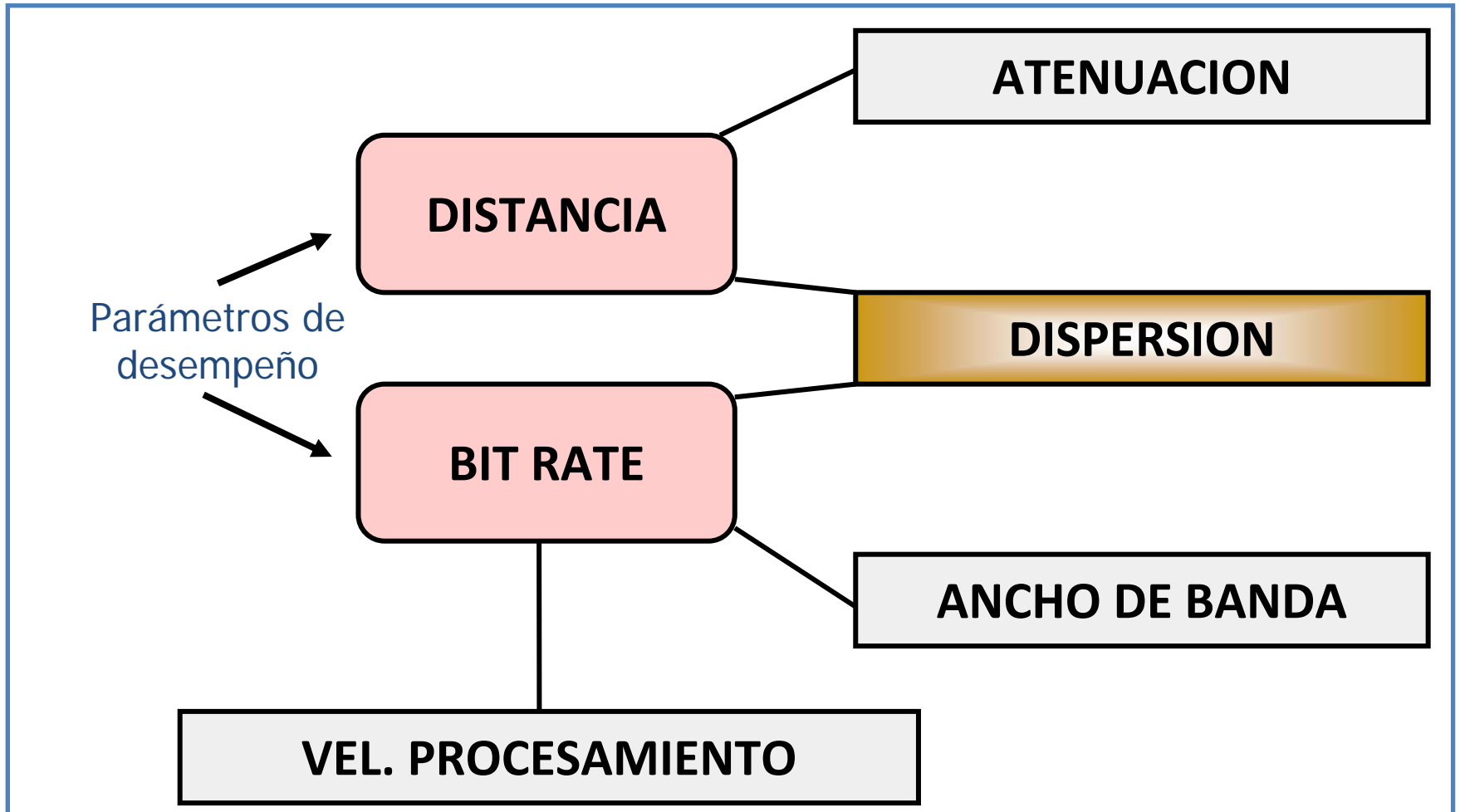


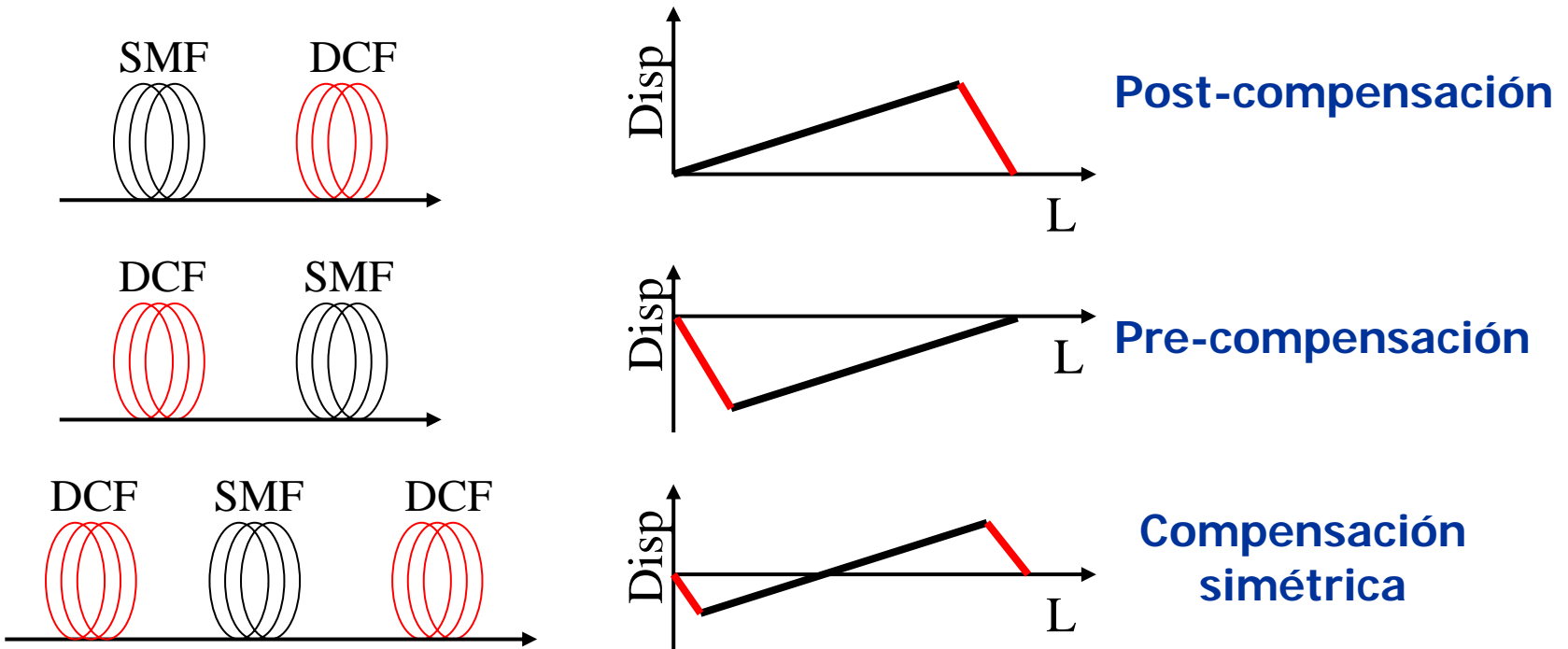
III. DISEÑO DE UN ENLACE DE FIBRA ÓPTICA

Compensación Dispersión



Compensación Dispersión

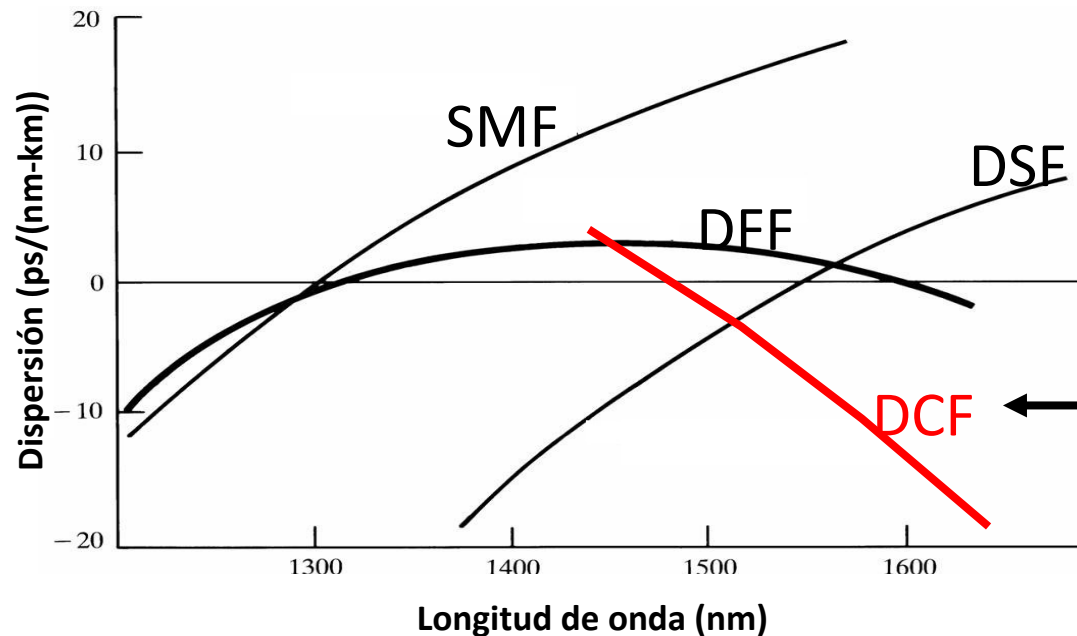
Existen diferentes esquemas que permiten compensar la dispersión que se acumula al propagarse una señal óptica.



Nota: SMF = single-mode fibre, DCF = dispersion compensation fibre.

Compensación Dispersión

Fibra para compensar la dispersión: Dispersion Compensation Fibre DCF



DSF: Dispersion Shifted Fibre

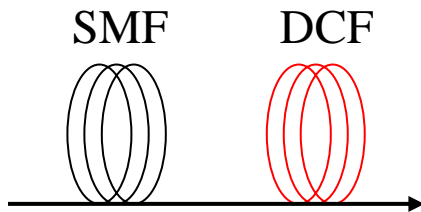
DFF: Dispersion Flattened Fibre

Perfil supuesto, los valores de D son menores en la realidad.

DCF: compensa la dispersión acumulada para un intervalo amplio de longitudes de onda.

Compensación Dispersión

Ejercicio:



Dispersión de SMF: 16 ps/(nm-km) @1550nm

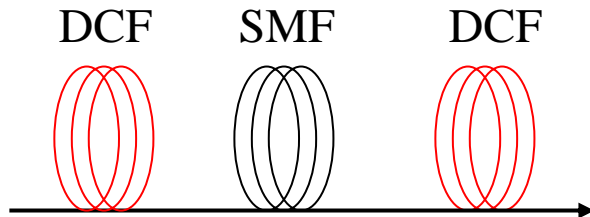
Dispersión de DCF: -100 ps/(nm-km) @1550nm

Fuente a 1550 nm

$$L_{\text{SMF}} = 40 \text{ km}$$

Ecuación de dispersión acumulada:

$$L_{\text{SMF}} \cdot D_{\text{SMF}} + L_{\text{DCF}} \cdot D_{\text{DCF}} = 0$$



Ecuación de dispersión acumulada:

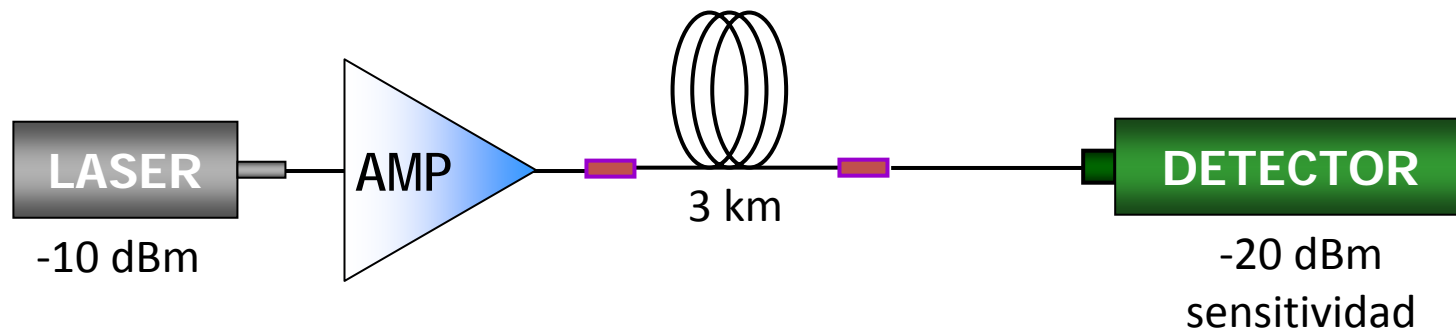
$$L_{\text{DCF1}} \cdot D_{\text{DCF}} + L_{\text{SMF}} \cdot D_{\text{SMF}} + L_{\text{DCF2}} \cdot D_{\text{DCF}} = 0$$

Presupuesto Potencia

Presupuesto de potencia

Permite calcular la distancia máxima del enlace y la potencia necesaria en el láser/amplificador.

