



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA



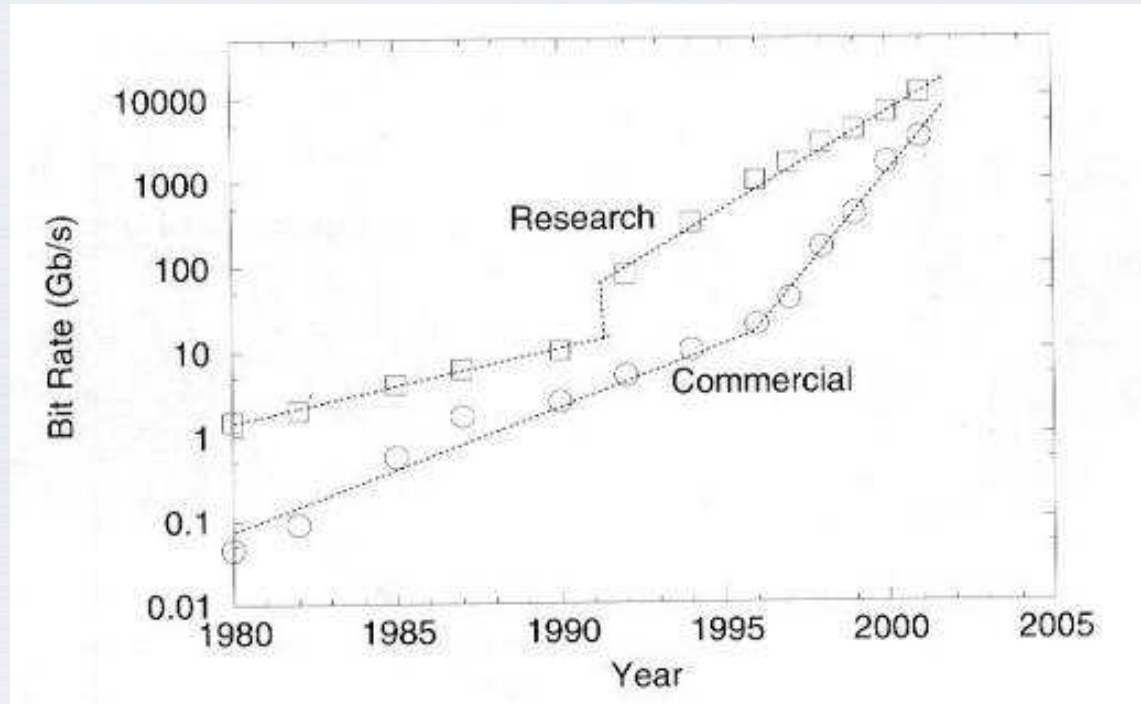
Tecnología de dispositivos WDM.

Luis Diaz
Manuel Gallardo



INTRODUCCION

- ❖ El rápido crecimiento de la demanda de transmisión de datos de alta velocidad es uno de los principales motivos del desarrollo de la tecnología WDM (Wavelength division multiplexing).
- ❖ WDM posibilita la transmisión de varias portadoras ópticas independientes sobre la misma fibra, es decir, varios canales por una sola fibra, con una separación de 0.8 – 1.6 [nm] por canal.



Aumento de las velocidades de transmisión gracias a la introducción de WDM, llegando a tasas de transmisión superiores a los 10 [Tb/s].

ASPECTOS GENERALES

- ❖ WDM consta de una serie de componentes, activos y pasivos, que conforman el sistema.
- ❖ DWDM: *Dense Wavelength Division Multiplexing*.
Más de 8 canales por pelo de fibra, con separación de 0.8 – 0.4 [nm].

El potencial de WDM va en la ventana en la cual se este trabajando:

2ª Ventana:

1310[nm]

$\lambda = \{1270 - 1350\}$ [nm]

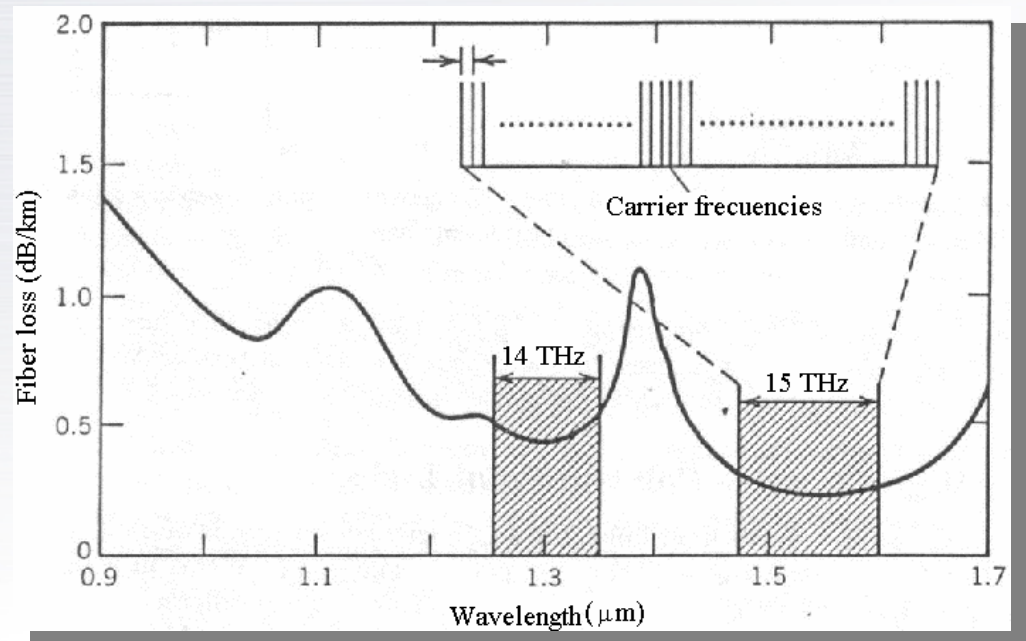
BW = 14[THz]

3ª Ventana

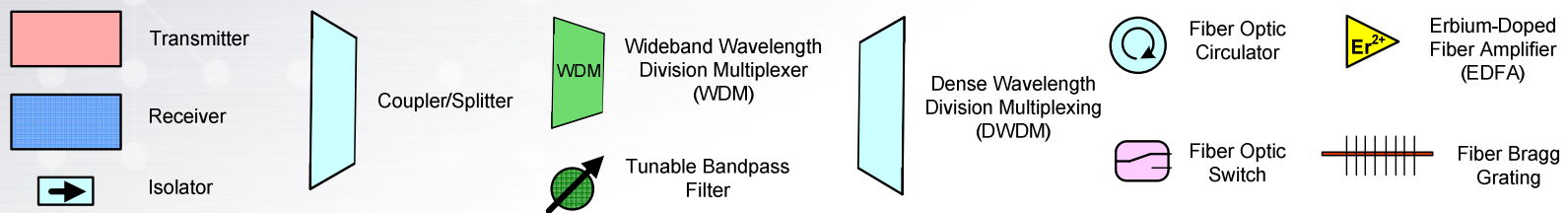
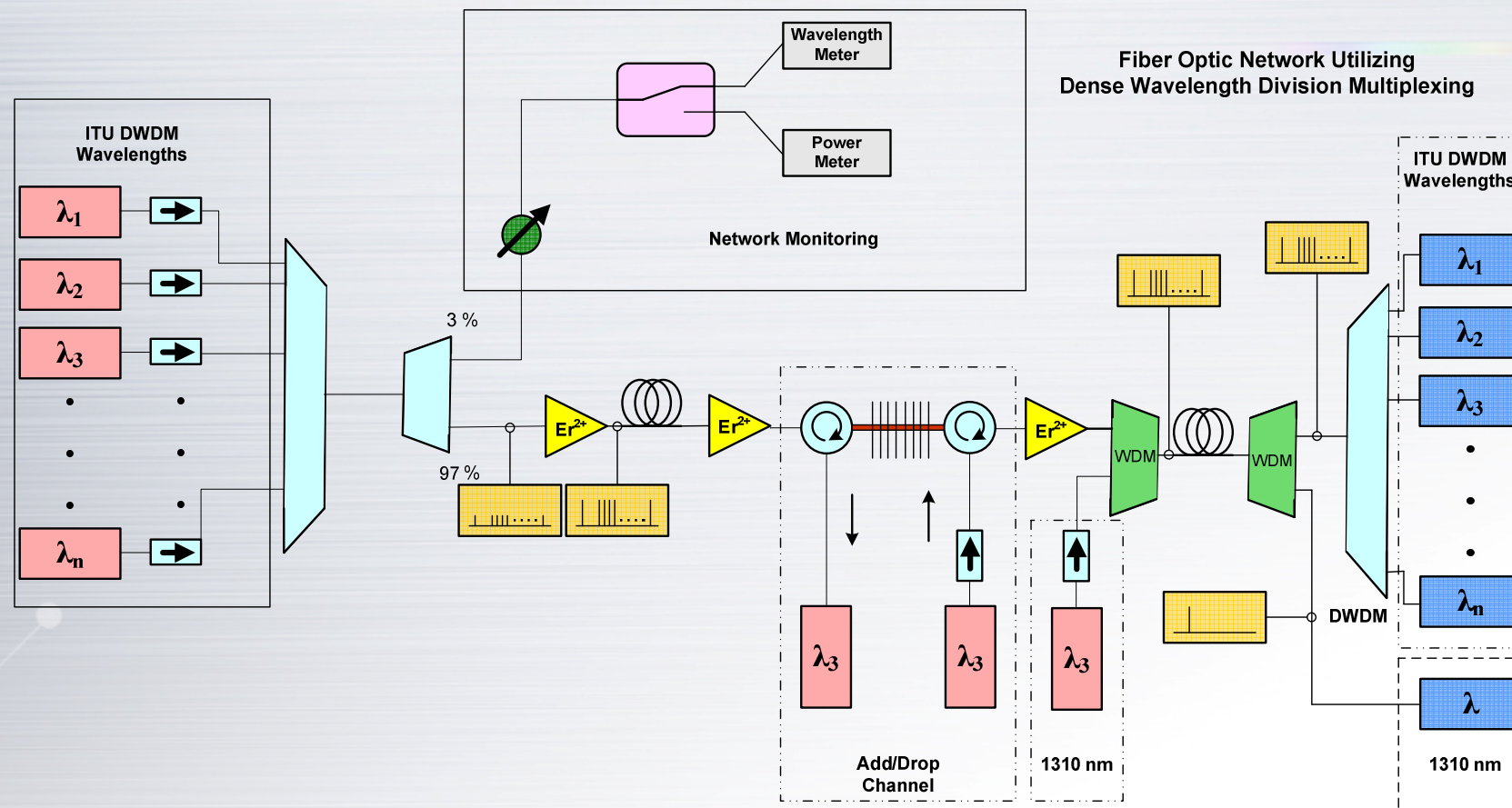
1550[nm]

$\lambda = \{1480 - 1600\}$ [nm]

=>16[THz]



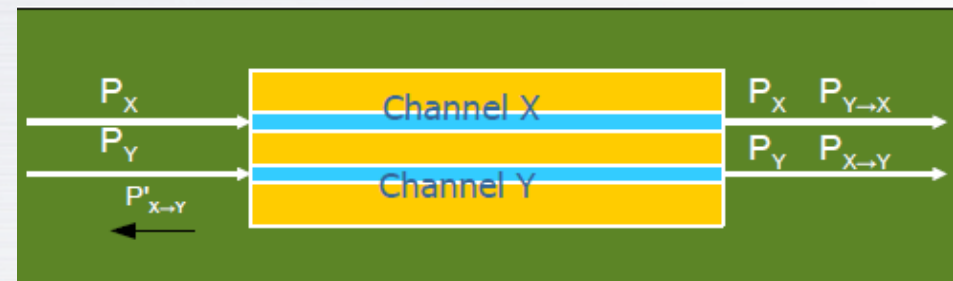
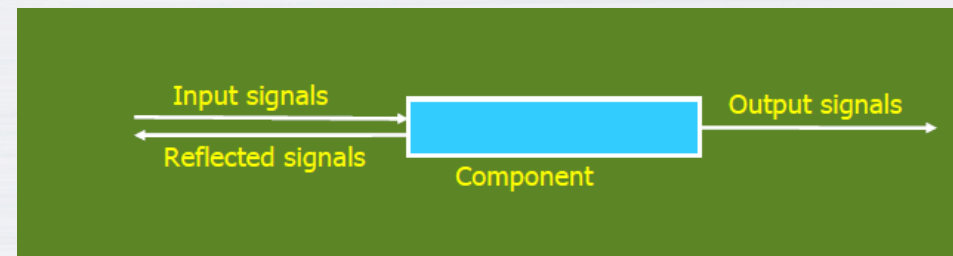
Esquema WDM



ASPECTOS GENERALES

❖ Los objetivos básicos de la tecnología WDM son:

- Combinar
- Aislar
- Distribuir
- Amplificar



❖ Conceptos básicos:

Perdida de inserción:

- variación entre la potencia de entrada y salida. Idealmente bajas.

