simples de largo fijo
- Tomar información de los protocolos de ruteo como OSPF o BGP o complementarios como RSVP para crear los túneles
- **Pre-Establecer** manualmente circuitos virtuales

MPLS – Arquitectura

Componentes Físicos

LER: Label Edge Router

Nodo de borde

Clasifica (*push* de etiqueta) el tráfico que ingresa al dominio, extrae la etiqueta del tráfico que sale (*pop*), realiza una permutación de etiqueta para el tráfico en tránsito (*swap*), o realiza alguna combinación de las anteriores

Pueden tener puertos conectados a distintos tipos de redes

LSR: Label Switching Router

Nodo de núcleo

Dispositivo especializado en intercambiar etiquetas (conmutación de etiquetas)

Participa en el establecimiento de los caminos (LSP)

MPLS – Arquitectura

Componentes Funcionales

FEC: Forwarding Equivalence Class

Clase en la que se agrupan todos aquellos tráficos con similares requerimientos, y recibirán el mismo tratamiento durante su encaminamiento.

Cada router construye su base de Información de Etiquetas (**LIB**) para determinar a qué FEC corresponde cada paquete, y Base de Información de Encaminamiento de Etiquetas (**LFIB**), con información de encaminamiento según la FEC

Se usa un stack LIFO de etiquetas de manera de permitir varios niveles de FECs, permite manejar flujos de datos de diferentes jerarquías.

LSP: Label Switched Path

Camino que siguen todos los paquetes de una misma FEC

Se implementa como una cadena de etiquetas, una por cada nodo, desde el origen al destino

En MPLS la transmisión de datos ocurre sobre LSP

MPLS – Funcionamiento

LER recibe el tráfico a la entrada del dominio MPLS (tráfico sin etiqueta)

Clasifica el tráfico (según origen, destino, tipo de tráfico, etc.)

Asigna una FEC según su LIB e inserta una o más etiquetas MPLS en el paquete, entre los encabezados de capa 2 y 3

Envía el tráfico por el LSP asociado a la FEC.

Dentro del LSP
cada LSR **examina**
únicamente la
etiqueta más
externa, y puede:

Intercambiar etiquetas (swap)

Agregar etiquetas (push), encapsulando el paquete sobre otra capa de red MPL.

Eliminar etiquetas (pop), con lo cual se desencapsula el paquete. Si ya no hay etiquetas luego del pop, el paquete abandona el LSP (hacia otro ruteo).

Combinaciones de las anteriores

Luego encamina el paquete modificado hacia el siguiente LSR del LSP

Si no reconoce la etiqueta puede descartar el paquete

MPLS – Funcionamiento

Hay 2 formas en las que se establecen los LSP:

Control Driven (PVC). Previo a la transmisión; generada manualmente o por los protocolos de control (Ej. BGP, o RSVP-TE).