Consejo: siempre deja un margen de potencia razonable para cuando la red crezca.



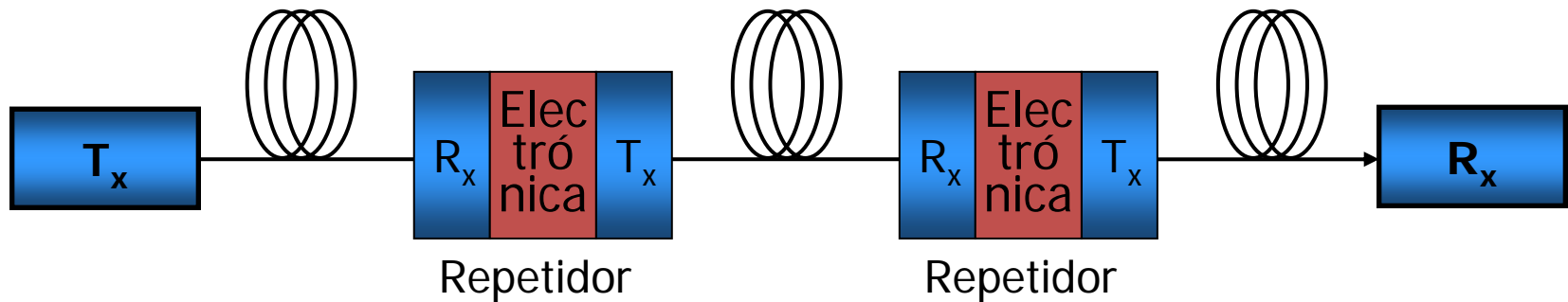
Pérdidas por empalme: 0.5 dB c/u

Pérdidas por conexión: 0.7 dB c/u

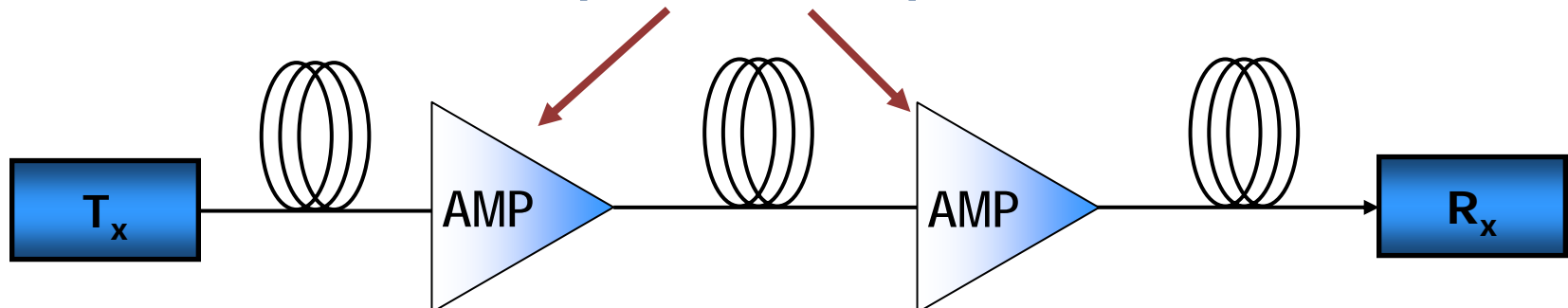
Pérdida del cable: 0.8 dB/km

¿Margen de potencia?

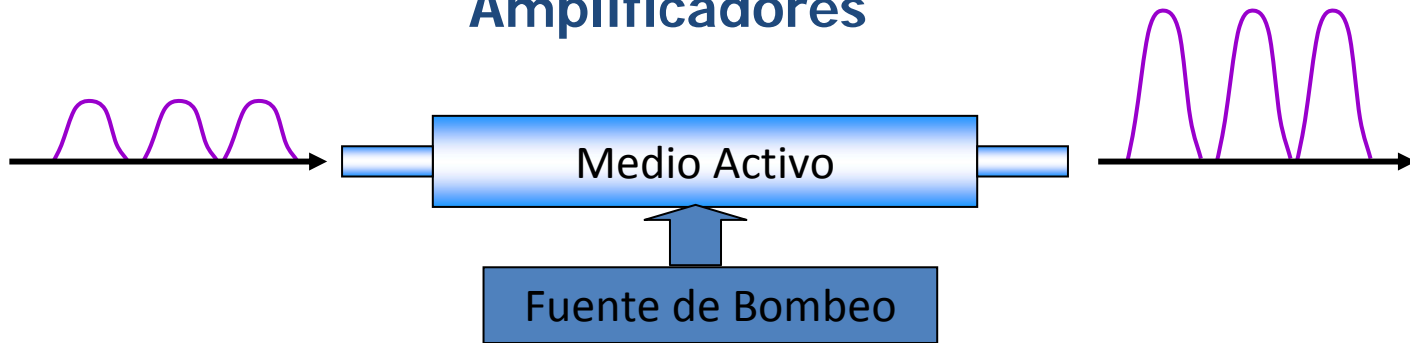
Repetidores optoelectrónicos



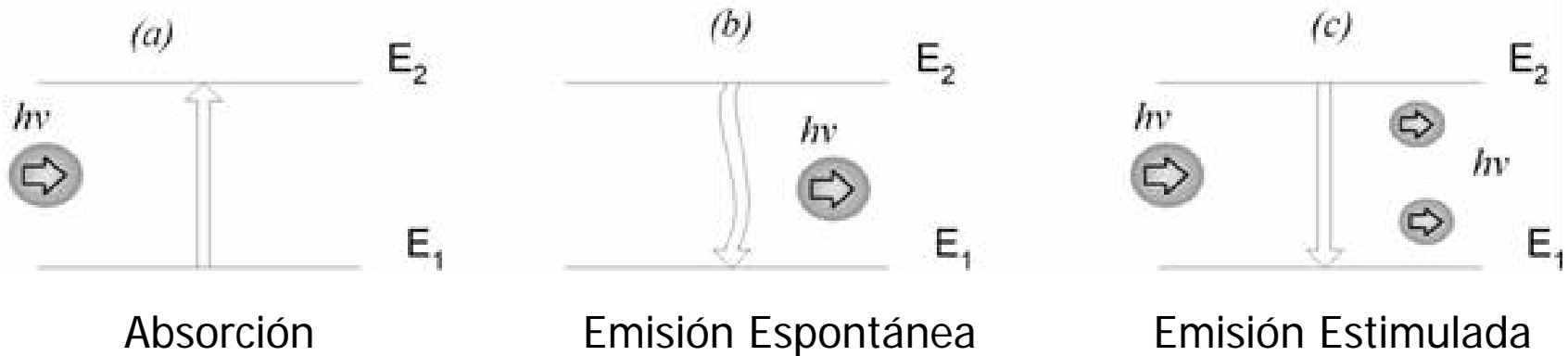
Amplificadores ópticos



Amplificadores

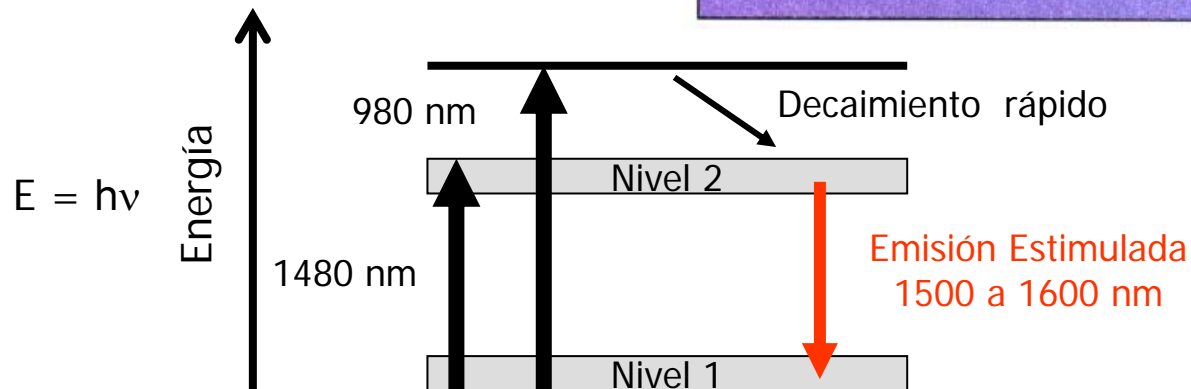
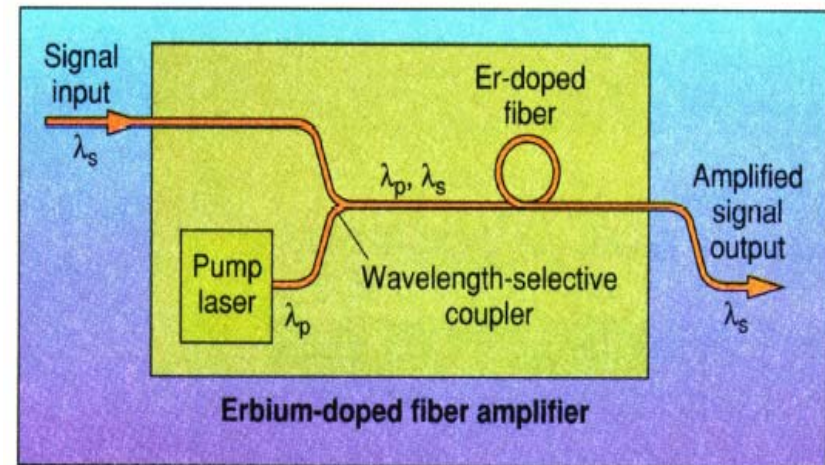


Tres procesos fundamentales



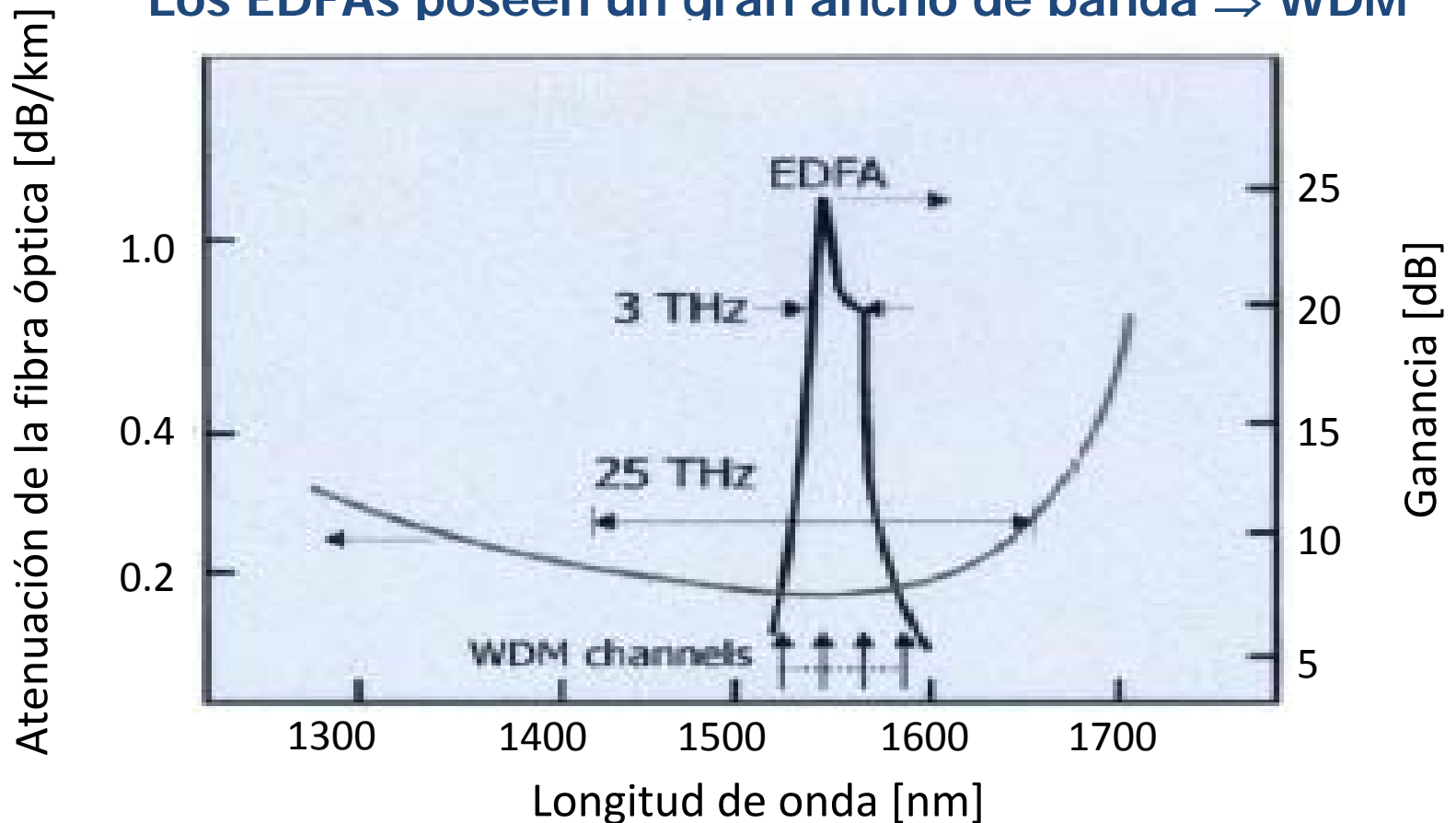
Er-doped Fibre Amplifiers (EDFAs)

Un amplificador óptico incrementa la potencia de una señal luminosa al hacerla pasar a través de una fibra ópticamente bombeada, y que se encuentra dopada con un elemento activo como el erbio.