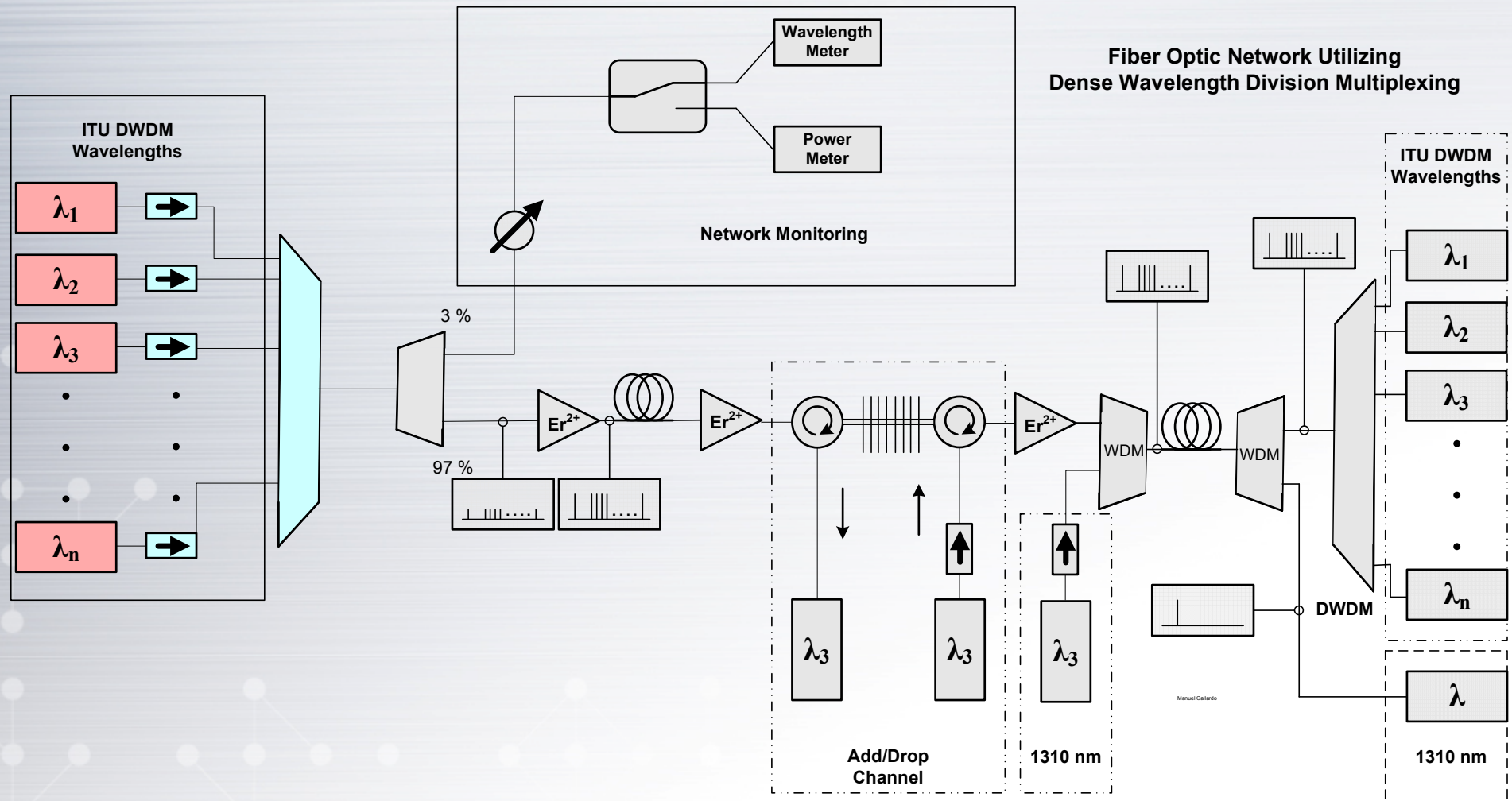
Perdida de retorno:

- variación entre la potencia retornada y la de entrada. Idealmente altas.

Crosstalk:

- ocurre cuando la potencia de un canal afecta al otro canal adyacente.

Esquema Transmisor



FUENTES LASER

❖ **Necesidad:** Alimentar el sistema WDM, y transmitir la información

❖ **Características:**

- fuentes ópticas más ampliamente usadas en sistemas ópticos de comunicaciones.
- En WDM son muy utilizados debido a su pequeño ancho espectral.
- Son eficientes
- Un laser ideal es aquel que tiene un SMSR alto (ratio de supresión del modo complementario = $10 \log (P_o/P_s)$)

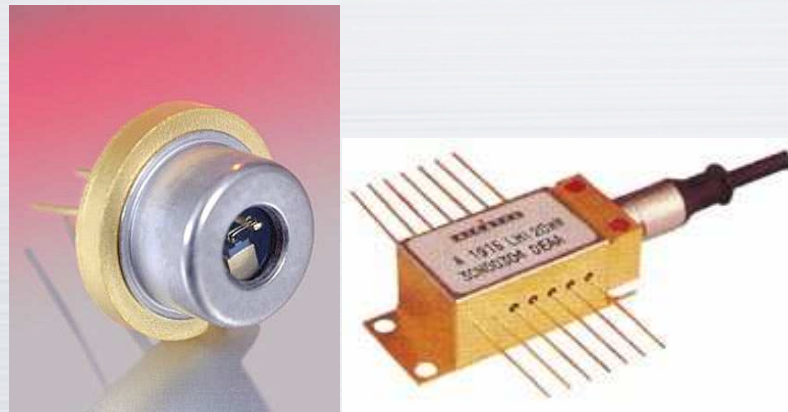
❖ **Tipos:**

- Láser discretos de una sola longitud de onda



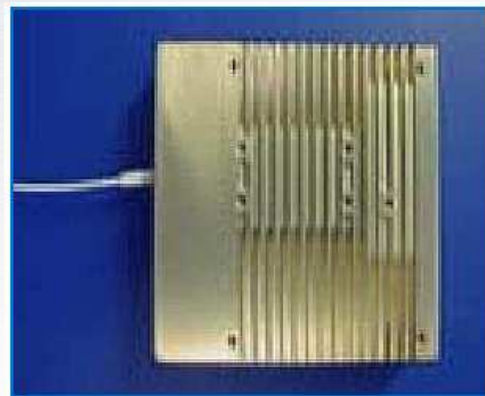
FUENTES LASER

- Láser sintonizables en longitud de onda



- Arreglo de láser de múltiples longitudes de onda.

Los laser funcionan con una fuente por canal, es decir, para WDM, se construyen arreglos de transmisores.



FUENTES LASER

...algunos ejemplos :

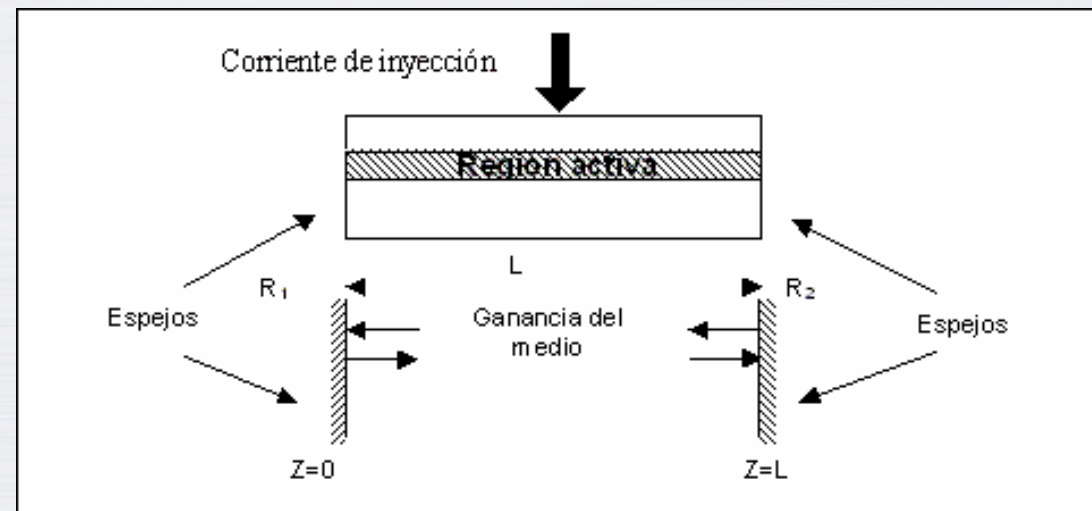
1) Laser Fabry Perot: (monomodo)

- Es el diodo láser clásico, funciona en la segunda y tercera ventana.
- Adecuado para enlaces de corta y mediana distancia.
- Ancho espectral: 3-20 [nm]
- SMSR: 3 – 20 dB
- Tiene muy buen acoplamiento a la fibra
- Son altamente polarizados.
- Es un laser de cavidad resonante



FUENTES LASER

- ❖ La cavidad Fabry-Perot se forma al introducir la *heteroestructura* entre dos espejos formados al cortar de forma recta y limpia el material a lo largo de los planos de corte de semiconductor.



- ❖ La reflectividad de potencia de dicho espejo se puede calcular aplicando las fórmulas de Fresnel para incidencia normal.

$$R_1 = R_2 = \left(\frac{\bar{n} - \bar{n}_{ext}}{\bar{n} + \bar{n}_{ext}} \right)^2$$

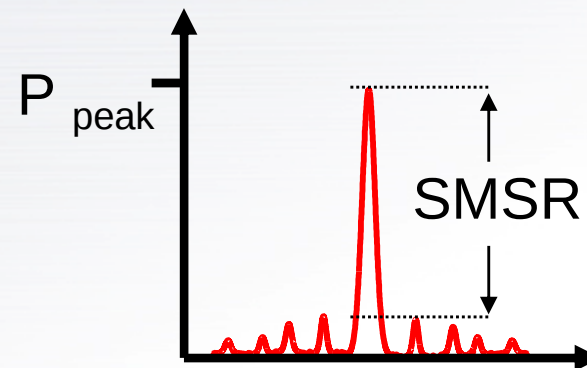
n_{ext} : índice de refracción del medio exterior ≈ 3.5

Reflectividad: $R = 0.3$

FUENTES LASER

2) Láser DFB (Distributed Feedback):

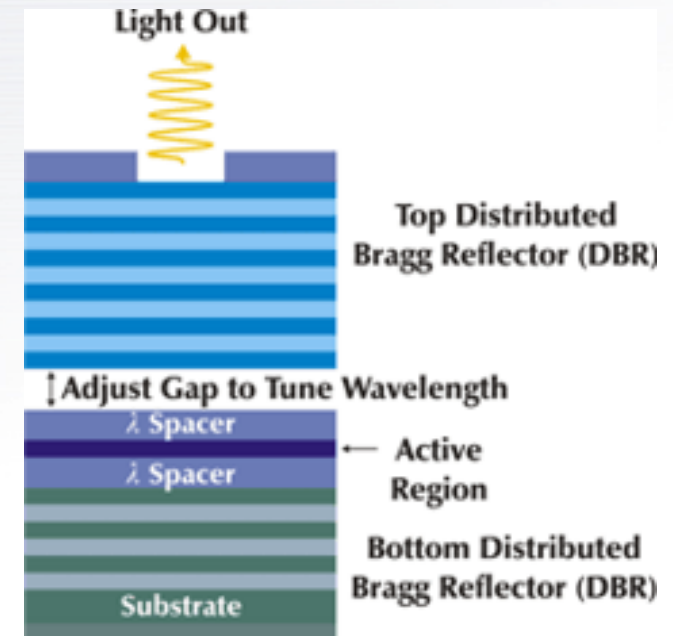
- Es un diodo laser
- Espectro Monomodo longitudinal (equiespaciados en frecuencia, no el longitud de onda)
- Funciona en la 3^o ventana
- Alto rendimiento en sistemas DWDM
- 0.08 – 0.8 [pm]
- SMRS > 50 dB



FUENTES LASER

3) VCSEL (Vertical - cavity surface - emitting lasers):

- Emisión monocromática
- Alta eficiencia: uso de nuevos materiales semiconductores como espejos por encima y debajo de la zona activa (producción de luz).
- Tamaño reducido
- Otros tipos: LED (lighting emisión diode)



Ejemplo de laser en el mercado

LFO-17-i is a series of optical modules based on Mitsubishi 1310nm MQW InGaAsP/InP Fabry-Perot laser diode and coupled with multimode optical fiber

Absolute maximum ratings:

Laser diode

Max. output power (mW) 3.0

Reverse voltage (V) 2.0

Monitor photodiode

Reverse voltage (V) 10

Forward current (mA) 1.5

Environment

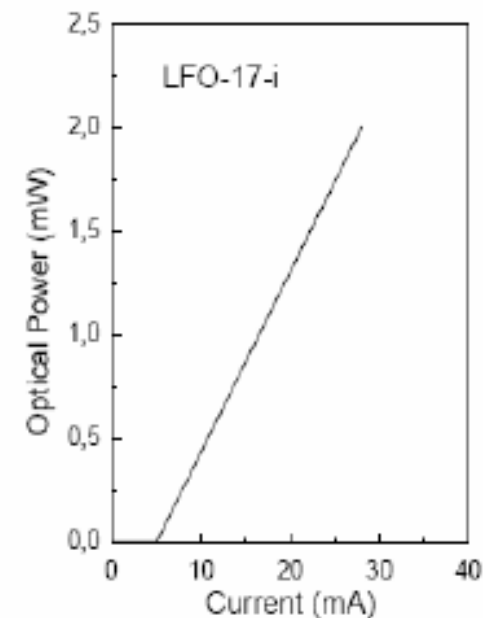
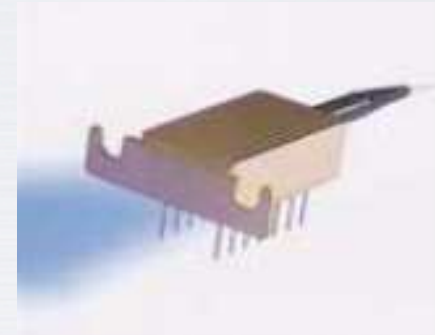
Operating temperature range (°C) -40..+55

Storage temperature range (°C) -40..+70

Assembly

Pin soldering temperature (°C) 200

Pin soldering time (sec) 3.0



CONECTORES

❖ **Necesidad:** Enlazar 2 puntas de distintas fibras ópticas, minimizando las pérdidas por empalme.