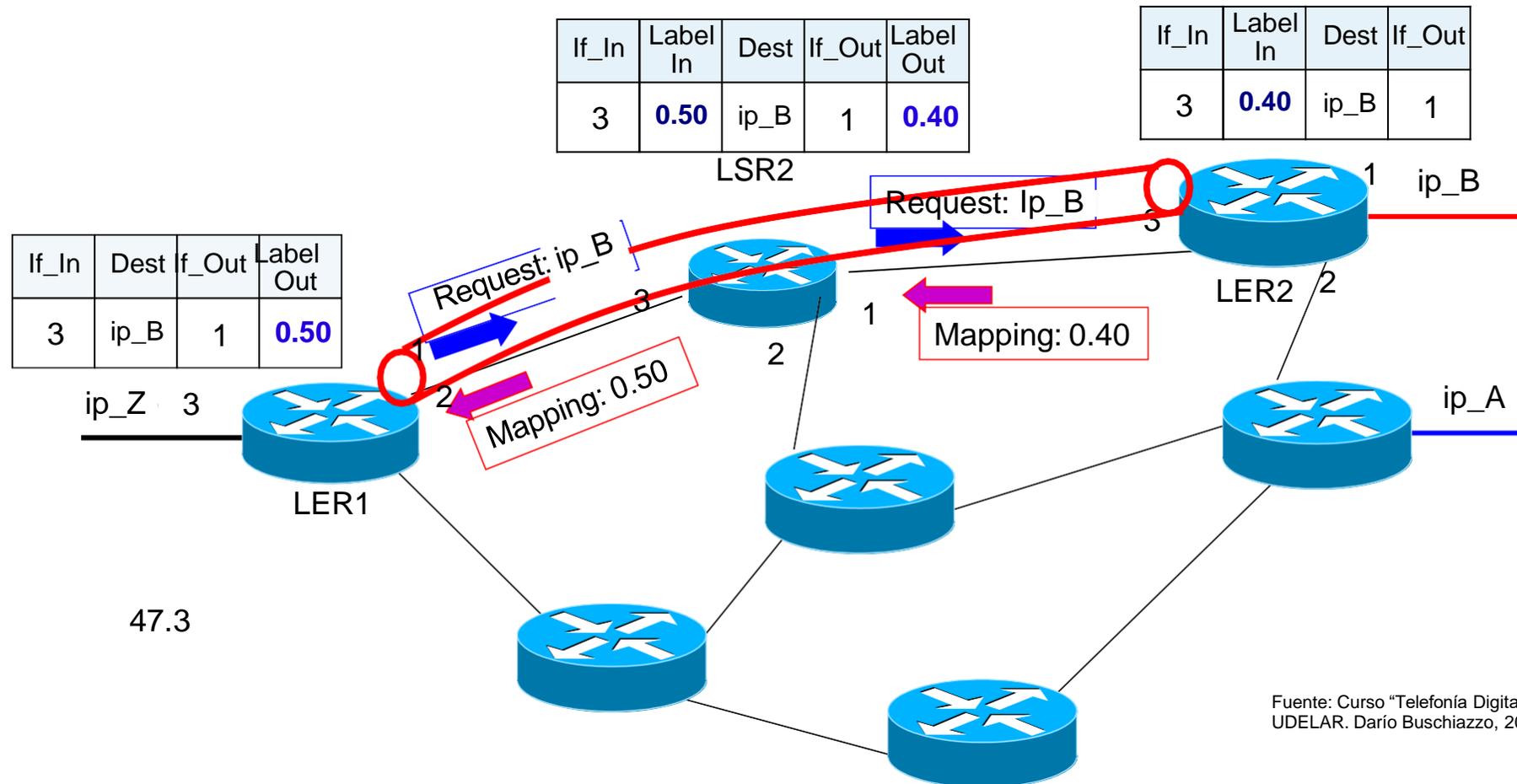
Data Driven (SVC): A medida que se detectan los flujos de datos en los nodos.

Las etiquetas se distribuyen mediante el protocolo de distribución de etiquetas (**LDP, RFC5036**) o el de Reserva de Recursos (**RSVP, RFC2205**).

La función básica de LDP es que los LSR adyacentes sean consistentes en cuanto a qué etiquetas usar para cada FEC. Esto es indispensable para una creación adecuada de los LSP.

Modo de Distribución Ordenada (*Downstream*): las relaciones Etiquetas-FEC son generadas únicamente por los LER de egreso de cada FEC y se propagan ordenadamente en sentido contrario al flujo de datos (de egreso a ingreso). Puede ser con modo no solicitado o a demanda.

MPLS – Funcionamiento



Fuente: Curso "Telefonía Digital", IIE, FING, UDELAR. Darío Buschiazso, 2004.

Distribución de etiquetas y encaminamiento – Ejemplo a demanda.

MPLS – Ejemplo de Red Jerárquica



Largo fijo – 32 bits.

❑ **Etiqueta** – 20 bits.

❑ **EXP** – identifica la clase de servicio (CoS) – 3 bits.

❑ **S–Bottom of stack** – 1 bit. Vale 1 Si la etiqueta es la última del stack (innermost), 0 en otro caso.