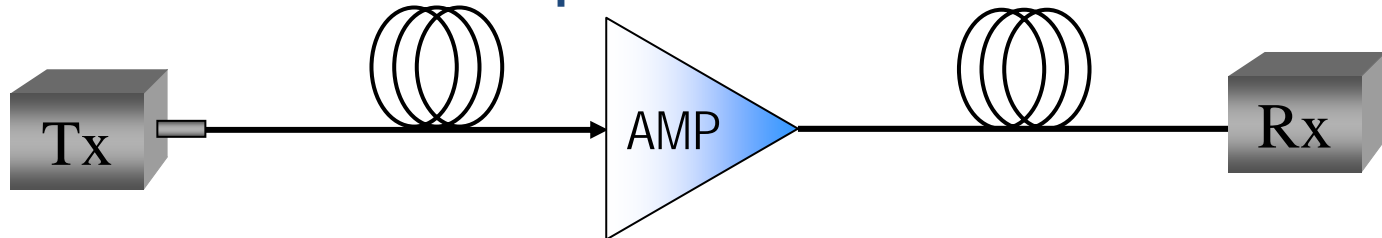
Amplificadores/EDFAs

Los EDFAs poseen un gran ancho de banda \Rightarrow WDM

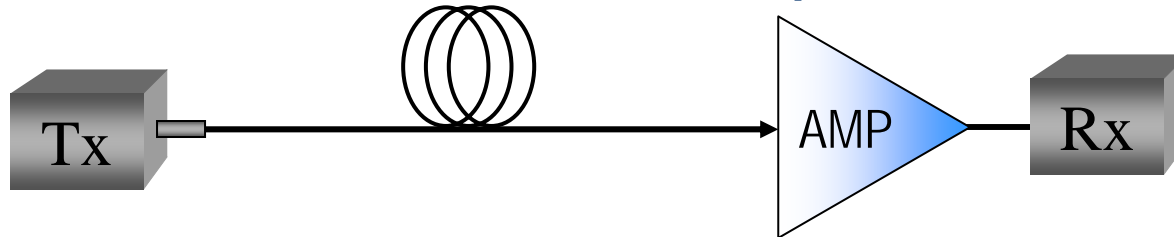


Amplificadores/EDFAs/Aplicaciones

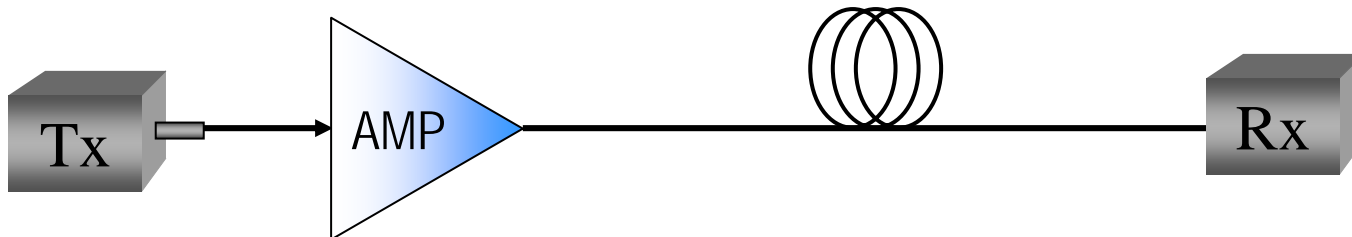
Amplificador en línea



Pre-Amplificador



Amplificador de potencia (booster)



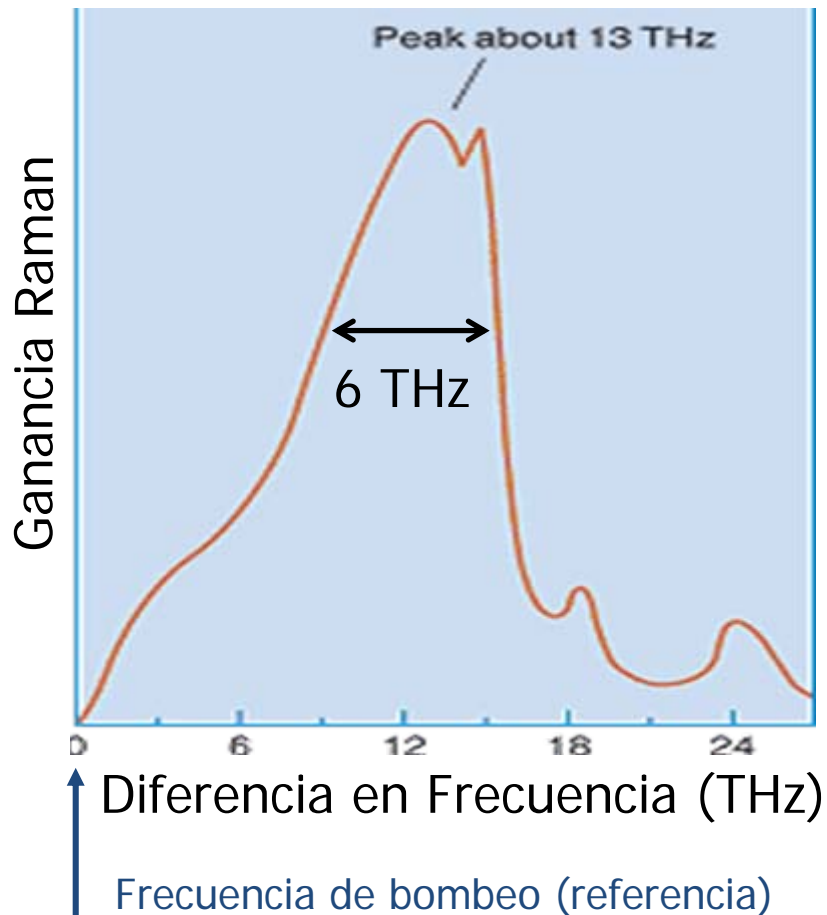
Amplificadores/Raman

Los EDFAs están limitados a la banda C (1530-1565 nm). Para explotar el ancho de banda de una fibra óptica mediante WDM se requiere también amplificación en las bandas S y L.

Alternativas:

- Gain-Shifted EDFAs \Rightarrow banda L
- SOAs: de los 1300 a los 1500 nm, pero:
 - alto nivel de ruido
 - Cross-talk debido a no-linealidad
- Amplificadores tipo Raman (tecnología más reciente)

Amplificadores/Raman



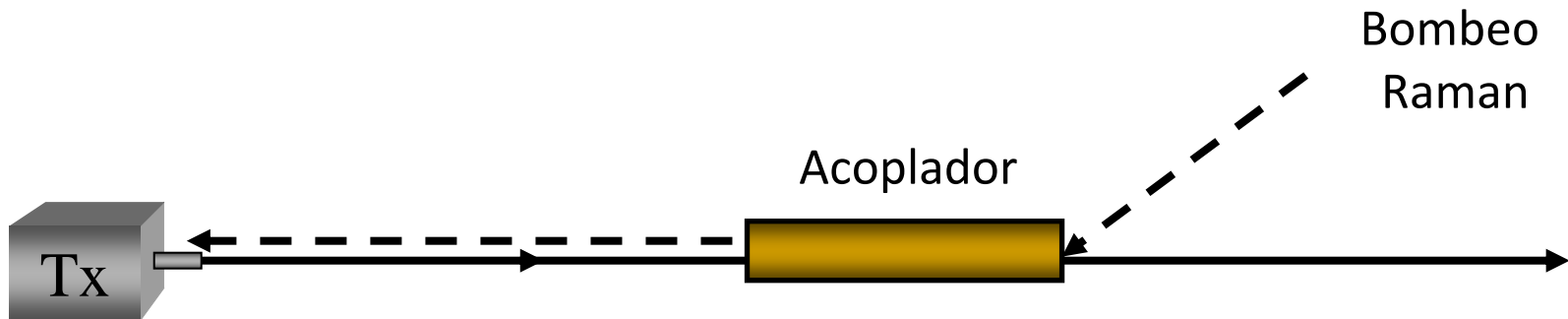
- Raman amps:
 - Más flexibles
 - Mayor ganancia total (20-30 dB)
 - Perfil de ganancia plano

La posición del pico del espectro Raman se encuentra desplazado 13 THz del punto en que se realiza el bombeo.

Ej: con un laser de bombeo a 1450 nm, el centro de la ventana Raman estará a 1550 nm.

Amplificadores/Raman

Comparado con un EDFA, la utilización de amplificadores Raman produce una mejor distribución de potencia a lo largo de la fibra óptica, reduciendo así los efectos no lineales.



Desventaja: requiere mucha potencia para operar (P_p alto).

E.g., $P_p > 5 \text{ W}$ para 1 km de fibra ($A_{\text{eff}} = 50\text{mm}^2$) \Rightarrow 30 dB

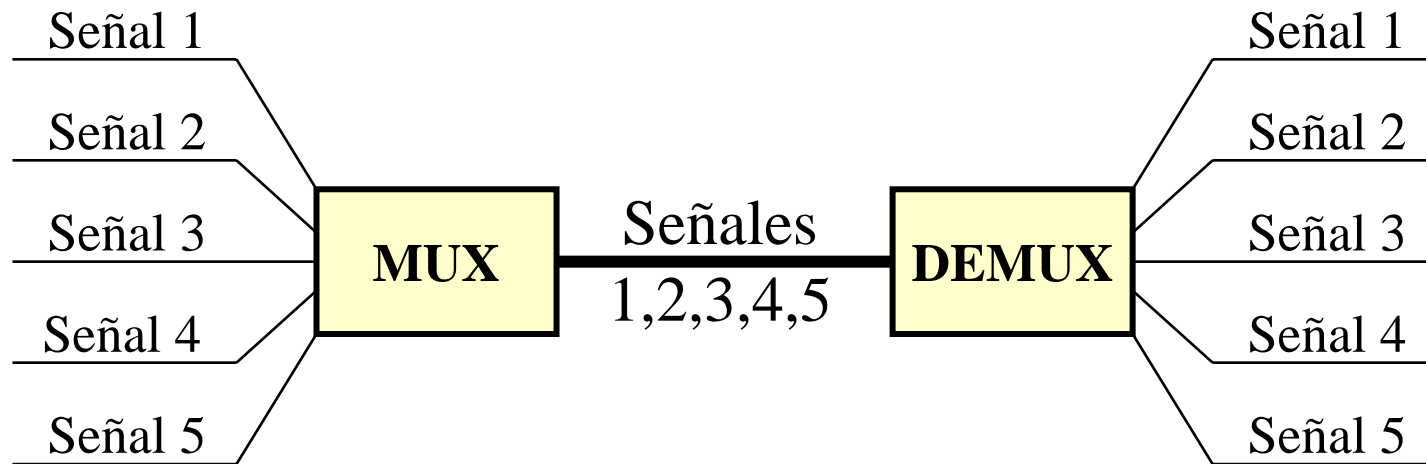
Diseño de enlace de fibra óptica

1. Establecer requerimientos:
 - B
 - L
 - BER o Q
2. Optimizar:
 - Fibra (tamaño del núcleo, D y S, atenuación)
 - Fuente (LD o LED, λ , $\Delta\lambda$, P_{out} , modos, patrón de emisión)
 - Receptor (Responsividad, velocidad, sensibilidad, λ)
3. Realizar un mapa de dispersión adecuado
4. Optimizar el presupuesto de potencia
5. Comprobar el presupuesto de tiempo de subida

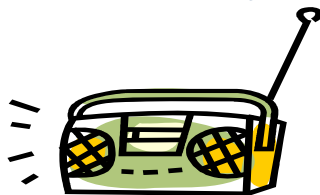
IV. MULTICANALIZACION POR DIVISION DE LONGITUD DE ONDA: WDM

Multiplexaje/Demultiplexaje

Nos permite utilizar más eficientemente un ancho de banda mayor, y así multiplicar nuestra B.