❖ **Características:**

- Según el mecanismo de agarre.
- Poseen bajas pérdidas de inserción (0.5 [dB])
- Altas pérdidas de retorno.
- Bajo costo de construcción.

❖ **Tipos:**

- ST, SMA, E2000, SC/DC, LC, MT

CONECTORES

1) ST (*straight up*) :

Mecanismo de sujeción, que fija la conexión al darle un cuarto de vuelta.



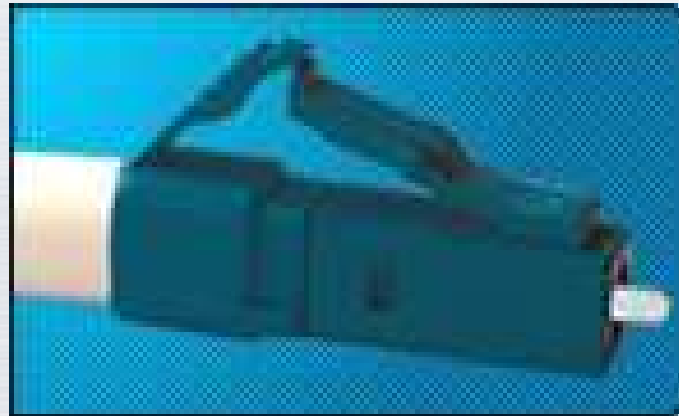
2) SC (*Subscription channel*):

Su encaje es directo, del tipo push pull



CONECTORES

3) LC (Lucent connector) : tamaño pequeño para aplicaciones que requieren poco espacio. Especial para sistemas de montajes en racks.



4) FC: Conector óptico diseñado para ambientes de alta vibración. Su agarre es del tipo enroscado.



FC Connector

DM

CONECTORES

5) MTRJ: es un conector similar al conector RJ – 45 usado en redes Ethernet.



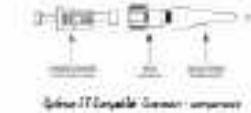
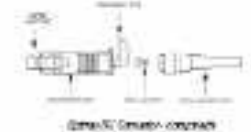
TABLA COMPARATIVA DE ALGUNOS CONECTORES

Connector	Insertion Loss	Repeatability	Fiber Type	Applications
 FC	0.50-1.00 dB	0.20 dB	SM, MM	Datacom, Telecommunications
 FDDI	0.20-0.70 dB	0.20 dB	SM, MM	Fiber Optic Network
 LC	0.15 dB (SM) 0.10 dB (MM)	0.2 dB	SM, MM	High Density Interconnection
 MT Array	0.30-1.00 dB	0.25 dB	SM, MM	High Density Interconnection
 SC	0.20-0.45 dB	0.10 dB	SM, MM	Datacom
 SC Duplex	0.20-0.45 dB	0.10 dB	SM, MM	Datacom
 ST	Typ. 0.40 dB (SM) Typ. 0.50 dB (MM)	Typ. 0.40 dB (SM) Typ. 0.20 dB (MM)	SM, MM	Inter-/Intra-Building, Security, Navy

Ejemplo de conector SC en el mercado

FiberExpress Solutions FiberExpress Connectors

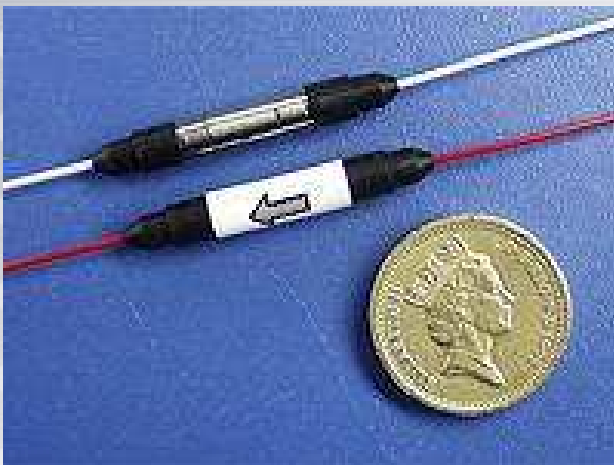
Parameter:	Specifications
Interconnection Compatibility:	LC, SC and ST Compatible connectors
Field Assembly Time:	1 minute for 900 μ m, 3 minutes for jacketed fiber
Insertion Loss (Multimode and Singlemode):	0.3 dB (typical)
Durability (Multimode):	Less than 0.2 dB change, 500 cycles
Durability (Singlemode):	Less than 0.3 dB change, 500 cycles
Nominal Fiber O.D.:	125 μ m
Storage Temperature:	-40° to 65°C (-40° to 149°F)
Operating Temperature:	0° to 60°C (32° to 140°F)
Tensile Load (on jacketed fiber):	50 N (5.1 Kg / 11.2 lbs)
Tensile Load (on 900 micron tight buffered fiber):	6.7 N (0.68 Kg / 1.5 lbs)
Ferrule:	Ceramic
Reflectance (Multimode):	- 30 dB (typical)
Reflectance (Singlemode):	- 40 dB (guaranteed)



AISLADORES

❖ Necesidad:

- Parte de la señal óptica se devuelve en sentido indeseado, lo cual hace necesario tener un dispositivo que tenga bajas pérdidas en un sentido y altas en el otro.
- Dispositivo pasivo.
- Remover la influencia de la potencia óptica retornada al transmisor, lo cual puede afectar el rendimiento del sistema.



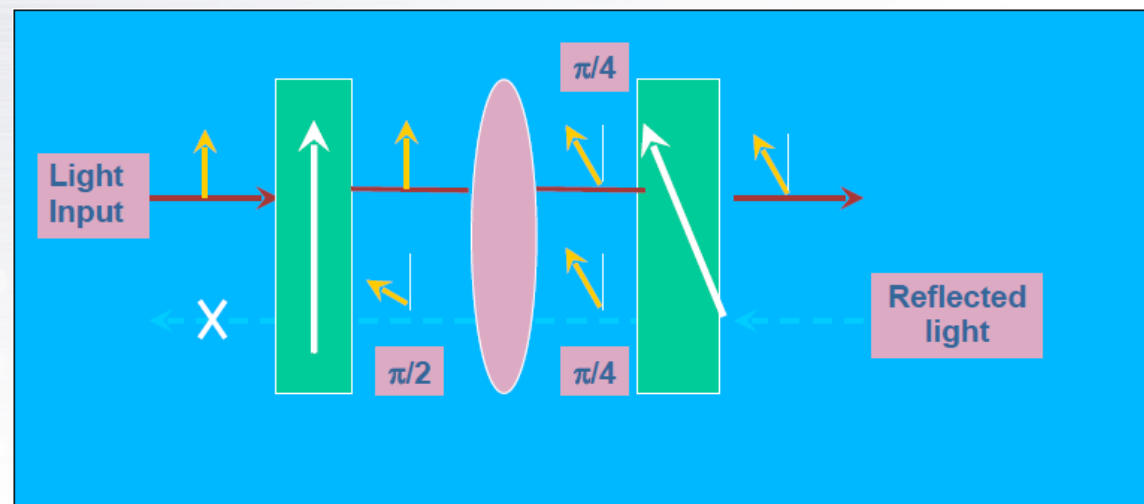
AISLADORES

❖ Características:

- Baja pérdida de inserción: referido a dirección de transmisión (1 dB)
- Alta atenuación: referido a la dirección en contra a la transmisión, valores cercanos a 50 dB.
- Generalmente es utilizado entre el láser transmisor y el post-amplificador, o después de éste, para evitar reflexiones que afecten al sistema.

❖ Tipos:

- 1) Aisladores dependientes de la polarización:
 - componente pasivo recíproco.
 - Su operación es basada en la polarización de la señal

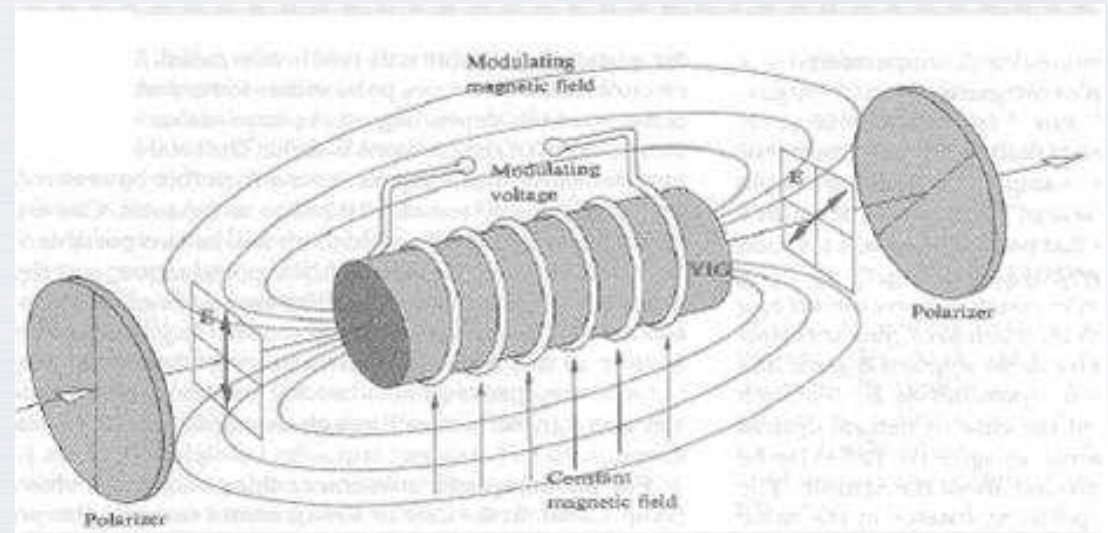


AISLADORES

2) Aislador independiente de la polarización:

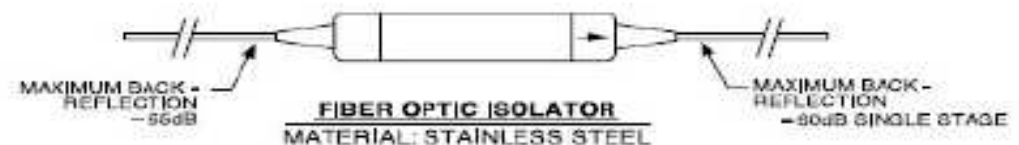
-Consiste en un rotador de polarización de Faraday de 45 grados. La señal de retorno rota 90 grados y se encuentra en contrafase (polarización de la onda).

- es no recíproco



Ejemplo de aislador en el mercado

Isolators: Fiber Optic



These polarization insensitive single stage fiber optic isolators are passive, non-reciprocal, high performance lightwave components for suppressing optical feedback in laser-based fiber optic systems. They provide very low insertion loss, high isolation, high return loss, and excellent environmental stability and reliability in a compact, rugged package.

Specifications 4013SA/4015SA

- Center Wavelength (4013SA): 1310nm
 - Center Wavelength (4015SA): 1550nm
 - Typical Peak Isolation: >40dB
 - Minimum Isolation¹: >30dB
 - Typical Insertion Loss: 0.4dB
 - Maximum Insertion Loss: <0.7dB
 - Return Loss (Input/Output): ≥60/50dB
 - Polarization Dependent Loss: <0.1dB
 - Polarization Mode Dispersion: <0.25ps
 - Max Optical Power: 300mW
 - Max Tensile: 5N
 - Operating Temperature: -20 to +60°C
 - Storage Temperature: -40 to +85°C
 - Fiber Length: 1m
- ¹Over center wavelength ± 15nm at 25°C all polarization states

Isolators

ITEM#	\$	£	€	¥	DESCRIPTION
4013SA	\$ 261.30	£ 195.98	€ 274.36	¥ 44,421	1310nm Single Stage Isolator
4015SA	\$ 241.30	£ 180.98	€ 253.36	¥ 41,021	1550nm Single Stage Isolator
4013SAFC	\$ 276.00	£ 207.00	€ 289.80	¥ 46,920	1310nm Single Stage Isolator FC/PC Connectors
4015SAFC	\$ 256.00	£ 192.00	€ 268.80	¥ 43,520	1550nm Single Stage Isolator FC/PC Connectors

FC/APC Connectors available by special order. Call Technical Support at 973-579-7227.

ACOPLADORES

❖ Necesidad:

- Distribuir la señal óptica de una a varias fibras.
- Monitorear la potencia enviada a través del sistema.
- Redes de distribución de señales, ejemplo CATV.
- Enfrentar 2 conectores de manera de alinear correctamente las fibras.



❖ Características:

- Bajas pérdidas de conexión, buena directividad (> 60 dB)
- Bajo costo de fabricación.