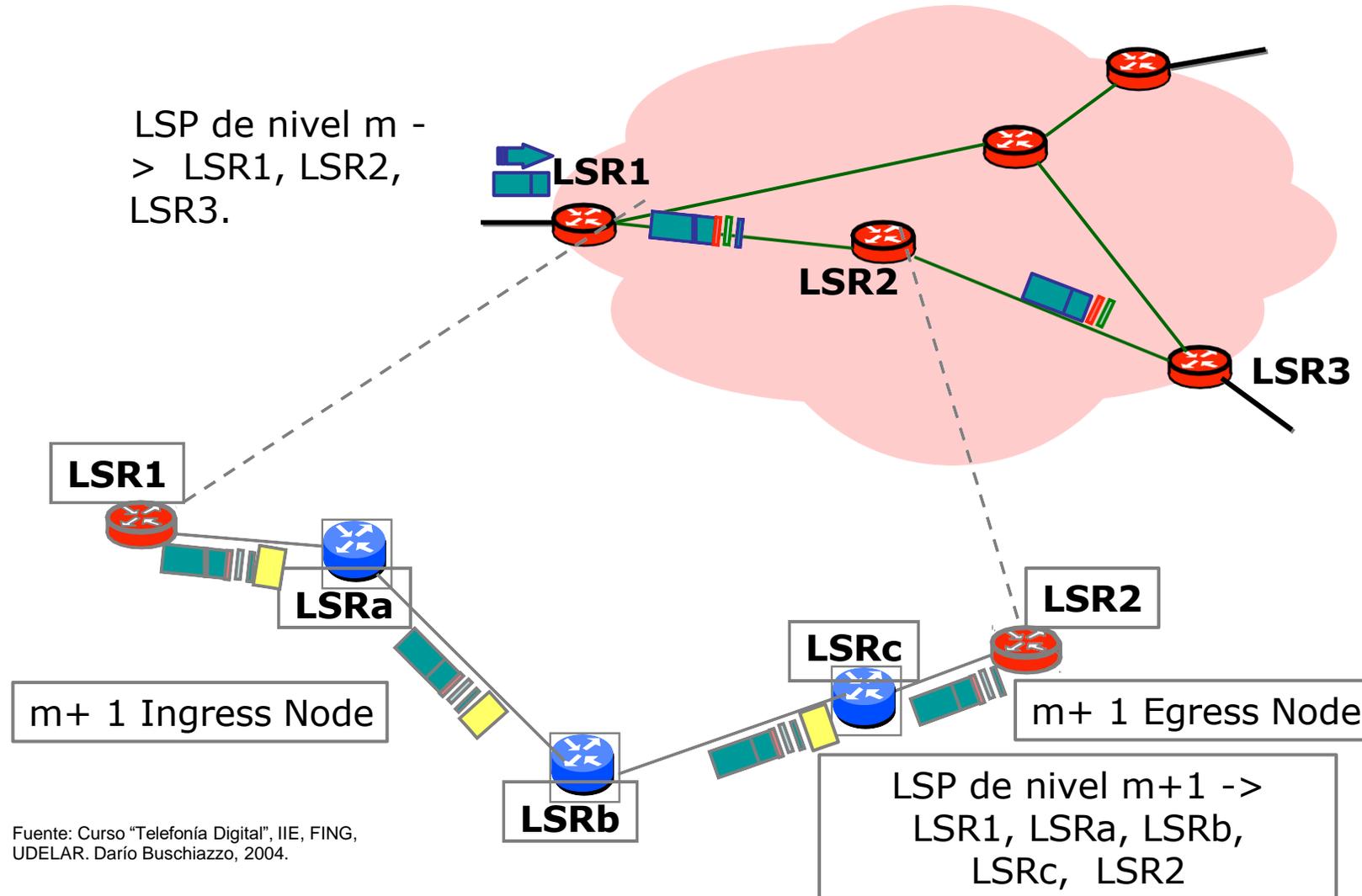
❑ **TTL–Time To Live** – 8 bits

Etiqueta y Stack

- ❑ Validez Local.
- ❑ Determinan el camino que seguirán los paquetes de una misma clase (LSP).
- ❑ Cada paquete puede tener un conjunto de etiquetas (stack LIFO).
- ❑ Solo se analiza la superior, se reemplaza y se agrega otra/s.
- ❑ Se distribuyen mediante protocolos de señalización (LDP, RSVP).