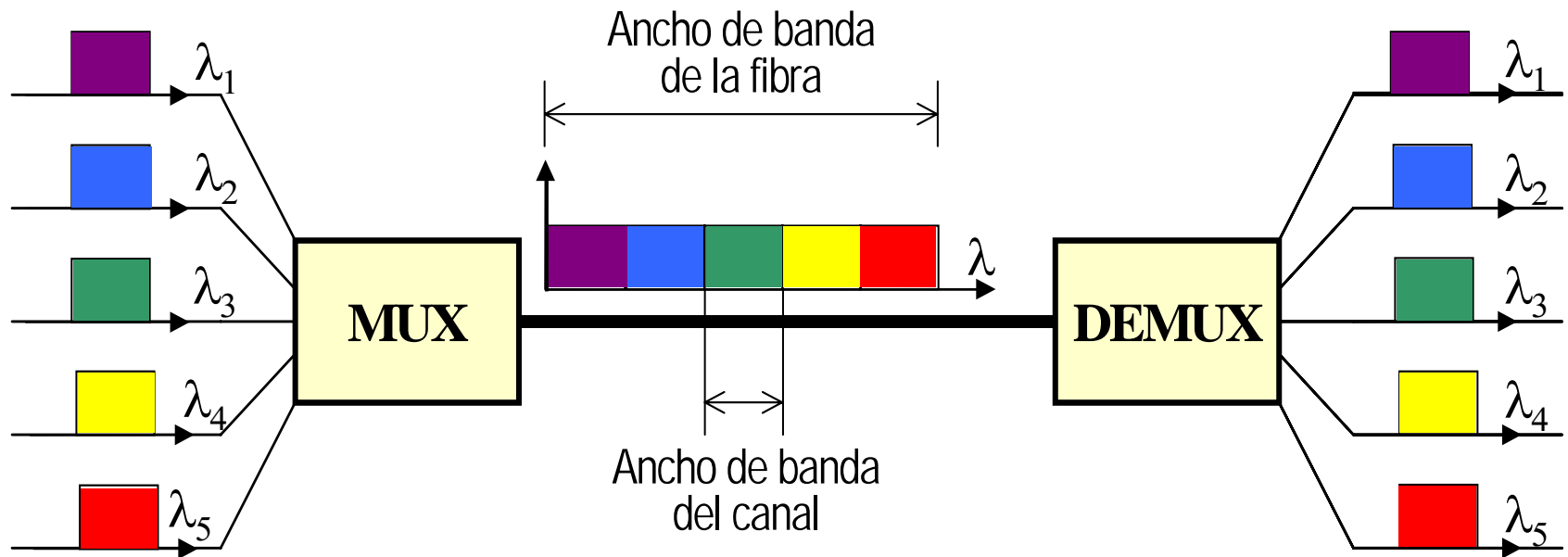


El multiplexaje se caracteriza por el uso de múltiples canales.



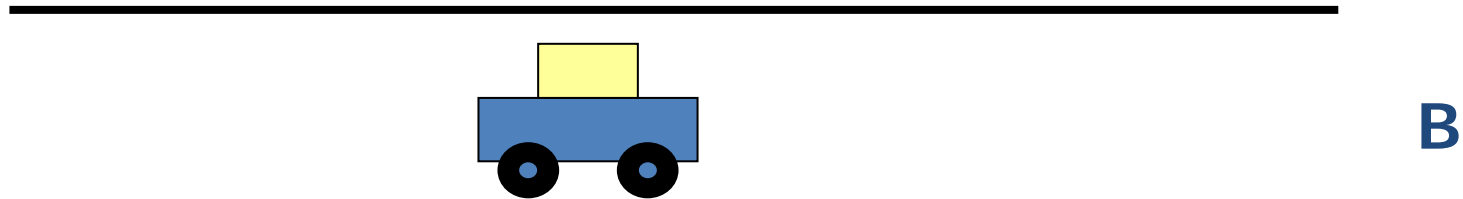
Multiplexaje por división de longitud de onda (WDM)

Una sola fibra óptica puede transportar varias señales distintas transmitidas a longitudes de onda diferentes.

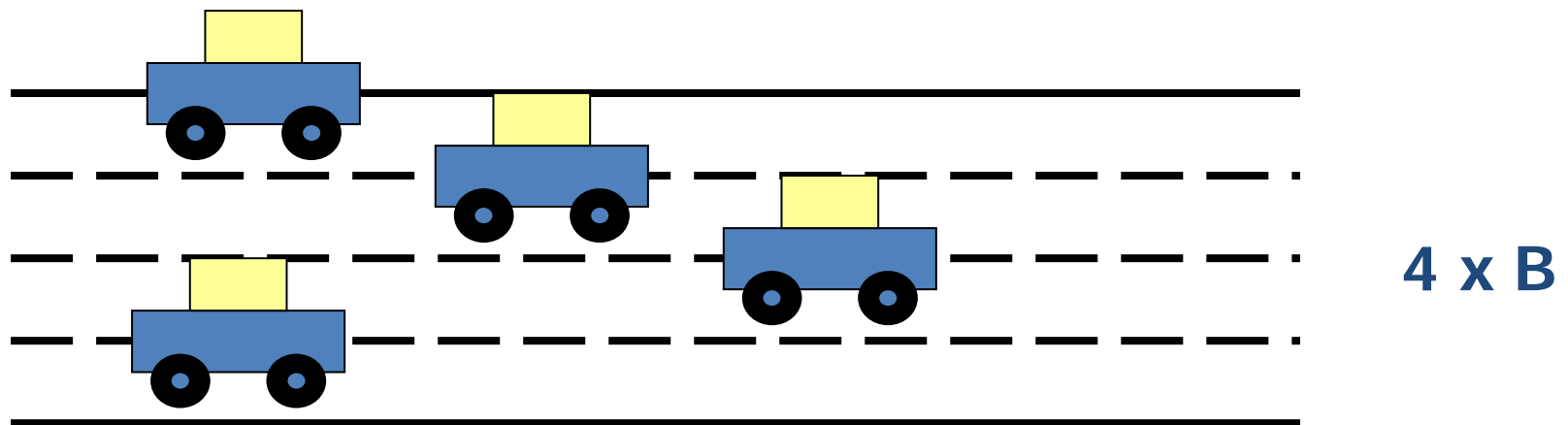


WDM/Operación

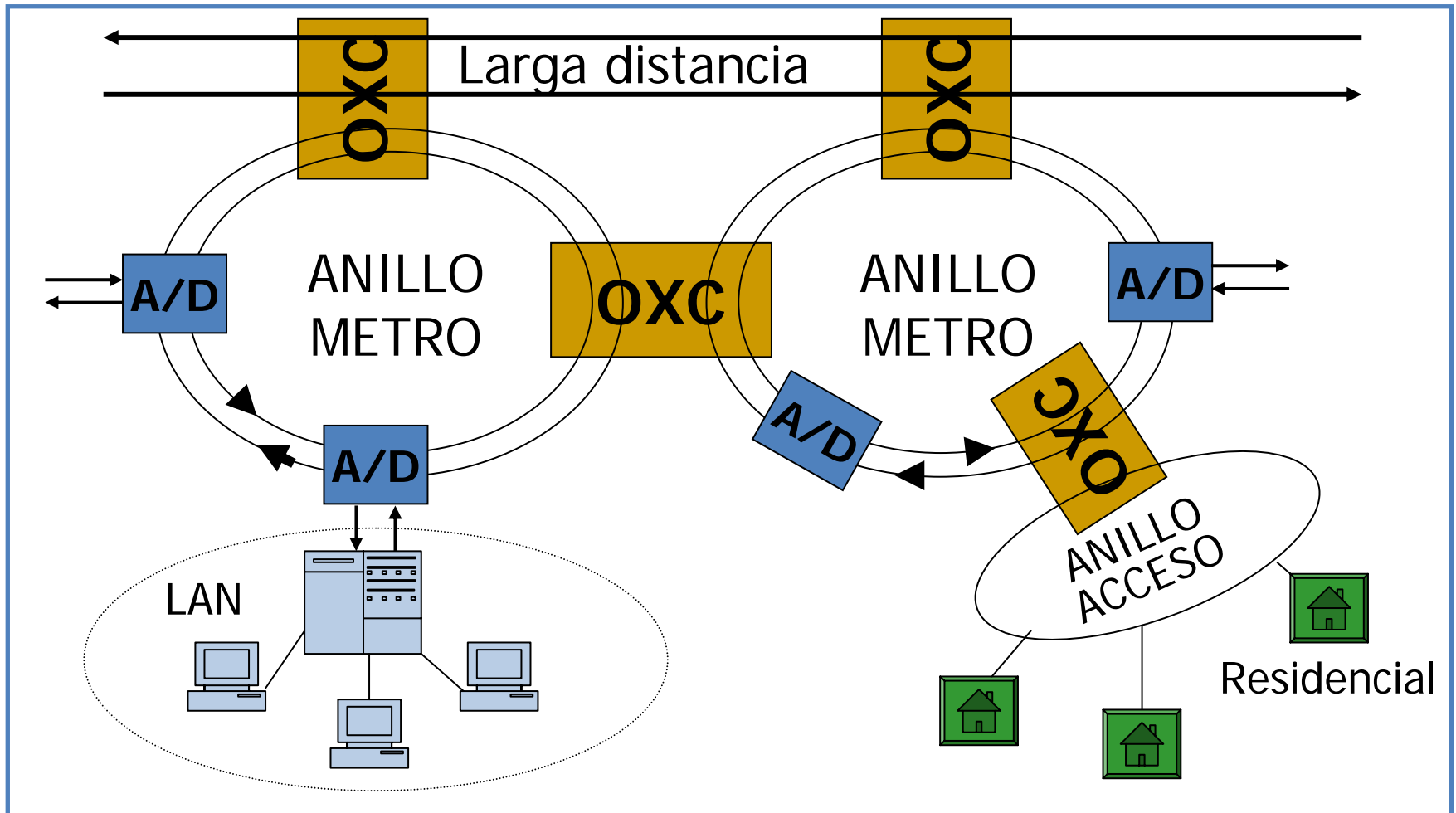
Carretera sencilla:



Autopista WDM:



WDM/Operación



Características de los sistemas WDM:

- Incremento de la capacidad de la red de fibra óptica
- Transparencia (c/canal puede transmitir en su formato propio)
- Enrutamiento a nivel λ con estructura rígida (una nueva dimensión)
- Conmutación a nivel λ , permitiendo reconfiguración de la red

Factores que limitan el número de canales en un sistema DWDM:

- Ancho de banda de los amplificadores, sobre la que pueden proporcionar una ganancia uniforme. EDFA's limitados a 30-35 nm.
- Estabilidad de los láseres DFB utilizados como fuentes.
- Degradación de la señal debido a efectos no lineales.
- Interferencia inter-canal durante el demultiplexaje

WDM/Importancia

Red de fibra óptica de México (miles de km)



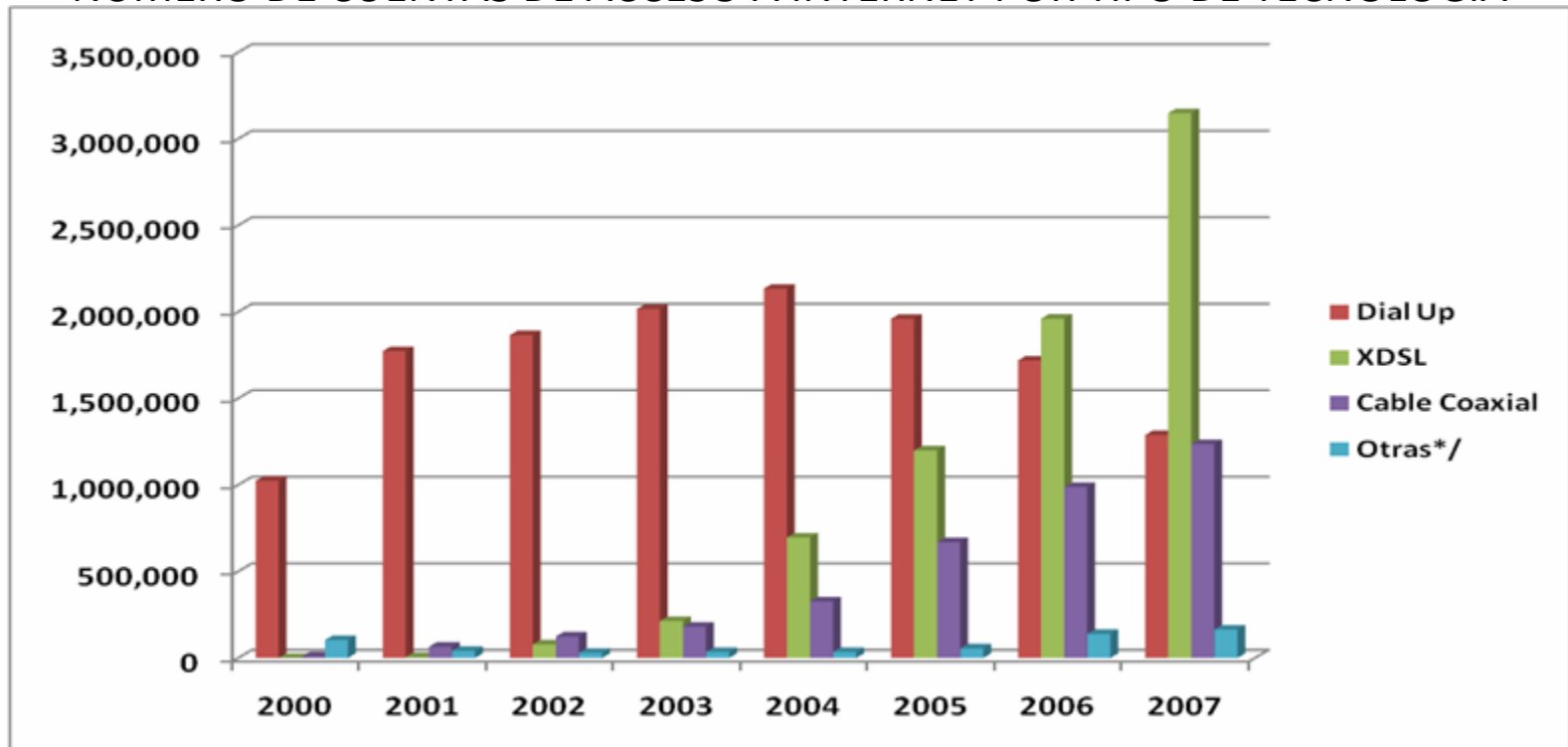
Fuente: COFETEL web page

Nota: A partir de 1996 incluye la red de los nuevos operadores de larga distancia y a partir de 1999 la de los nuevos concesionarios de telefonía local.