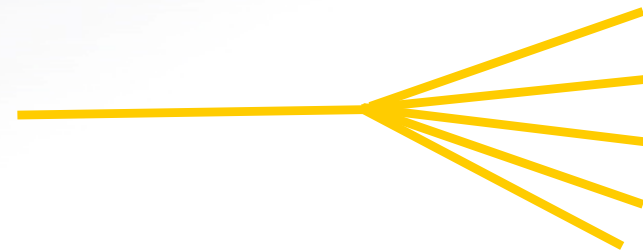
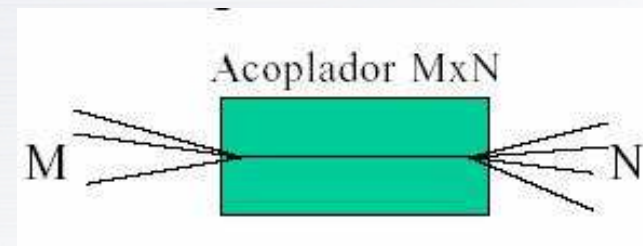
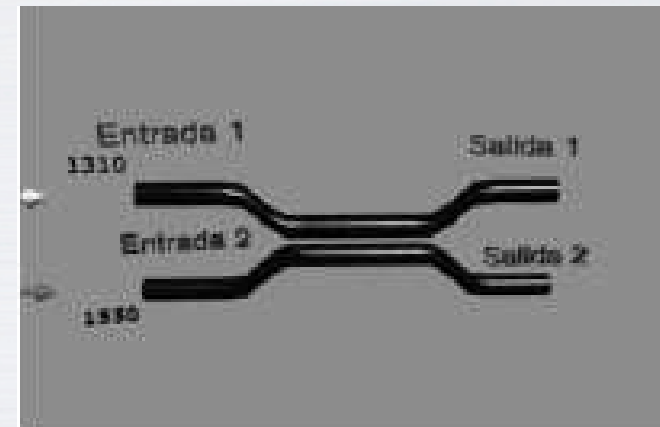


ACOPLADORES

- Puede ser usado para combinar 2 señales de distintas longitudes de onda, optimizando el canal

❖ Tipos:

- Estructura estrella ($M \times N$), árbol ($1 \times N$) :
- Acoplador de 3 dB: la mitad de la potencia de cada entrada aparece en la salida.
- la potencia óptica presente en una entrada cualquiera se divide en N partes iguales, extrayéndose cada parte por cada una de las salidas.
- Por cada puerta de entrada se inyecta una longitud de onda diferente, en cada una de las fibras de salida está presente el conjunto de todas, aunque con una potencia al menos N veces menor.



Parámetros importantes acoplador

Pérdidas de inserción (entre puertas)
(*Insertion Loss*)



$$IL_{i,j} = -10 \log \frac{P_{i,j}}{P_i}$$

Pérdidas en exceso (del acoplador)
(*Excess Loss*)

$$EL_i = -10 \log \frac{\sum_j P_{i,j}}{P_i}$$

Razón de acoplo-acoplamiento (entre puertas)
(*Coupling Ratio*)

$$CR_{i,j} = -10 \log \frac{P_{i,j}}{\sum_j P_{i,j}}$$

Ejemplo de acoplador en el mercado

Couplers: 1 x 2, Multimode

Thorlabs now stocks 1 x 2 multimode fiber couplers, manufactured using industry standard 50/125 μ m step index and 62.5/125 μ m graded index fibers. The couplers offer low insertion loss and excellent environmental and mechanical stability. They are stocked with and without FC connectors. Other connector styles are available on a custom request; please contact tech support at 973-579-7227.

PARAMETER	FCMM625	FCMM50
Fiber	62.5 μ m GI	50/125 μ m
Center Wavelength	850nm	850nm
Coupling Ratio	50/50	50/50
	90/10	90/10
	99/1	99/1
Directivity	>35dB	>35dB
Ports	1X2	1X2
Fiber Type	62.5/125 μ m Graded Index	50/125 μ m Step Index
Op. Temp.	-40°C ~ +85°C	-40°C ~ +85°C



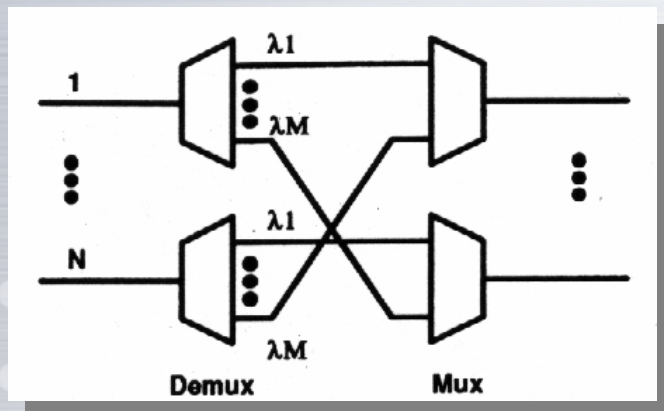
Couplers: 1 x 2, Multimode

ITEM#	\$	£	€	¥	CONNECTORS	DESCRIPTION
FCMM625-50A	\$ 100.00	£ 75.00	€ 105.00	¥17,000	None	1x2 62.5/125 μ m MM Fiber Coupler, 1310 & 1550nm, 50/50
FCMM625-50A-FC	\$ 125.00	£ 93.75	€ 131.25	¥21,250	FC/PC	1x2 62.5/125 μ m MM Fiber Coupler, 1310 & 1550nm, 50/50
FCMM625-90A	\$ 100.00	£ 75.00	€ 105.00	¥17,000	None	1x2 62.5/125 μ m MM Fiber Coupler, 1060nm, 90/10
FCMM625-90A-FC	\$ 125.00	£ 93.75	€ 131.25	¥21,250	FC/PC	1x2 62.5/125 μ m MM Fiber Coupler, 1060nm, 90/10
FCMM625-99A	\$ 100.00	£ 75.00	€ 105.00	¥17,000	None	1x2 62.5/125 μ m MM Fiber Coupler, 1060nm, 99/1
FCMM625-99A-FC	\$ 125.00	£ 93.75	€ 131.25	¥21,250	FC/PC	1x2 62.5/125 μ m MM Fiber Coupler, 1060nm, 99/1
FCMM50-50A	\$ 100.00	£ 75.00	€ 105.00	¥17,000	None	1x2 50/125 μ m MM Fiber Coupler, 980nm, 50/50
FCMM50-50-FC	\$ 125.00	£ 93.75	€ 131.25	¥21,250	FC/PC	1x2 50/125 μ m MM Fiber Coupler, 980nm, 50/50
FCMM50-90A	\$ 100.00	£ 75.00	€ 105.00	¥17,000	None	1x2 50/125 μ m MM Fiber Coupler, 980nm, 90/10
FCMM50-90A-FC	\$ 125.00	£ 93.75	€ 131.25	¥21,250	FC/PC	1x2 50/125 μ m MM Fiber Coupler, 980nm, 90/10
FCMM50-99A	\$ 100.00	£ 75.00	€ 105.00	¥17,000	None	1x2 50/125 μ m MM Fiber Coupler, 980nm, 99/1
FCMM50-99A-FC	\$ 125.00	£ 93.75	€ 131.25	¥21,250	FC/PC	1x2 50/125 μ m MM Fiber Coupler, 980nm, 99/1

MULTIPLEXORES (MUX)

❖ Necesidad:

- Juntar/separar canales para la transmisión de datos, esto es, juntar o separar haces de luz en distintas longitudes de onda, ya sea en una o varias fibras.
- Es un elemento básico en un sistema WDM



❖ Características:

- Deben tener bajo crosstalk (degradación de la tasa de error al interferir un canal en el otro).

MULTIPLEXORES (MUX)

❖ Tipos:

1) Basados en difracción:

Uso de elemento dispersivo angular, el cual dispersa la luz incidente en varias longitudes de ondas.

2) Basados en interferencia:

Utilizan filtros ópticos (principalmente filtro Mach-Zenhnder) y coplas direccionales, es decir, utilizan la interferencia óptica para seleccionar la longitud de onda.

Un ejemplo son los Mux Add and Drop, los cuales usan una serie de coplas interconectadas

Ejemplo de Mux en el mercado

8830/01
8831/01, 8832/01

 **TRANSMODE**

8830/01 is an 8ch Mux/DeMux unit covering the 8 DWDM channels 934, 935.. 941.



Technical Data

Module type / combination	Insertion Loss link level (Mux & DeMux)
8131/01	3.2dB
8830/01	6.0dB
8830/01 + 8831/01	7.3dB
8131/01 + 8140/01	4.0dB
8831/01	4.9dB
8832/01	4.9dB

AMPLIFICADORES

❖ Necesidad:

- Señal al viajar por grandes distancias se va degradando, lo cual hace necesario potenciarla cada cierto tramo.
- Al revés, necesidad de aumentar la distancia de transmisión.
- Muy necesarios al usar sistemas WDM (EDFA's).
- Evitar efectos no lineales

❖ Características:

- Amplificación de luz mediante emisión estimulada, al ser bombeados, realizando inversión de población.

Diferentes nombres, según el lugar del enlace donde son posicionados:

Pre-amplificación (pre-rx)

Post amplificación (post-tx)

Amplificadores de línea (muy atractivos para WDM).

AMPLIFICADORES

❖ Características:

- No compensan la dispersión ni eliminan el ruido de la señal, esto lo debe hacer un regenerador.
- Parámetros que limitan su desempeño:
 - Crosstalk
 - ruido por emisión espontánea
 - XPM, SPM, FWM

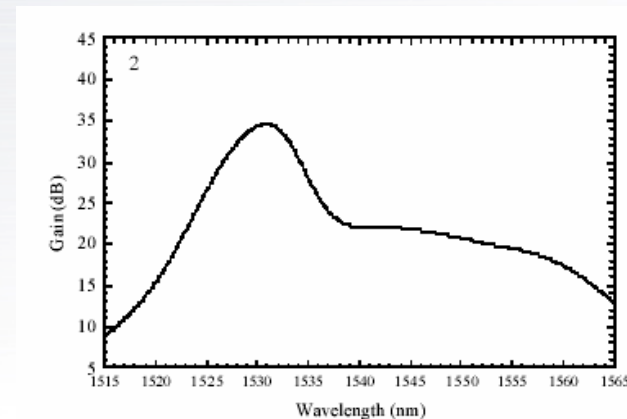
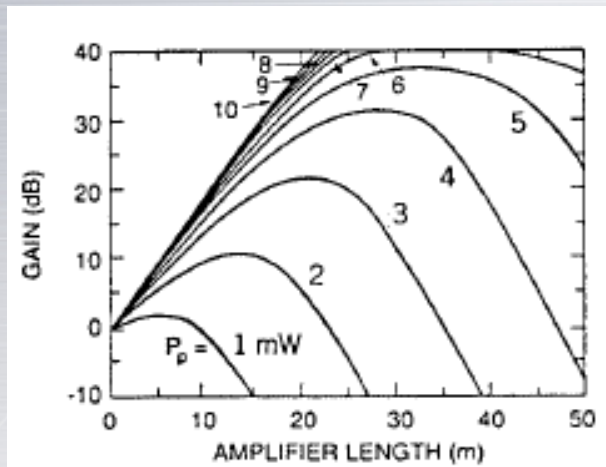
dependen de la potencia de transmisión.

AMPLIFICADORES

❖ **Tipos:** Se destacan en WDM:

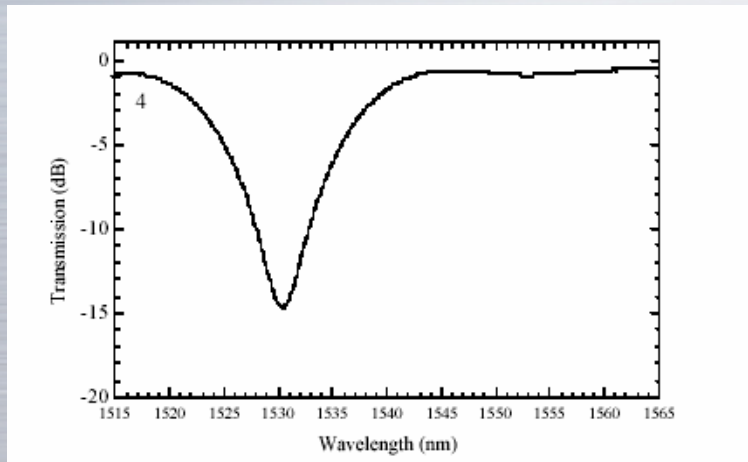
1) Amplificador EDFA's:

- Opera en la ventana de $1.55\mu m$, la 3ª ventana (enlaces transoceánicos)
- Es un amplificador concentrado.
- Es un trozo de fibra dopada con Erblio.
- La fibra es bombeada desde un laser.
- Requiere de baja potencia de bombeo para desarrollar grandes ganancias
- Parámetro que maneja la ganancia del EDFA: largo del amplificador, se busca el largo optimo

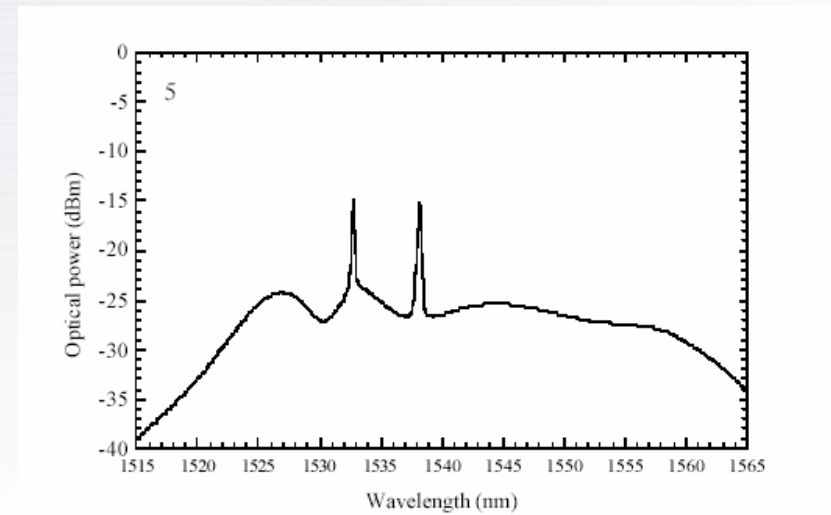


AMPLIFICADORES

Solución: Filtro ecualizador de ganancia



Obteniendo la siguiente señal de salida:



AMPLIFICADORES

Configuración básica EDFA:

- La fibra es bombeada desde un láser
- Se utilizan coplas para efectuar el bombeo.
- Un aislador se encarga de arrojar la señal de salida
- En la actualidad muy utilizado.