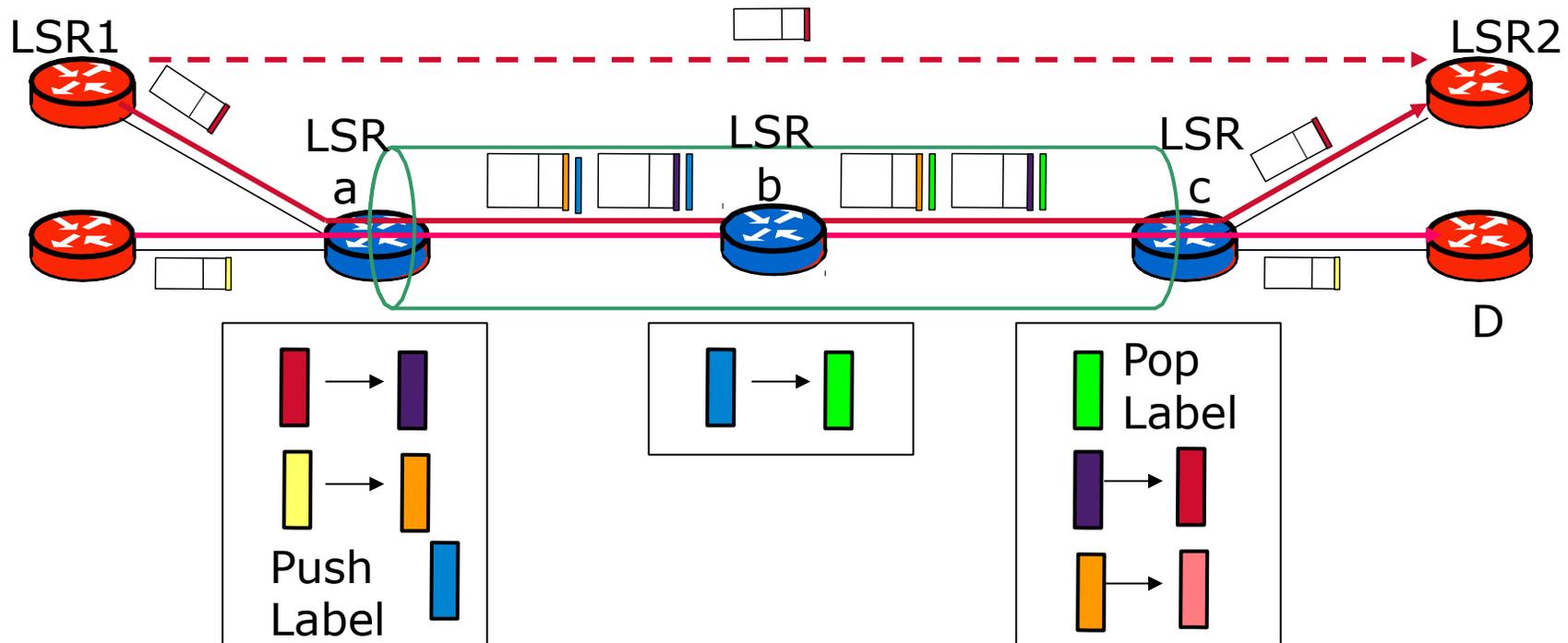
El stack de etiquetas permite tener jerarquías flexibles de encaminamiento

MPLS – Ejemplo de Red Jerárquica



Fuente: Curso "Telefonía Digital", IIE, FING,
UDELAR. Darío Buschiazzi, 2004.