FUENTE: Dirección de Información Estadística de Mercados, COFETEL, con información prop. por los concesionarios.

La situación en México es todavía muy diferente

NÚMERO DE CUENTAS DE ACCESO A INTERNET POR TIPO DE TECNOLOGÍA



*/ Incluye las cuentas por tecnología ISDN, enlaces dedicados, satelital, MMDS y otros.

Fuente: Dirección de Información Estadística de Mercados, COFETEL.

WDM/DWDM y CWDM

C-WDM v.s. D-WDM

| | Coarse WDM | Dense WDM |
|---------------------|-------------------|-----------------------|
| Espacio Inter-canal | ~ 20 nm | ~ 1.6 nm |
| Bandas | S, C, y L | C y L |
| Num. de canales | 4, 8 y hasta 18 | 16-32 (metro) y 40-80 |
| Fuentes | Láser sin enfriar | Láser (DFB) enfriado |
| Filtros | TFF | TFF, FBG y AWG |
| Tasa de bits | < 2.5 Gb/s | 10 Gb/s y mayores |
| Amplificación | Ninguna (\$\$) | EDFA y Raman |
| Costo | Bajo | Alto |
| Aplicación | Acceso-Metro | Metro-Larga Distancia |

WDM/DWDM y CWDM

Bandas de comunicación en fibra óptica

| Banda | Intervalo | | Ancho de Banda |
|-------------------|-----------|---------------|----------------|
| | nm | THz | |
| O (original) | 1260-1360 | 237.93-220.43 | 17.5 THz |
| E (extended) | 1360-1460 | 220.43-205.34 | 15.1 THz |
| S (short wave) | 1460-1530 | 205.34-195.94 | 9.4 THz |
| C (conventional) | 1530-1565 | 195.94-191.56 | 4.4 THz |
| L (long wave) | 1570-1620 | 190.75-185.06 | 5.7 THz |
| U (ultra-long w.) | 1620-1675 | 185.06-178.98 | 6.1 THz |

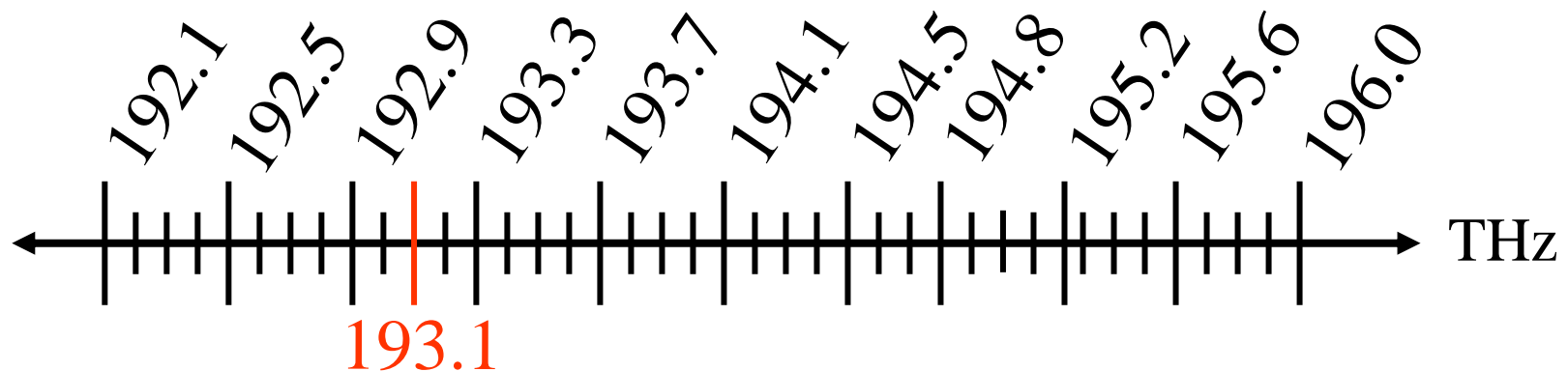
WDM/DWDM y CWDM

ITU Grid para DWDM

Recomendación ITU-T G.694.1

<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.1/en>

Sistema de 40 Canales espaciados a 100 GHz



Frecuencia de Referencia

WDM/DWDM y CWDM

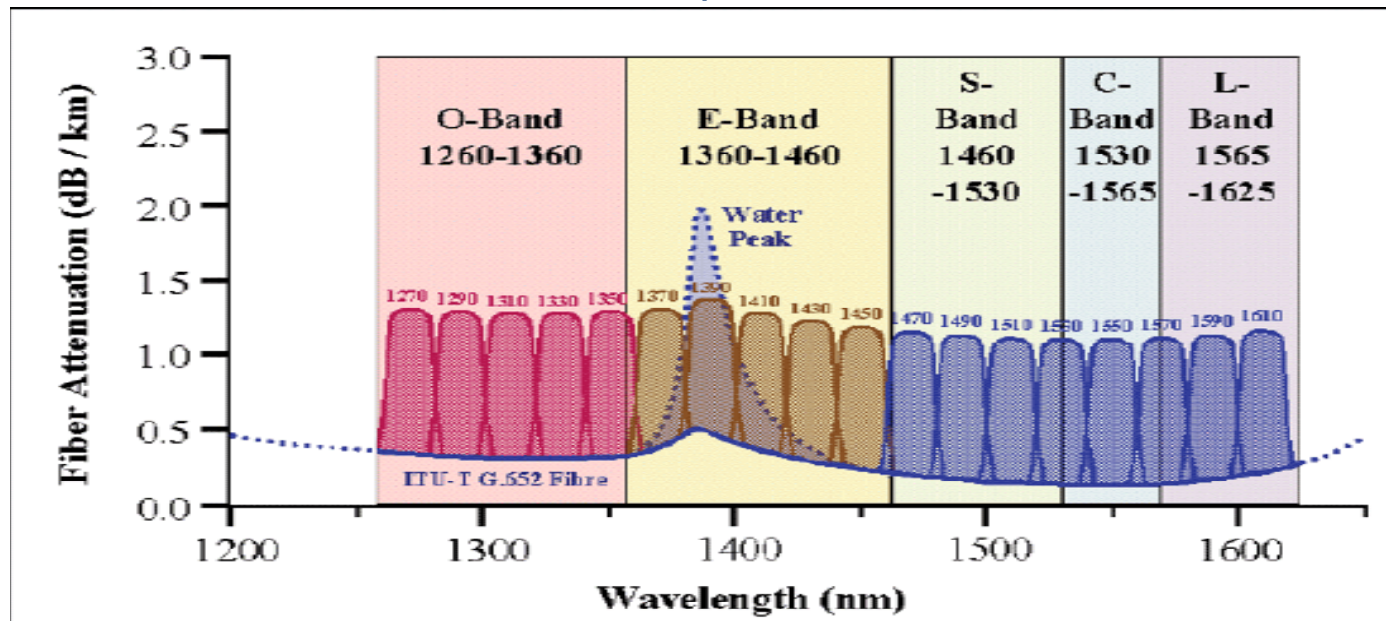
1271 nm
1291 nm
1311 nm
1331 nm
1351 nm
1371 nm
1391 nm
1411 nm
1431 nm
1451 nm
1471 nm
1491 nm
1511 nm
1531 nm
1551 nm
1571 nm
1591 nm
1611 nm

ITU Grid para CWDM

Recomendación ITU-T G.694.2

<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.2/en>

Sistema de 18 canales espaciados a 20 nm



WDM/Módulos funcionales

Componentes de un sistema WDM:

- Activos: requieren una fuente de poder externa para poder operar
- Pasivos: no la requieren
 - acopladores/divisores
 - atenuadores
 - aisladores
 - circuladores

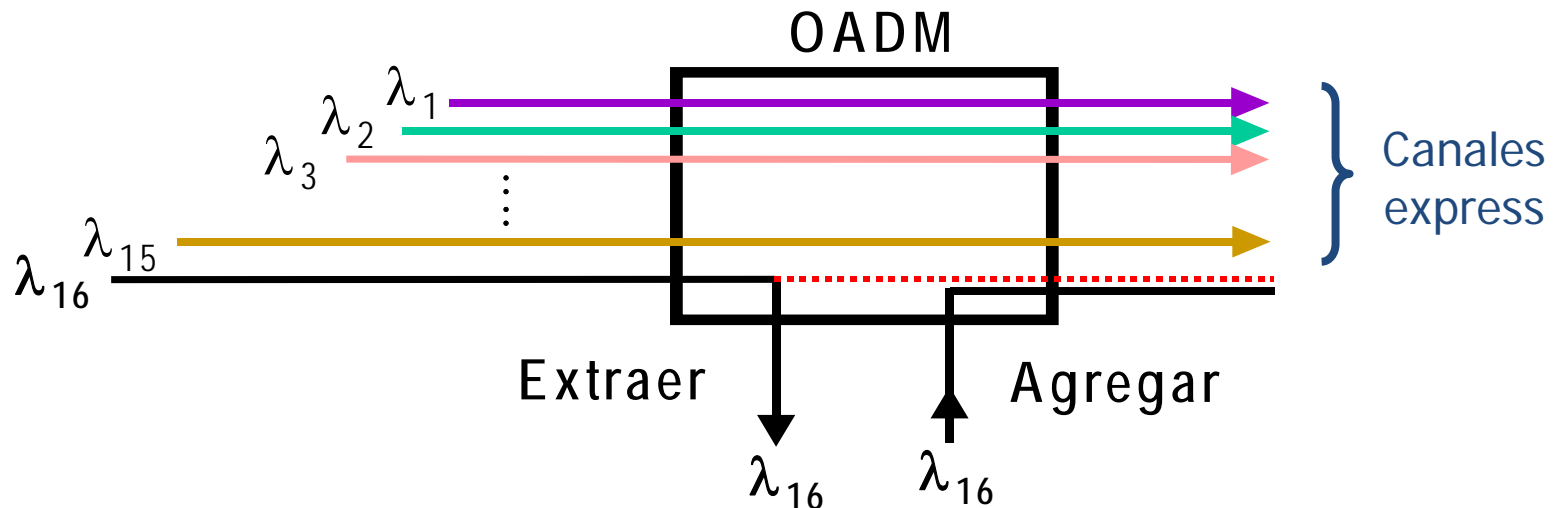
Desarrollos tecnológicos que actualmente se están produciendo o serán requeridos en los próximos años:

- Componentes pasivos
- Módulos funcionales como Optical Add-Drop MUX y Optical X-Connects
- Convertidores de longitud de onda
- Transmisores y receptores sintonizables
- Nuevos amplificadores ópticos