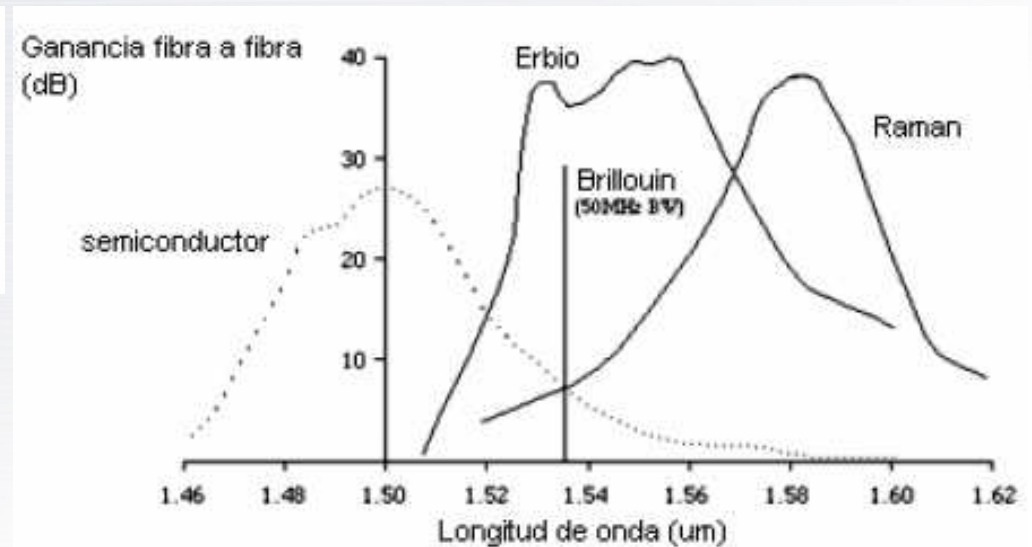
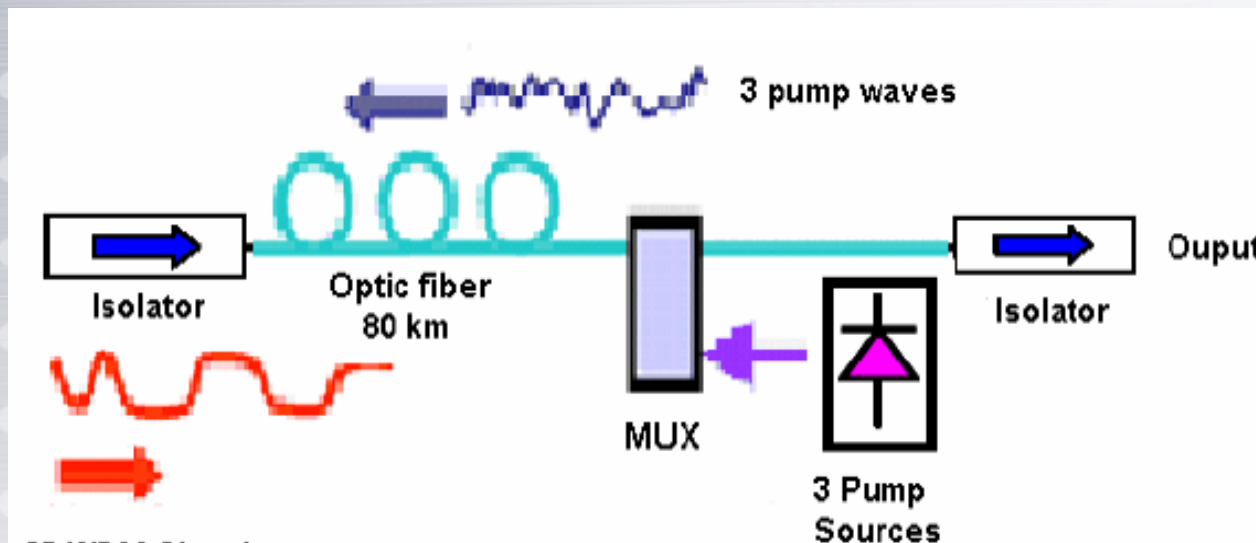


Fig. 3: Respuesta espectral de diferentes amplificadores ópticos.

AMPLIFICADORES

2) Amplificador Raman (FRA):

- Su funcionamiento se basa en el efecto no lineal SRS (esparcimiento Raman estimulado)
- Gran ancho espectral de ganancia (arriba de 6 THz)
- Una ventaja es que se pueden amplificar varios canales con una sola potencia de bombeo, pero este bombeo requiere gran potencia.
- Amplificación bidireccional



*Configuración
backward con 3
fuentes de bombeo:*

AMPLIFICADORES

TABLA COMPARATIVA ENTRE AMBOS AMPLIFICADORES

Característica	EDFA	Raman
Amplificación de Banda	alrededor de 1550nm; no trabajan en el rango de 1300nm.	Depende de la disponibilidad de bombas de longitud de onda; funciona en todas las bandas.
Ganancia	20db ó más dependiendo de la concentración de los iones, la longitud de la fibra y la configuración de las bombas.	De 4 a 11 db, proporcional a la intensidad de la bomba y la efectividad de la longitud de la fibra.
Potencia de saturación	Depende de la ganancia y las constantes del material.	Se aproxima a la potencia de las ondas de la bomba.
Ruido	Amplifica el ruido.	No amplifica el ruido.
Longitud de onda de la bomba	980 nm. ó 1480 nm.	Aproximadamente 100 nm más abajo que la longitud de onda de la señal en ganancia pécó.

Ejemplo de amplificador en el mercado

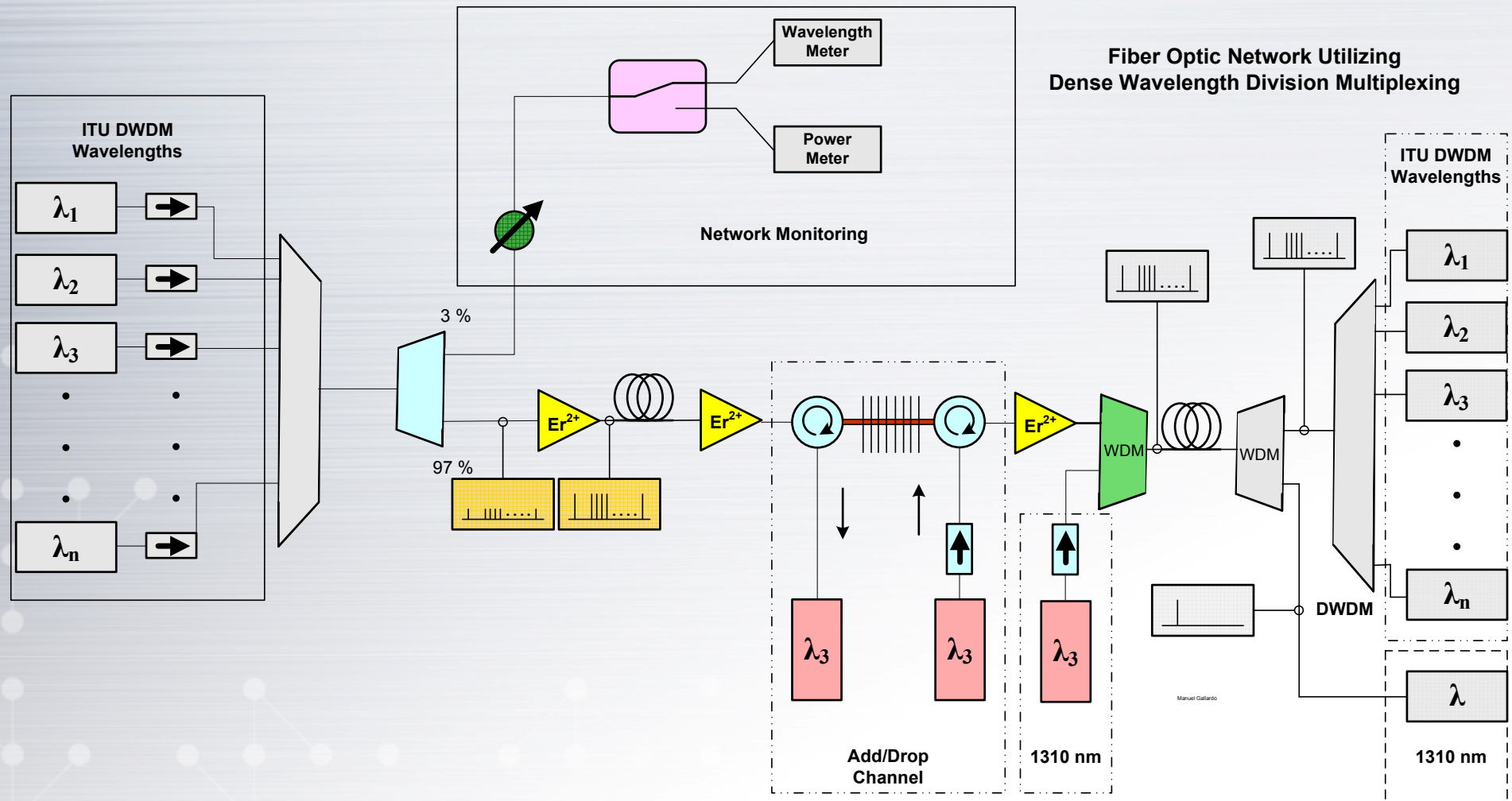
Cisco ONS 15501 Erbium Doped Fiber Amplifier

The Cisco® ONS 15501 is a low-noise, gain-flattened C-band optical erbium doped fiber amplifier (EDFA) designed to extend the distance of today's high-speed optical infrastructure. The Cisco ONS 15501 complements the Cisco ONS 15500 dense wavelength-division multiplexing (DWDM) solution, providing customers with the capability to extend their 100-GHz, 32-channel, 2.5-Gbps, or 10-Gbps optical infrastructure over greater distances.

Optical	
Wavelength range	1530 to 1563 nm
Input power range	-29 to 0 dBm
Saturated output power	17.3 0.3 dBm
Noise figure	< 6.0 dB
Nominal gain	+17 dB
Gain flatness	< 1.5 dB
Settable variable gain	17 dB to 7 dB (gain flatness is < 1.5 dB for 17 to 13 dB; < 2.0 dB for 7 to 13 dB)
AGC accuracy	10 dB
Transient suppression response time	50 microseconds
Backward amplified-spontaneous-emission (ASE) power	< 25 dBm
Polarization mode dispersion (PMD)	< 0.6 ps
Mode of operation	Unidirectional
Optical return loss	> 27 dB



DIAGRAMA CANAL



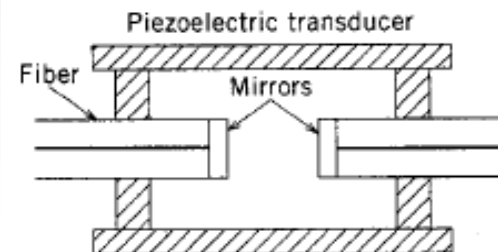
Filtros

- ❖ Filtrar señales interferentes y seleccionar uno o varios canales en el receptor .
- ❖ Hay de diversos tipos, clasificándose de acuerdo al mecanismo de selección del canal:
 - **Difracción**
 - **Interferencia Óptica**
- ❖ Características deseables de un filtro:
 - Amplio rango de ajuste.
 - Minimizar el crosstalk.
 - Rápida conmutación de canales
 - Bajas pérdidas de inserción.
 - Insensibilidad a la polarización
 - Estabilidad frente a cambios ambientales.
 - **BAJO COSTO !!!!**

Filtros Sintonizables

Difracción

- ❖ Cavity resonante de Fabry-Perot, formada por 2 espejos que actúan como un filtro óptico y la longitud de onda es controlada por un piezoeléctrico .
- ❖ El espectro transmitido es función de la longitud de onda.
- ❖ Tiene un peak de transmisión en la longitud de onda de la frecuencia del modo longitudinal.
- ❖ Banda estrecha.



Filtros Sintonizables

Rango espectral libre.

$$\Delta\nu_L = \frac{c}{2n_g L}$$

$\Delta\nu_L$: Rango espectral libre

L : Largo del filtro FP

n_g : índice de grupo del material

η_s : Eficiencia espectral

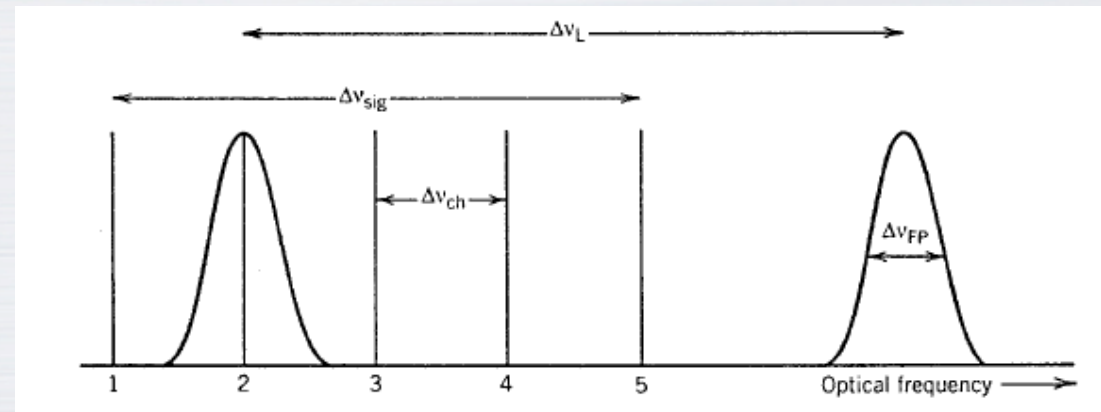
$\Delta\nu_{FP}$: Ancho de banda del filtro.