MPLS – Ejemplo de Red Jerárquica



Obs: Para mandar un paquete al LSR A, no se necesita conocer su destino

Redes Privadas Virtuales con MPLS

Uno de los usos más habituales de MPLS en un ISP es la implementación de Redes Privadas Virtuales o VPNs (RFC2547, RFC4026, RFC4364). Esto proporciona a los clientes una red que interconecta múltiples sitios, permitiendo el intercambio de datos dentro de una red privada (no se “mezcla” con Internet)

Elementos de una VPN proporcionada por un proveedor

C. Customer device: Dispositivos internos del cliente

CE. Customer Edge device: Dispositivo de borde del cliente que provee el acceso hacia el proveedor. No maneja MPLS, pero si algún protocolo de ruteo IP dinámico (o estático) para intercambiar rutas con el PE

PE. Provider Edge device: Dispositivo en el borde de la red del proveedor, conectado al CE. Es el LER que funciona como ingreso/egreso a la red MPLS. Los PE están conscientes de las VPN establecidas.

P.Provider device: Es un LSR que simplemente proporciona transito dentro del núcleo de la red. No es consciente de las VPNs ni de ningún direccionamiento o ruteo por encima de MPLS. Se limita a manipular etiquetas MPLS. Se conecta a otros P y PE y proporciona enlaces de gran capacidad.

Redes Privadas Virtuales con MPLS

Todos los tipos de VPN-MPLS se establecen entre routers PE, que son quienes mantiene el estado y asociaciones de la VPN. A efectos de los CE, se observa un efecto similar a una conexión directa entre ellos en alguna capa.

Tres tipos más comunes: Point-to-Point, Virtual Private LAN Service y Virtual Private Routed Network.

Point-to-Point (Pseudowire), Capa 2

Emula una conexión punto a punto a nivel de capa 2 para diferentes protocolos L2 (Ethernet, ATM, incluso E1). Tiene la ventaja de poder encapsular casi cualquier protocolo de capa 2 pero poca riqueza topológica.

Ejemplos de uso: encapsulamiento de circuitos E1, tráfico de control industrial (SCADA)

Redes Privadas Virtuales con MPLS

Virtual Private LAN Service (VPLS) Capa 2

Emula el funcionamiento completo de una LAN ethernet switchheada.

Puede verse como si fuese un único switch Ethernet 802.1Q (que usa vlans y que aprende MACs) extendido geográficamente de modo que tiene conectado cada CE del mismo cliente en alguna de sus interfaces. El cliente podría conectar varios segmentos ethernet dispersos en un único dominio de colisión de forma transparente.

Desarrollada por la IEEE, para su establecimiento puede usar BGP o LDP.
(métodos incompatibles entre sí)

El método LDP es más difundido, emplea extensiones al protocolo y establece LSPs entre los PE para un mismo cliente.

Redes Privadas Virtuales con MPLS

Virtual Private Routed Network (VPRN) Capa 3

El proveedor brinda no solo el servicio de conectividad sino también el de ruteo IP para las redes internas del cliente, de modo que la VPN se comporta desde la perspectiva del cliente como un único router geográficamente distribuido interconectando las subredes IP del cliente.

Dificultad: Distintos clientes probablemente tengan solapamiento de direcciones privadas, el proveedor deberá eliminar las ambigüedades.

Solución: se implementa una extensión al direccionamiento IP llamada VPN-IPv4, donde se añaden 8 bytes (Route Distinguisher) que resuelven la ambigüedad.

El intercambio de las rutas de cliente sobre VPN-IPv4 se hace mediante BGP (y sus extensiones correspondientes) entre los PE (directa o indirectamente) (RFC2547).

Las rutas se VPN-IPv4 se importan nuevamente a IPv4 en instancias separadas de tablas de ruteo diferenciadas en los PE (VRF). Por lo tanto, los PEs comprenden la topología específica de la VPN, y las interconexiones entre los PE se hace mediante LSPs de MPLS. Los PE asocian rutan VPN-IPv4 a LSP para el encaminamiento.

Gracias