Módulos funcionales

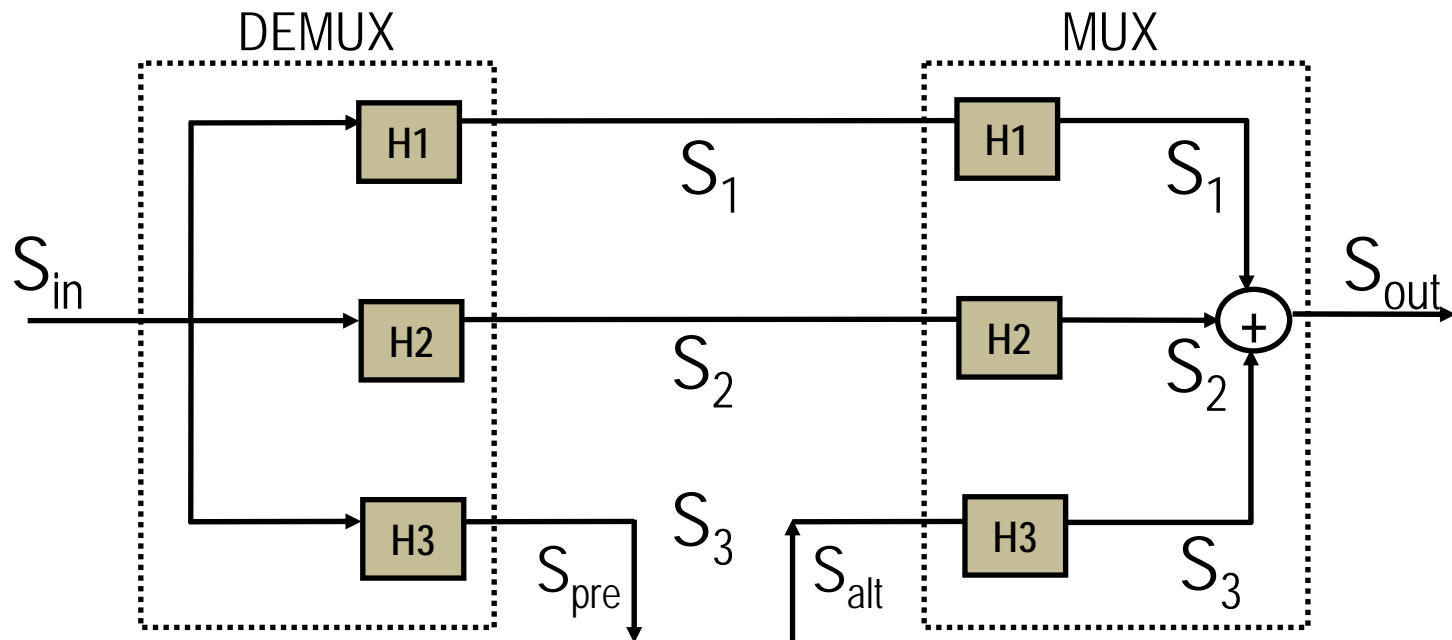
Formados por componentes más sencillos.

Optical Add/Drop Multiplexer (OADM) }
Optical Cross-Connect (OXC) } Redireccionan los mensajes en la red



Extrae y agrega canales del y hacia el flujo de información que circula en la red.

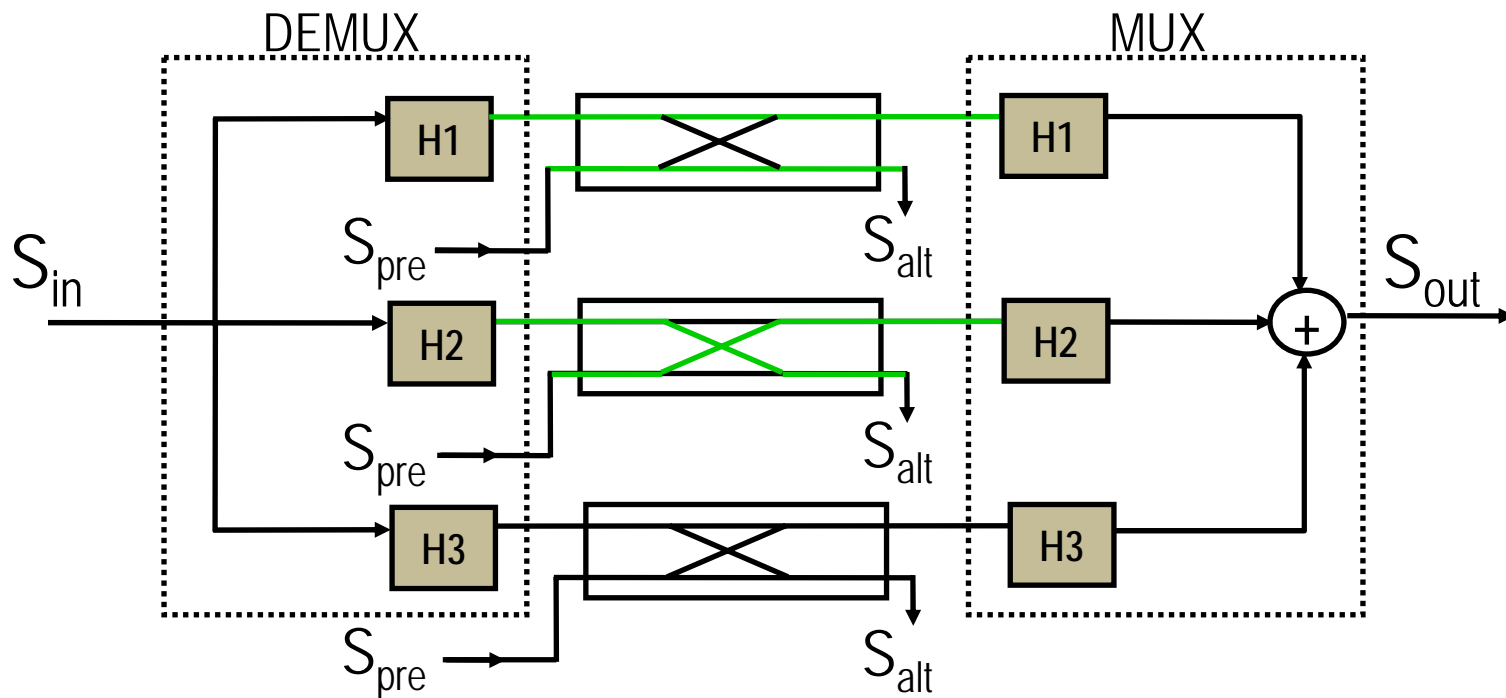
OADM de estructura fija



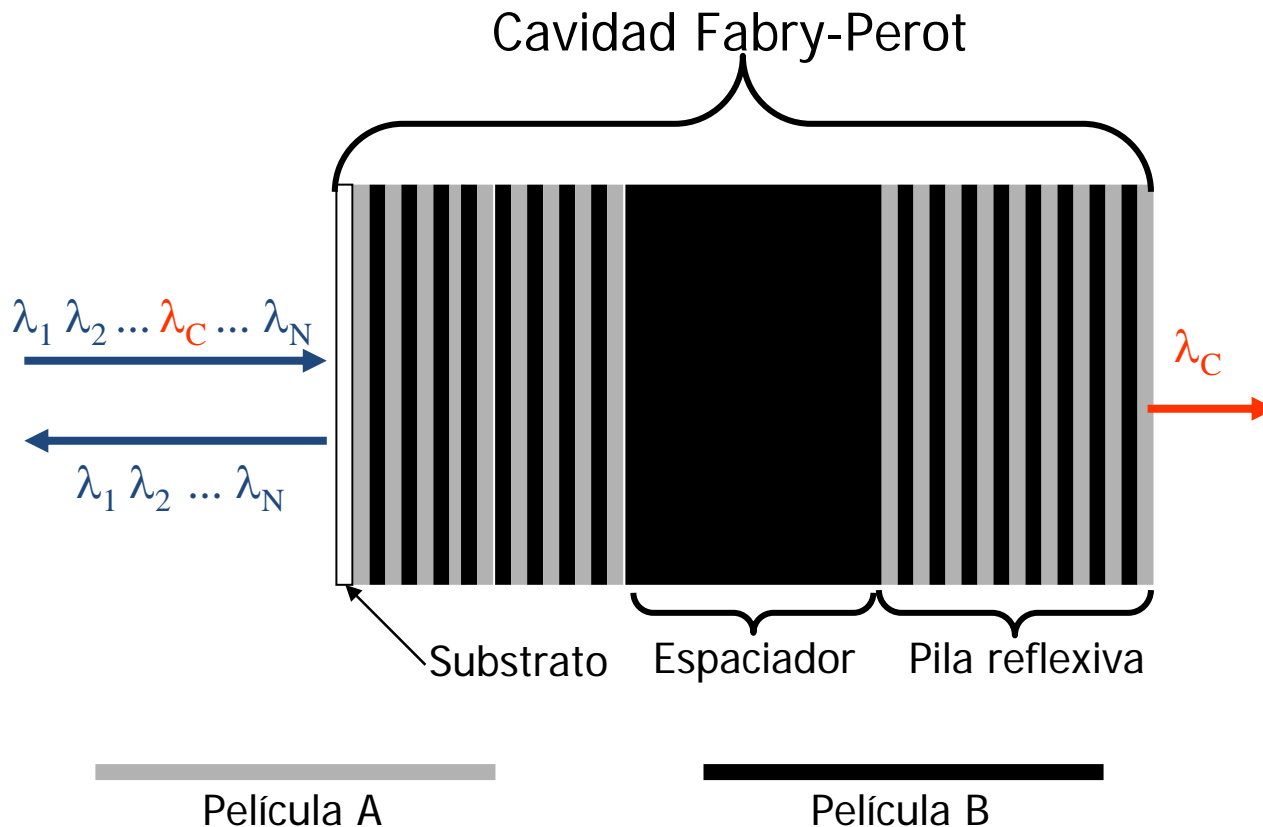
Es fundamental tener buenos filtros ópticos

Filtros ópticos

Estructura de un OADM Reconfigurable

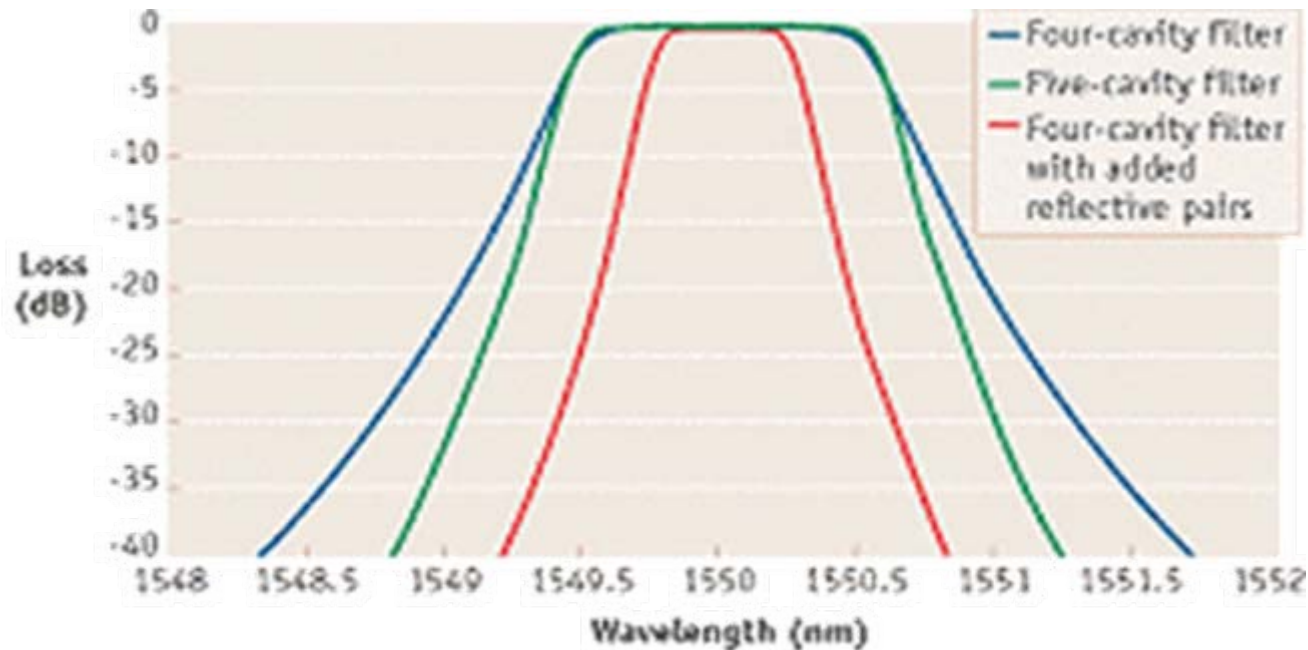


Filtros de películas delgadas (TFF)



Hecho de capas de bajo (B) y alto (A) índice de refracción alternadas. El espaciador está formado por un número par de capas A o B. Mediante emparejados se crean cavidades F-P.