F : Ajuste fino

R : Reflectividad de los espejos.

$$N < \eta_s \left(\frac{\Delta\nu_L}{\Delta\nu_{FP}} \right) = \eta_s F$$

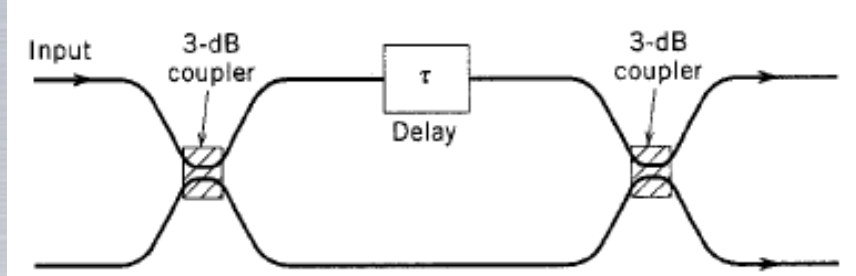
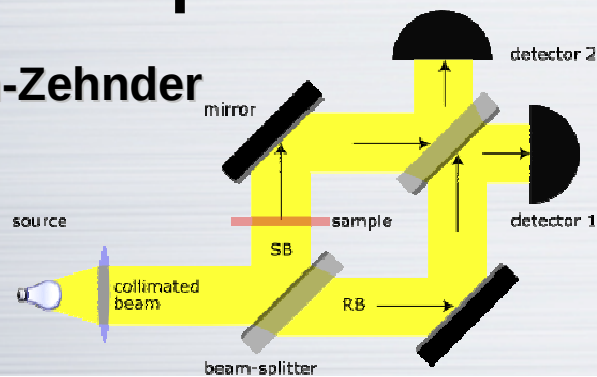
$$F = \frac{\pi\sqrt{R}}{1-R}$$



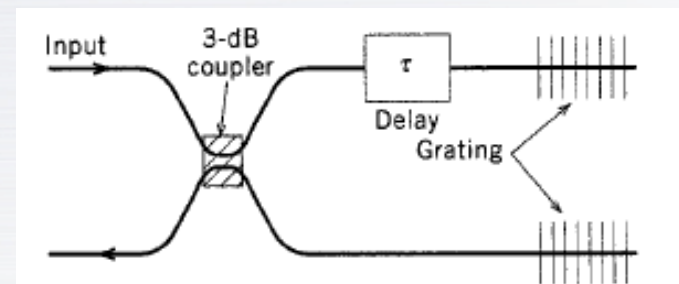
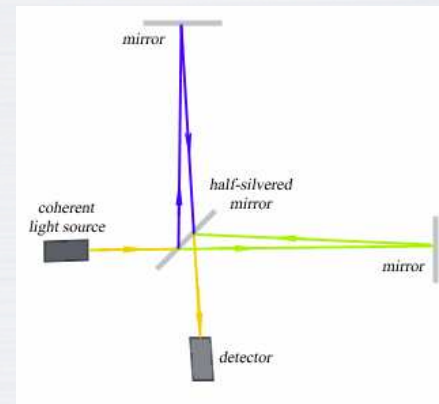
Filtros Sintonizables

Interferencia Óptica

Filtro Mach-Zehnder



Filtro Michelson

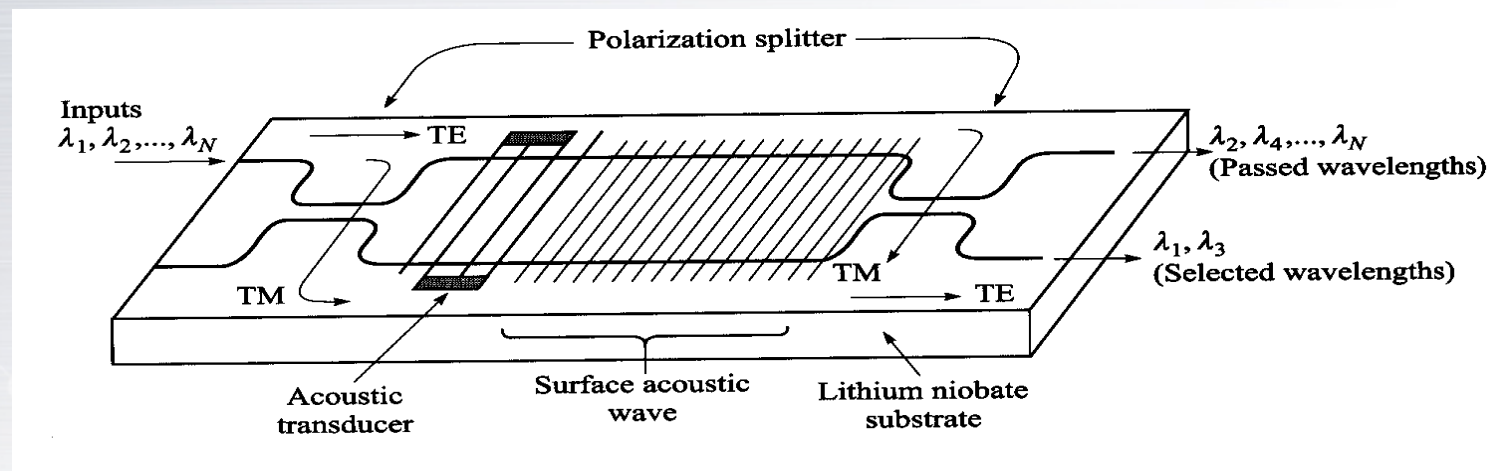


- ❖ Dispositivo usado para determinar el desplazamiento de fase de la señal coherente de entrada.
- ❖ Una cadena en cascada de interferómetros con un delay relativo ajustado adecuadamente actúa como un filtro óptico.

Filtros Sintonizables

Filtros opto-acústicos

- ❖ Aprovecha el fenómeno fotoelástico.
 - ❖ Onda de RF (170MHz en LiNbO_3) produce una onda acústica, que provoca cambios periódicos en índice de refracción (efecto fotoelástico).
 - ❖ Cuando onda TE cumple con condición de fase ($k' = k \pm K_a$), polarización cambia a TM
- k' = número de onda onda TM ; k = número de onda TE; K_a = número de onda acústica

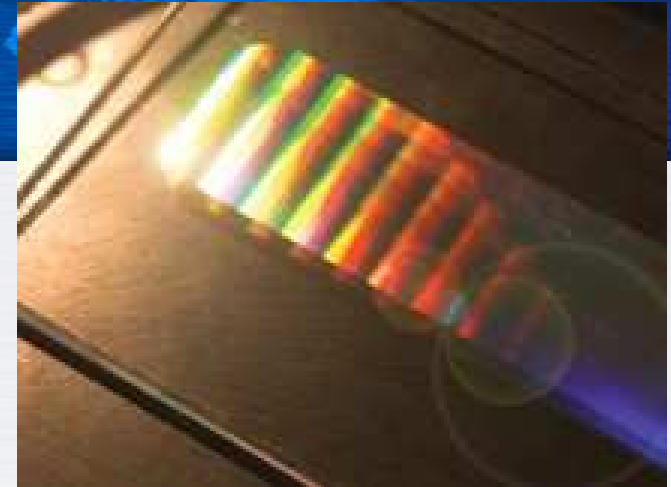


Filtros Sintonizables

Type	Insertion loss	Channel-spacing/ Isolation	Bandwidth (3dB)	Tuning range	Tuning speed	Tuning mechanism
FFP	2 dB	2 nm/30 dB	< 0.5 nm	~ 10 nm	ms	PZT
Liquid crystal FP	3 dB	2 nm/30 dB	< 0.5 nm	~ 50 nm	μs	Crystal orientation
Micromachine FP	1 dB	2 nm/30 dB	< 0.5 nm	~ 60 nm	100 μs	Micromachine
Cascaded MZI	LiNbO ₃ : 19 dB Silica: 1 dB	0.4 nm/22 dB	< 0.2 nm	~ 4 nm	50 ns	Electro-optic
FGB	0.1 dB	1.6 nm/22 dB	< 0.2 nm	< 10 nm	2 ms	Temperature, stretching
AOTF	4 dB	4 nm/30 dB	~ 1.5 nm	> 60 nm	μs	Acousto-optic
EOTF	4 dB	4 nm/25 dB	~ 1.5 nm	~ 50 nm	ns	Electro-optic
AWG tunable configuration	8 dB	0.8 nm/30 dB	< 0.2 nm	~ 40 nm	10 ms	Thermo-optic
Active filter	Possible gain	< 0.1 nm/30 dB	< 0.1 nm	< 5 nm	ns	Current injection
Ring resonator	3 dB	2 nm/30 dB	~ 0.2 nm	25 nm	ms	Temperature

Filtro Pasivo

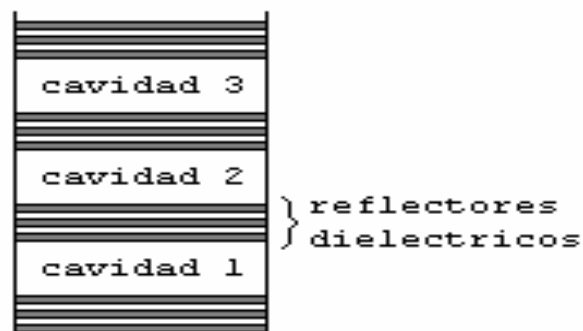
Fiber Bragg Grating (FBG)



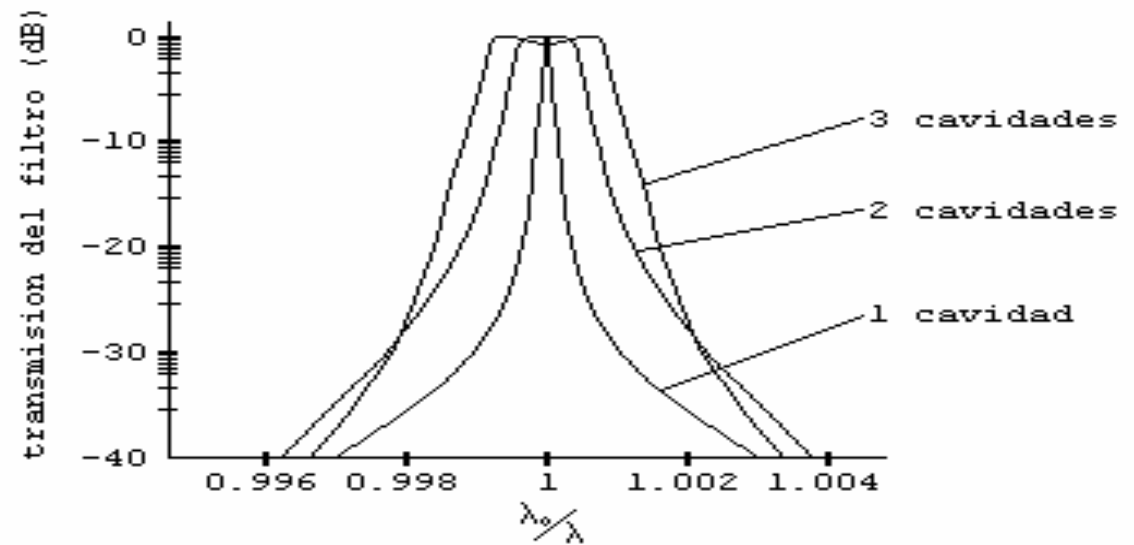
- ❖ Perturbación periódica del índice de refracción en el largo de la fibra.
- ❖ Está formado por núcleo que fue expuesta a un intenso patrón de interferencia óptica, usualmente UV.
- ❖ Una señal incidente en banda estrecha es reflejada hacia atrás debido al dispersamiento sucesivo y coherente de dicha señal debido al reticulado del material.

Filtro Thin-Film

- ❖ También llamado de multicapas dieléctricas. Un filtro de estos con sólo una cavidad, actúa como un filtro pasa-banda, dejando pasar una sola longitud de onda. Al aumentar el número de cavidades (filtros en cascada), pasan más longitudes de onda



(a)



(b)

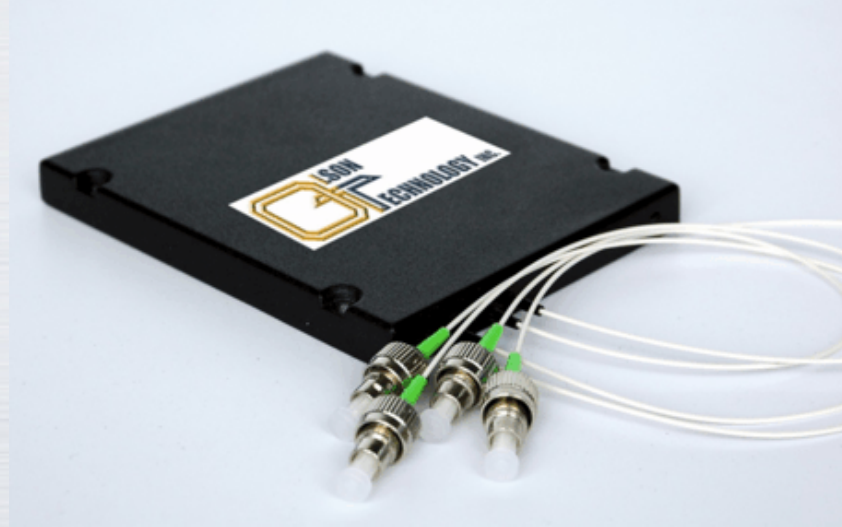
Filtro fijo

Specifications

Standard parameters	Symbol	Value.	Unit
Center Wavelength ⁽¹⁾		1525-1605	nm
FWHM		25-100	GHz
Out of band isolation		30	dB
Insertion Loss	IL	<0.1	dB
Cladding mode losses		0.2-0.5	dB
Polarization Dependent Loss	PDL	<0.05	dB
Reflectivity		90-99	%
In-band chromatic dispersion		50-100	ps/nm
Temperature sensitivity		<1	pm/°C
Fiber Type			
Pigtail length		1	m
Size (length X diameter)		55 X 5.25	mm

(1) Extended wavelength ranges are available upon request

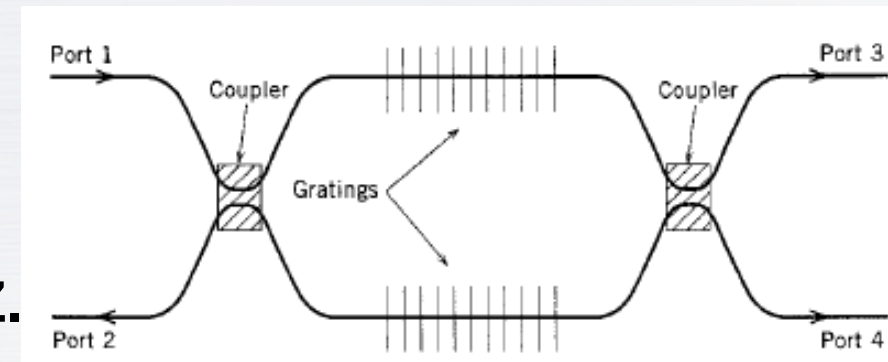
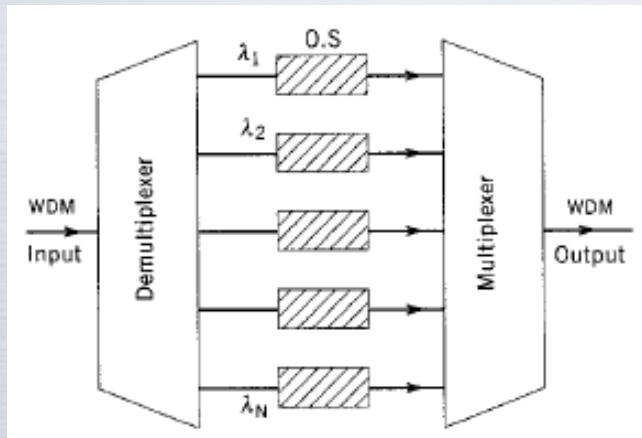
Optical Add/Drop Multiplexer (OADM)



- ❖ Extrae o añade 1 sólo canal y luego al multiplexarlo los combina con el resto de los canales.
- ❖ Existen de dos tipos.
 - Basados en Switch's ópticos
 - Basados en los interferómetros M.Z.

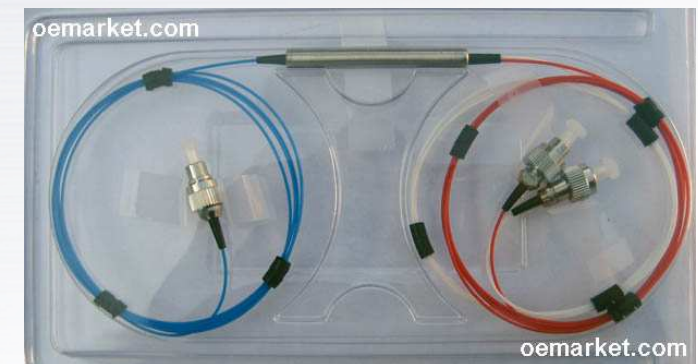
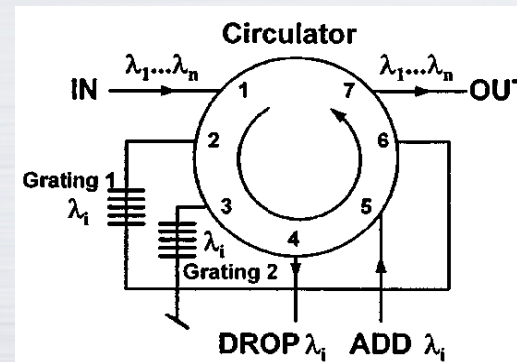
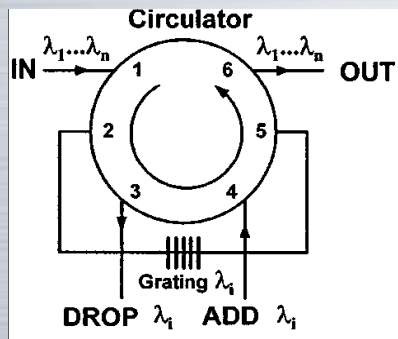
Optical Add/Drop Multiplexer (OADM)

❖ Basados en Switch's ópticos



- **Basados en los interferómetros M.Z.**
- Similares a los filtros Mach-Zehnder
- Utilizan coplas resonantes
- Resuenan en cierta longitud de onda, enviando la señal hacia un puerto, mientras que el resto de las señales los transfiere hacia otros puertos.

Circuladores



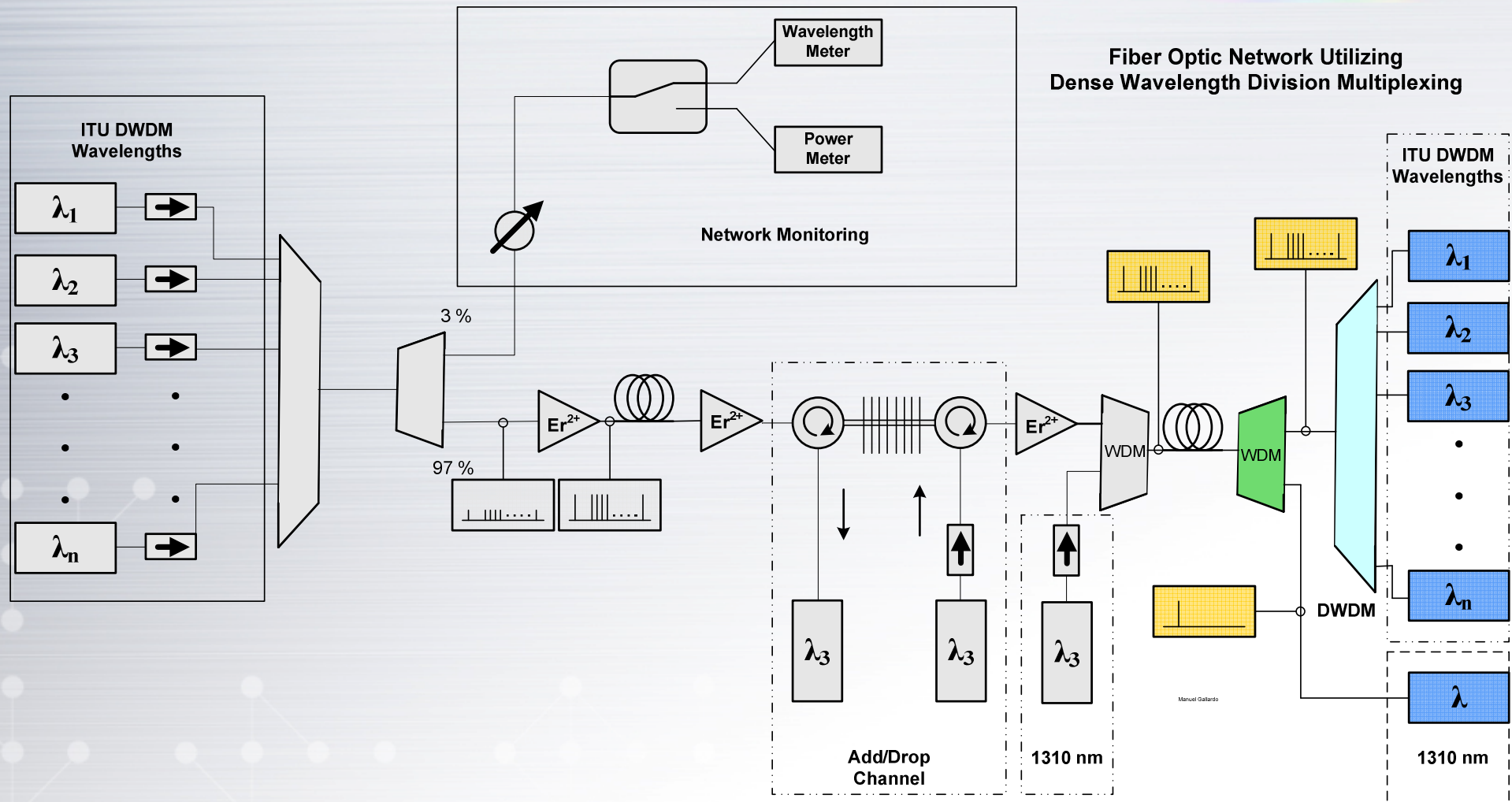
- ❖ Son de tipo add/drop
- ❖ Pueden ser usados para separar potencias ópticas que viajan en sentidos opuestos.

Circuladores



Item	Port	Min	Max	Conditions
Insertion Loss	P1 – P2		0.7dB	@23degC, 1550nm
	P2 – P3		0.9dB	To, 1530 – 1565nm
Polarization Dependent Loss	P1 – P2		0.10dB	To, 1530 – 1565nm
	P2 – P3			
Isolation	P2 – P1	50dB		@23degC, 1550nm
	P3 – P2	40dB		To, 1530 – 1565nm
Polarization Mode Dispersion	P1 – P2 P2 – P3		0.1ps	To, 1530 – 1565nm
Directivity	P1 – P3 P3 – P1	50dB		To, 1530 – 1565nm
Return Loss	All Port	50dB		To, 1530 – 1565nm
Max. Incident Power	P1, P2		500mW	1550nm
Fiber type/ Length	Corning SMF28 CPC6/ 1m min.			
Connector Type	None			

Esquema Receptor



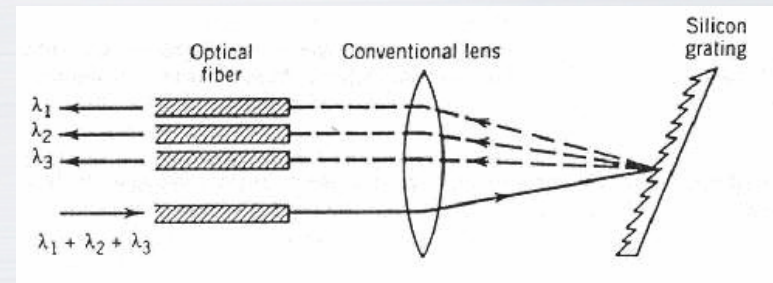
Demultiplexadores

- ❖ Criterios de evaluación de los Demux
 - Insensitivo a los cambios de polarización de la señal.
 - Proveer de una separación de canal, evitando la fuga de dicha señal hacia canales adyacentes, en especial en sistemas DWDM.

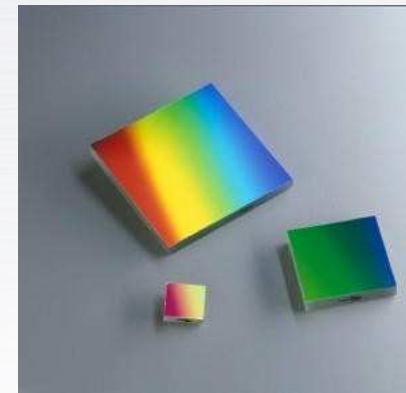
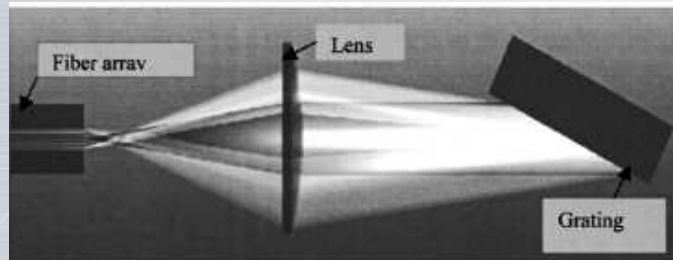
- ❖ Los demux se clasifican en 2 categorías.
 - Basados en difracción
 - Basados en interferencia.

Demultiplexadores

Basados en difracción



- ❖ La señal de entrada enfoca en el reflector de la rejilla, separándolas espacialmente en distintas longitudes de onda.

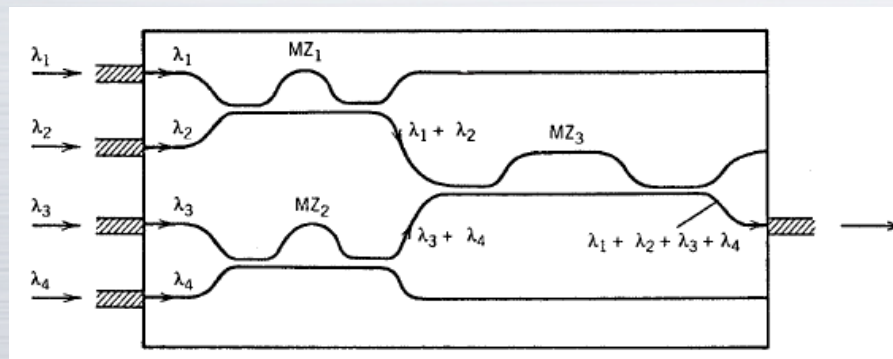


Problema

- ❖ La característica de banda de paso depende de las dimensiones de la entrada y salida de la fibra.