Función de transferencia de un TFF



WDM Solutions June, 2002

Aumento de películas de pila reflexiva
Aumento de películas del espaciador

} reduce ancho de banda

WDM/Filtros ópticos



Filtros de películas delgadas
para un solo canal

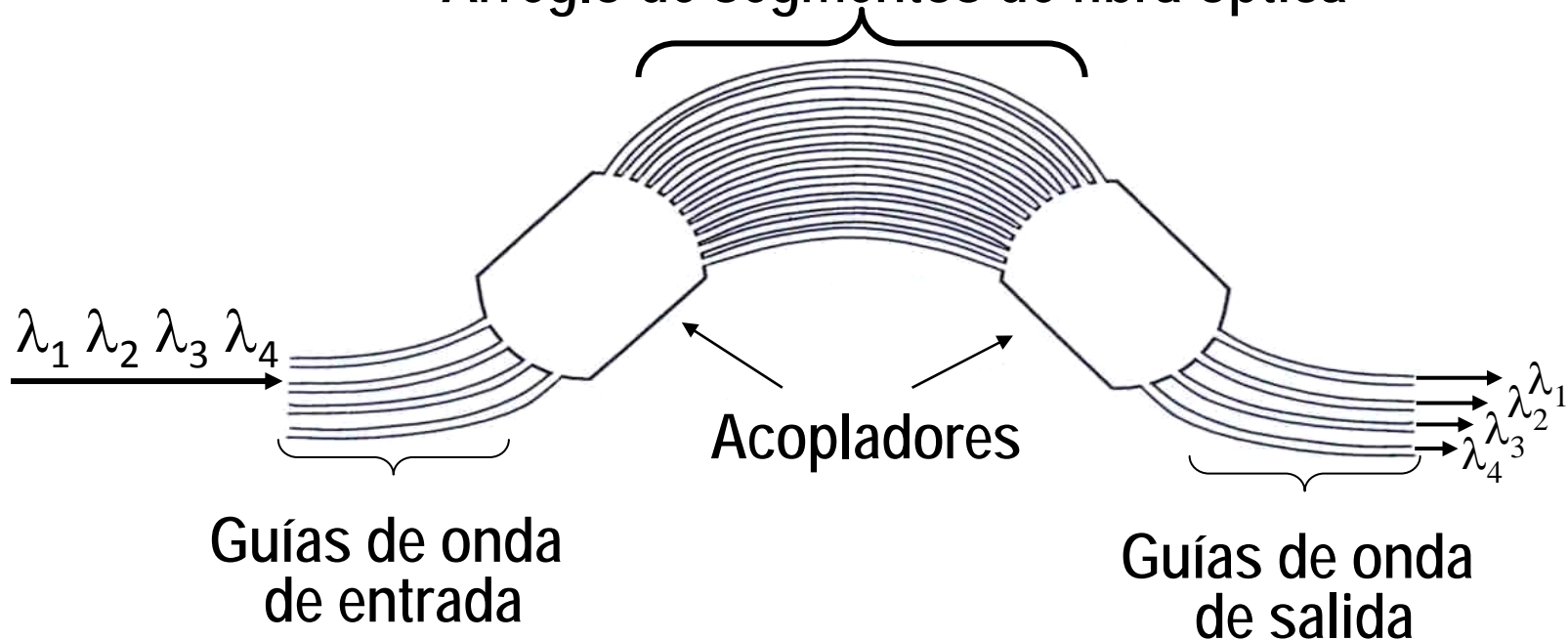


Multiplexor/demultiplexor de
ocho canales basado en
tecnología de películas
delgadas

Arrayed Waveguide Grating (AWG)

Diferencia de camino óptico entre segmentos constante.

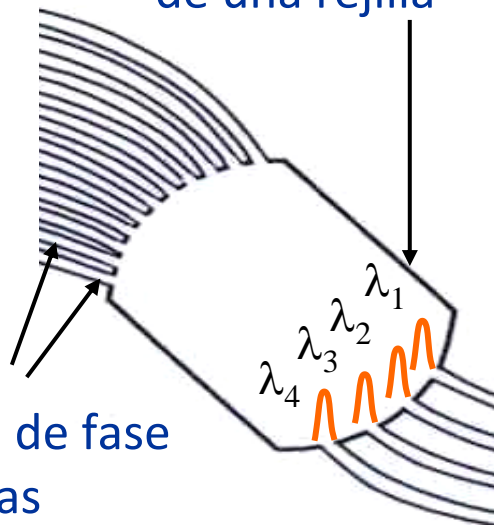
Arreglo de segmentos de fibra óptica



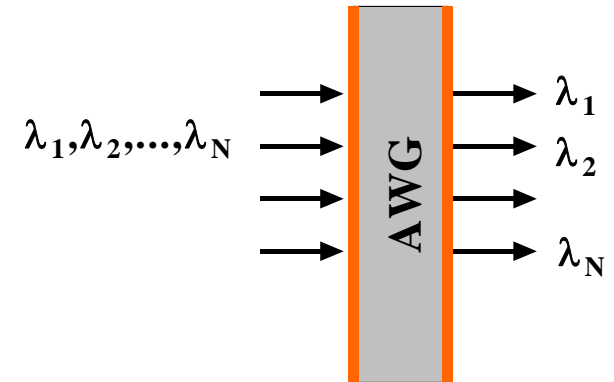
Arrayed Waveguide Grating (AWG)

AWG es un filtro compacto, \therefore integrable.

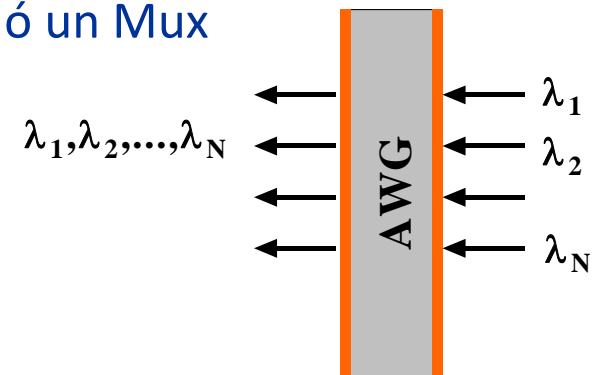
Patrón de interferencia similar al
de una rejilla



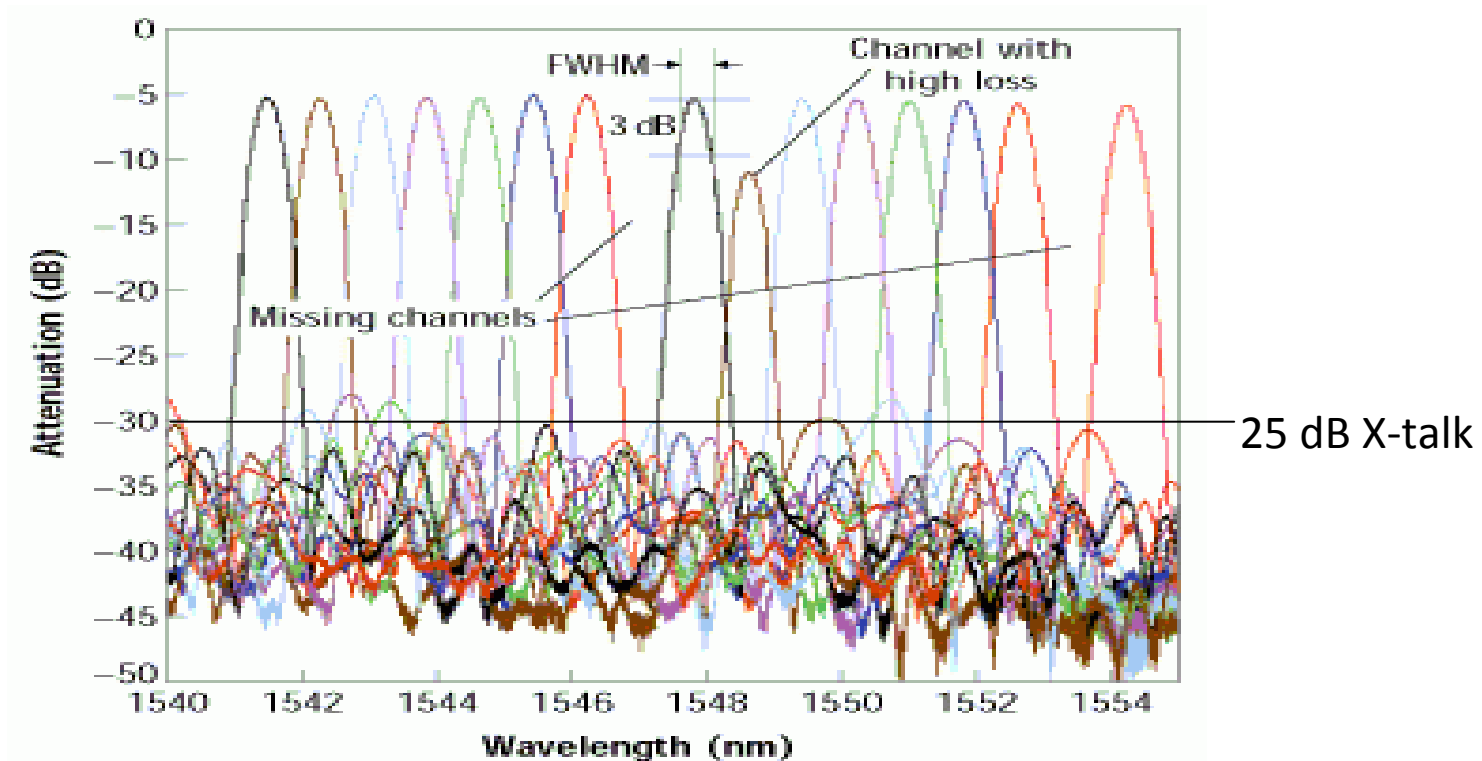
Diferencia de fase
entre ondas
adyacentes constante



AWG actúa como un
Demux ó un Mux



Arrayed Waveguide Grating (AWG) Función de Transferencia

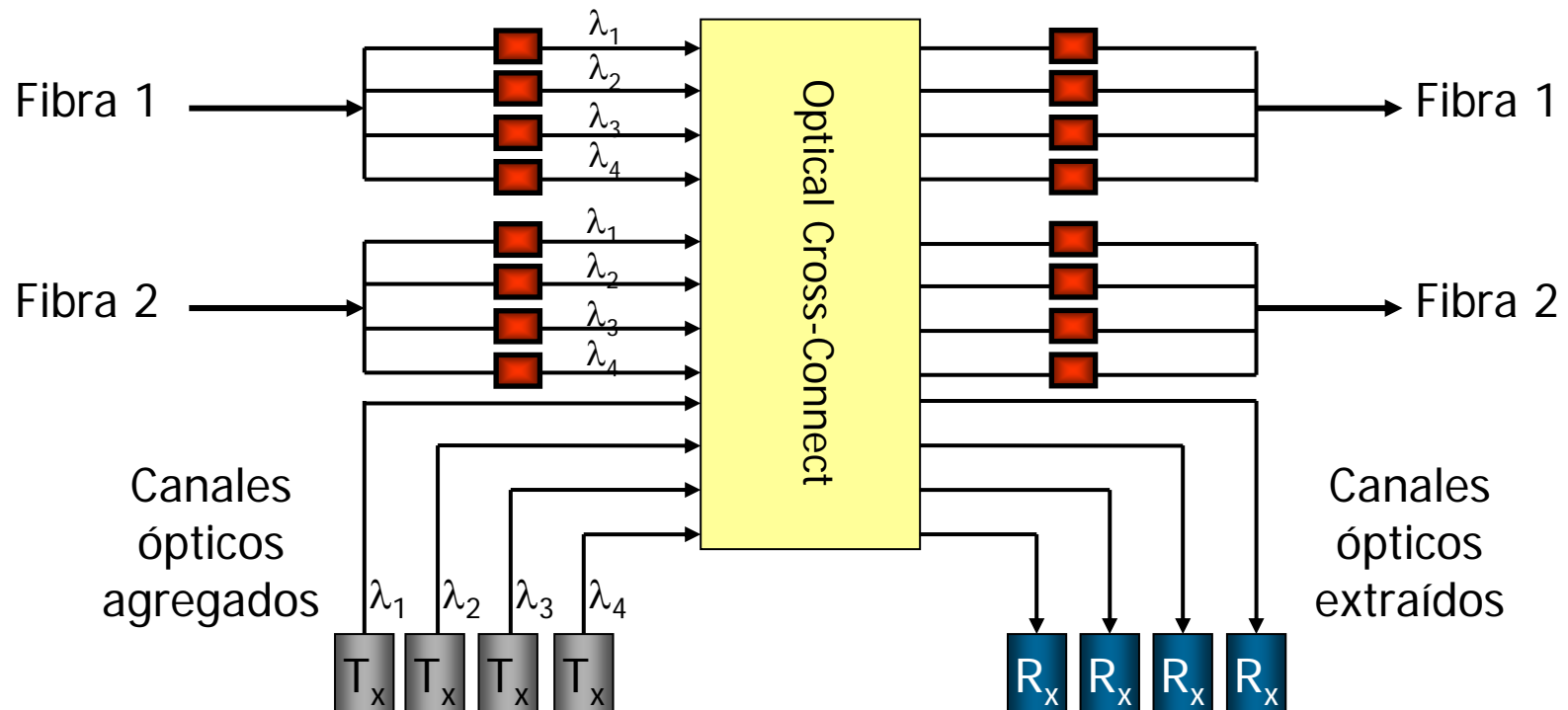


WDM Solutions June, 2001

Optical Cross-Connect (OXC)

Permite la interconexión de canales entre redes.

Arquitectura de un OADM basado en OXC's



Optical Cross-Connect (OXC)

Substituirán a los inter-conectores electrónicos debido a:

- Reducción de costo.
- Transmisión de un mayor número de datos.

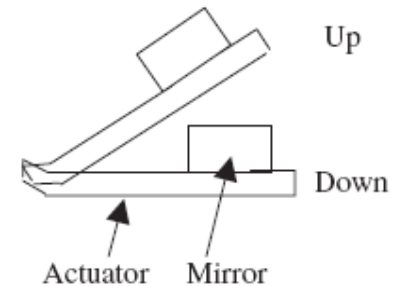
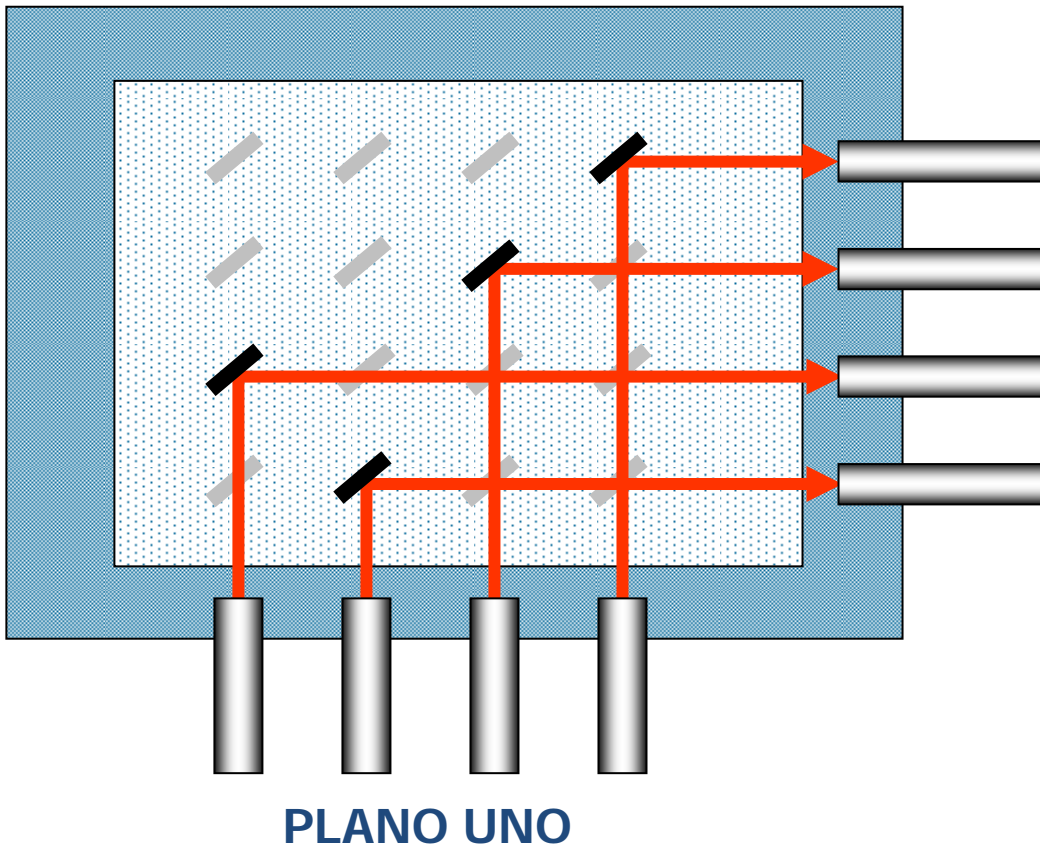
Tecnologías que se utilizarán:

- Interferómetros tipo Mach-Zhender.
- Conmutadores acusto-ópticos.
- Conmutadores de cristal líquido (SLM).

Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS)

- Arreglo de micro-espejos móviles.
- Construidos en Si vía procesos fotolitográficos (bajo costo).
- Controlados mediante fuerzas electrostáticas.
- Originalmente usadas en otras disciplinas.
- Existen MEMS 2D (o digitales) y 3D.

MEMS 2D

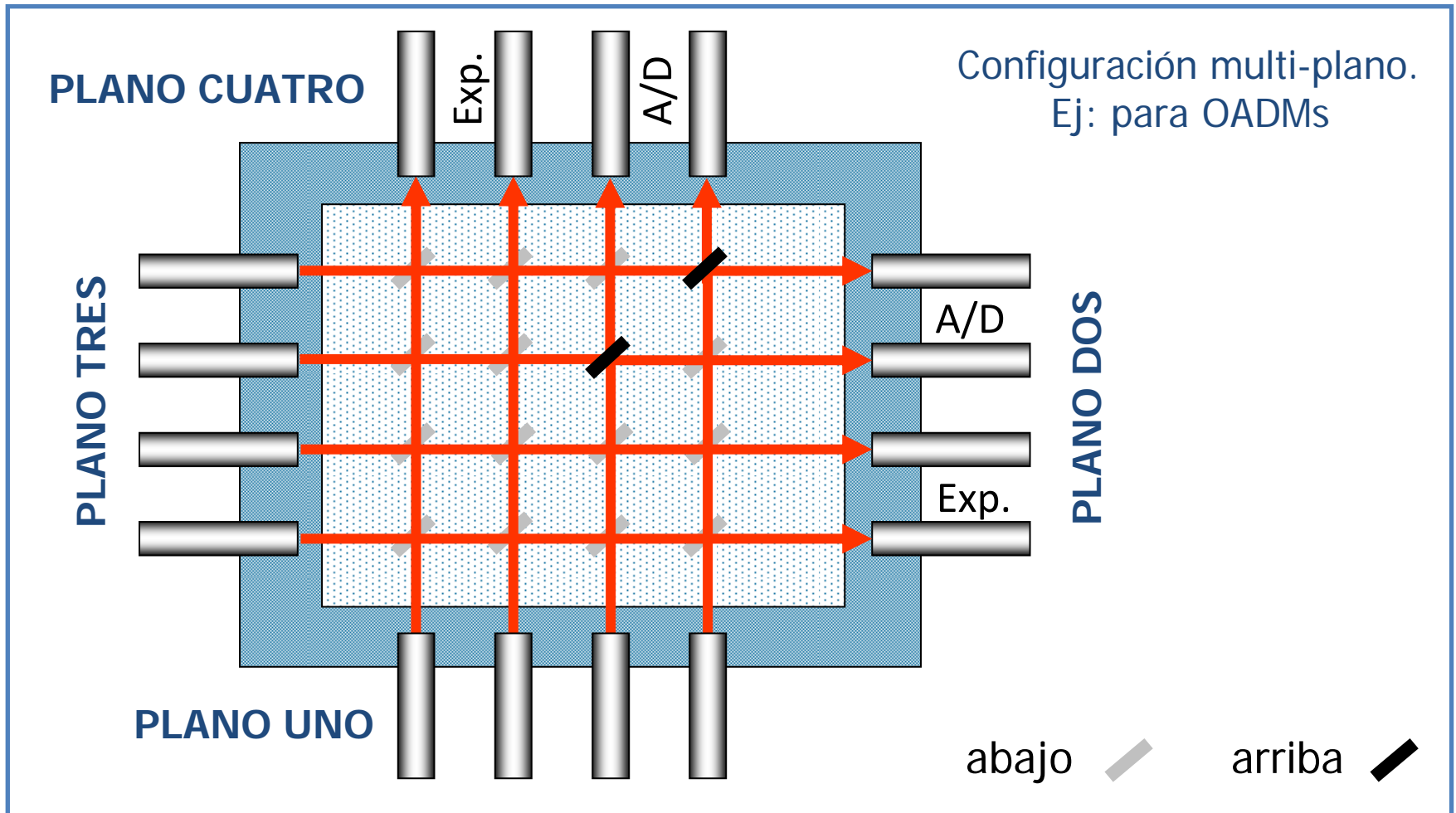


PLANO DOS

Arreglo de 4x4 micro-espejos que permite conectar cualquier puerto del plano uno con cualquiera del plano dos.

Una de dos posiciones:

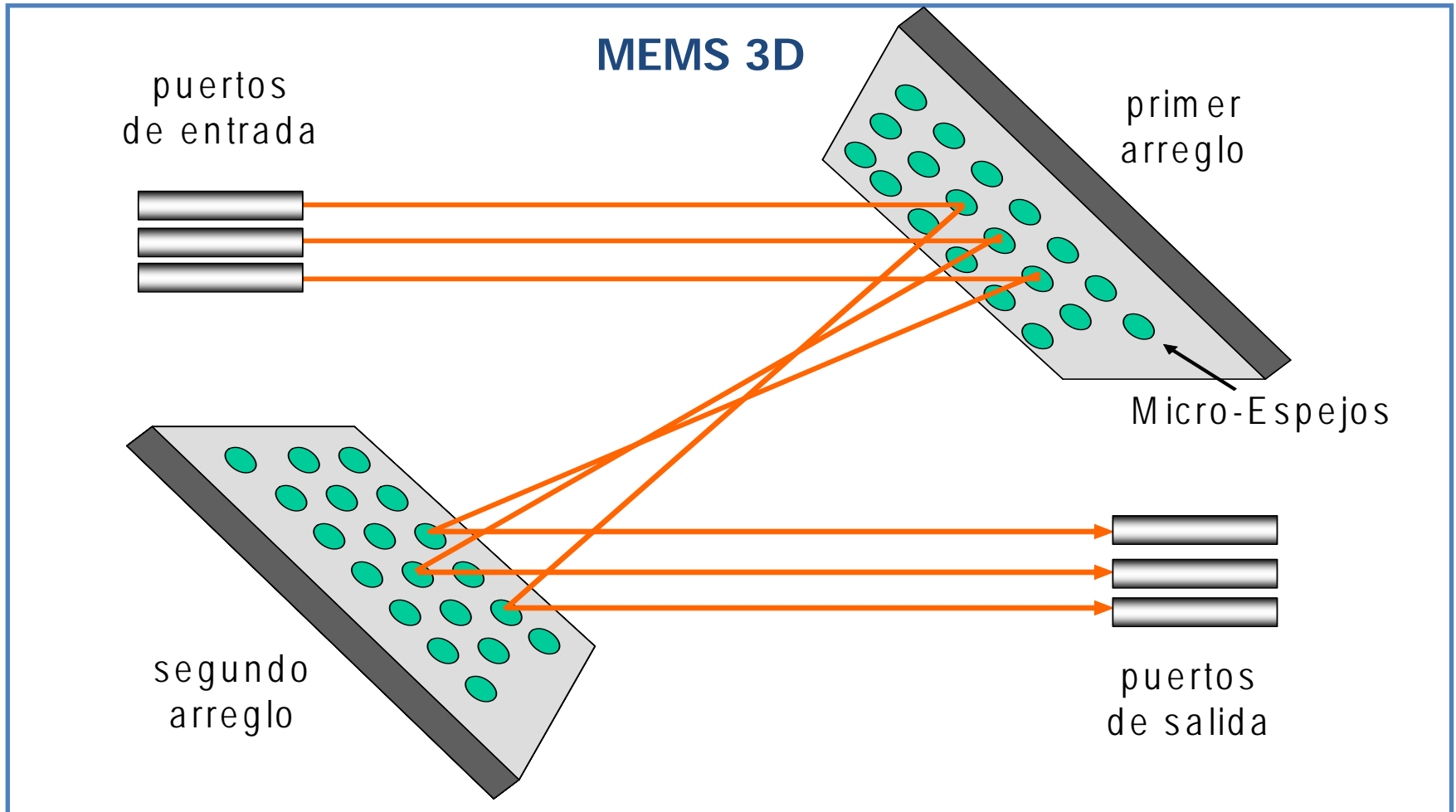
abajo  arriba 



MEMS 3D

Compuestos por espejos cuyos movimientos son más sofisticados. Utilizan 2 ejes perpendiculares para inclinar el espejo en múltiples ángulos y direcciones.





MEMS 2D

- Requieren $N \times N$ micro-espejos para inter-conectar N con N puertos.
- Circuitos de control muy simples.
- Desplazamiento de micro-espejos en ms.

MEMS 3D

- Requieren $2 \times N$ micro-espejos para inter-conectar N con N puertos.
- Espejos más costosos.
- Dispositivos de control muy precisos.

Optical Cross-Connect

Si no hubiera OXC tendríamos solamente routers pasivos, cuya matriz de enrutamiento es fija. También se le llama λ -router. Ver siguiente página.

El uso de OXCs permite la reconfiguración de la red, dándole flexibilidad, ya que es posible cambiar la topología lógica de la misma sin cambiar su topología física, es decir, el tendido de los cables que conforman el medio de transmisión (fibras ópticas).

El OXC que se muestra más adelante permite interconectar el puerto uno, dos o tres de entrada con cualquiera de los tres puertos de salida. Esto se logra con un *wavelength plane* OXC.