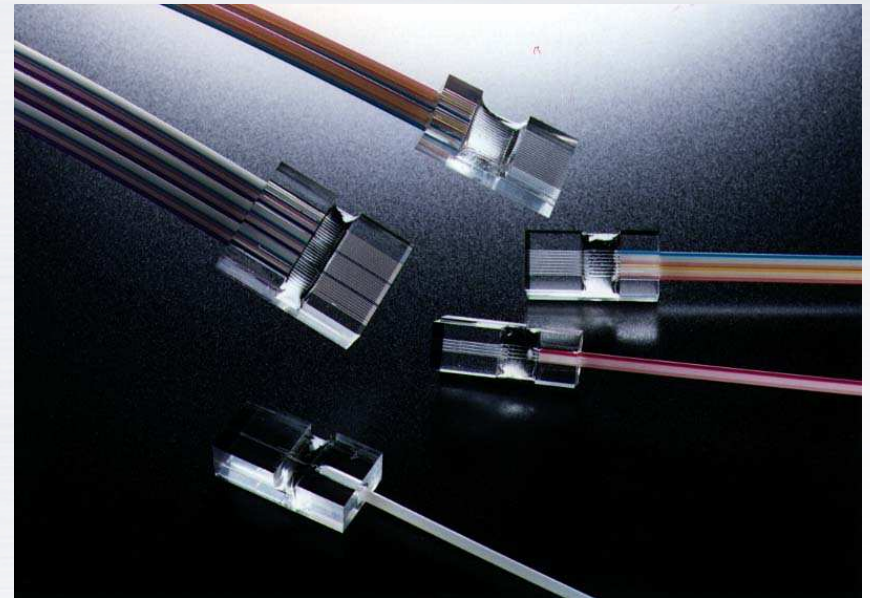
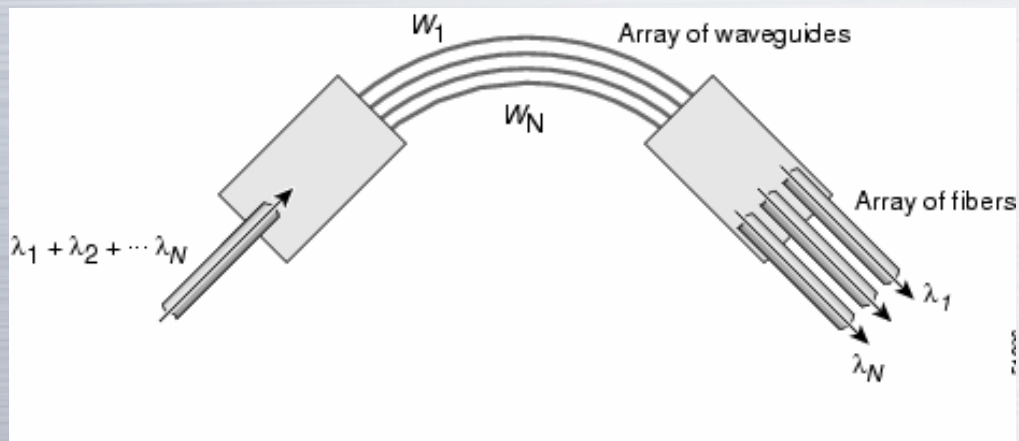
Demultiplexadores

❖ Basados en interferencia



❖ Utilizan el mismo principio que el interferómetro M.Z.

Arrayed Waveguide Gratings (AWG)

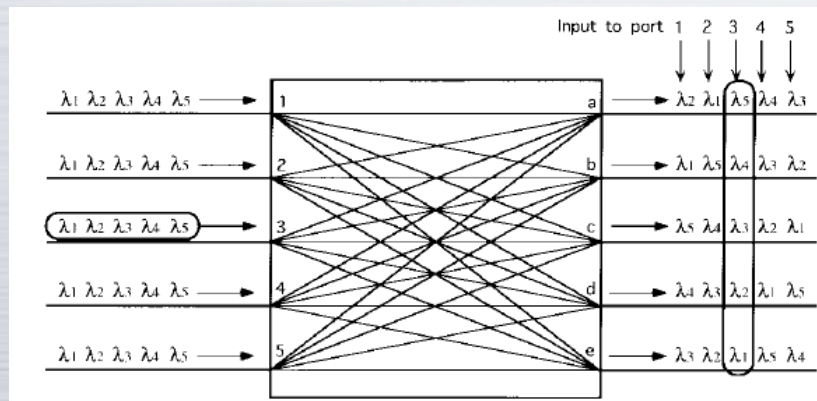


- ❖ También conocidos como demultiplexor de fase.
- ❖ La señal WDM ingresa a una de las GGOO y se propaga a través de la región de la región de propagación libre, experimentando distintos cambios de fase.

Arrayed Waveguide Gratings (AWG)

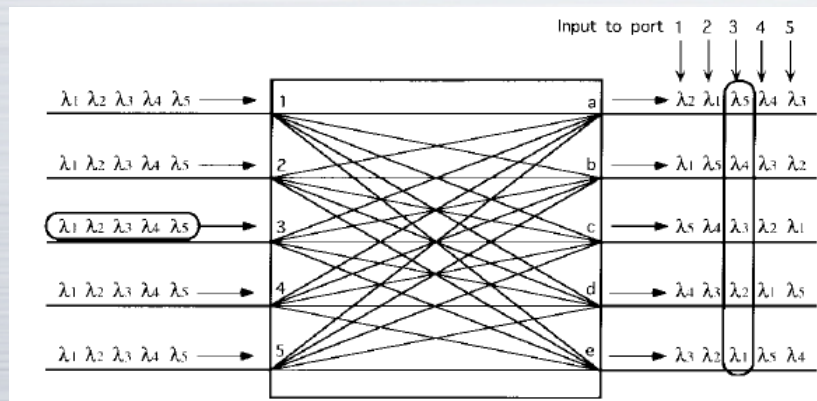
Item		Result			n
		Max.	Avg.	σ	
Center wavelength offset (nm)		0.029	0.009	0.0057	496
Insertion loss at λ_n (dB)		4.17	3.14	0.332	496
Ripple at $\lambda_n \pm 0.1$ nm (dB)		1.23	0.82	0.093	496
PDL at λ_n (dB)		0.34	0.06	0.036	496
Adjacent crosstalk (dB)	$\lambda_n \pm 0.7$ nm	-25.3	-33.4	3.78	496 x 2=992
	$\lambda_n \pm 0.8$ nm	-27.2	-35.0	3.29	496 x 2=992
Non-adjacent crosstalk at λ_n - 0.8 nm $\leq \lambda \leq \lambda_n + 0.8$ nm (dB)		-25.0	-33.8	3.78	496 x 2=992
Return loss at λ_n (dB)	In	42.4	51.6	2.06	31 x 16=496
	Out	42.4	51.6	2.05	496

Routers ópticos



- Demultiplexa cíclicamente la señal que ingresa por uno de los N puertos hasta llegar a los puertos de entrada.
- Es de naturaleza estática y no puede ser reconfigurado.
- Los routers que usan típicamente la configuración Arrayed Waveguide Gratings (AGW)

Routers ópticos



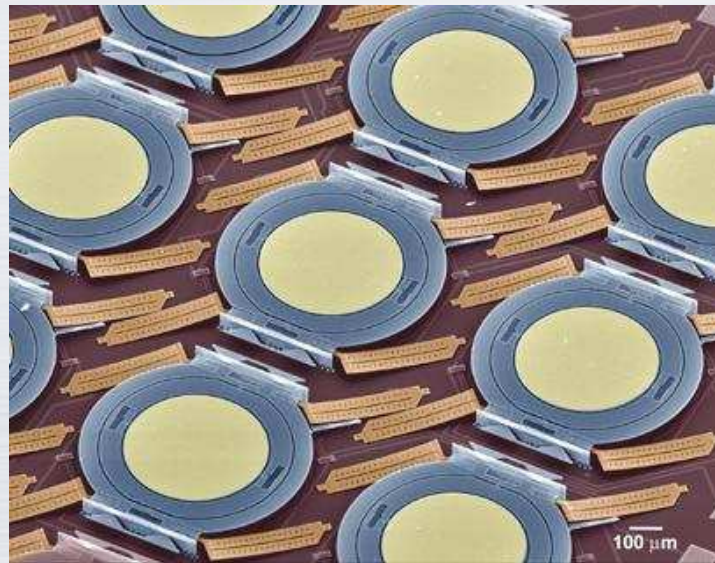
- Demultiplexa cíclicamente la señal que ingresa por uno de los N puertos hasta llegar a los puertos de entrada.

Table 3. ATM Optical Specifications

Fiber Interface	Output Power		Input Power		Wavelength	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
SI	-15.0 dBm	-8.0 dBm	-28.0 dBm	-8.0 dBm	1270 nm	1380 nm
MM	-20.0 dBm	-14.0 dBm	-14.0 dBm	-26.0 dBm	1270 nm	1380 nm

- Es de
- Los routers usan Array

Routers ópticos



“AT THE HEART OF LUCENT TECHNOLOGIES WAVESTARTM) LAMBDA ROUTER

array of microscopic mirrors, each able to tilt in various directions, to steer light. The micro-mirrors route information in the form of photons, or light pulses, to and from any of 256 input/output optical fibers.”

<http://www.bell-labs.com/news/1999/november/10/1.html>

Receptores ópticos

❖ Existen 2 tipos de fotodiodos receptores

- PIN
- Avalanche Photodiode (APD)



❖ PIN

- Fotodiodo construido de material p , i intrínseco y material n

❖ APD

- Es un fotodiodo que exhibe una amplificación interna de la fotocorriente gracias a la ionización de impacto

Receptores ópticos

Parameter			Unit	Value		
				Min.	Typical	Max.
Bit Rate				100Mb/s		2.5Gb/s
Output Power Level Per Channel			dBm	-5		+3
Extinction Ratio			dB	8.2		
SMSR			dB	30		
Center Wavelength			nm	ITU-T G.694.2 defined wavelength		
Wavelength Temperature Drift			nm/°C	0.08		
Spectral Width (-20dB)						1
Input Power level	PIN	100 / 155Mb/s	dBm	-37		-3
		1.25Gb/s		-21		-3
		2.5Gb/s		-18		-3
	APD	2.5Gb/s		-28		-8
Receiver Optical Wavelength Range			nm	1100		1650
Operating/Storage Temperature			°C	0 ~ +50/-40 ~ +85		
Power Supply			V	220 AC or -48 DC		
Power Consumption			W/ch	5		
Package			mm	19 inch 1U rack mount: 483x255x44, 19inch 4U rack mount: 483x290x178		

Conversores de longitud de onda



- Convierten una señal de entrada de una longitud de onda λ_1 a otra señal de longitud de onda λ_2

Ventajas

- ❖ Fácil de implementar
- ❖ Insensibilidad de polarización
- ❖ Amplificación neta.

Desventajas

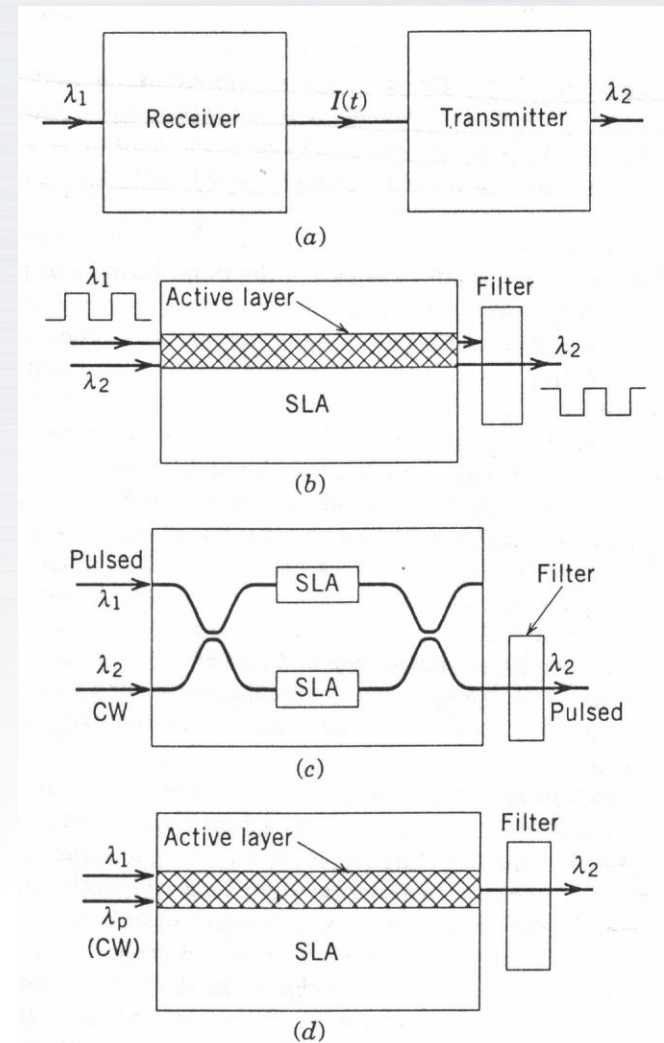
- ❖ Transparencia al bit rate y formato de los datos
- ❖ Limitación de velocidad
- ❖ Alto costo \$\$

Real Time Monitoring Of Optical Link Status:

parameter /ch		unit	155Mb/s	622Mb/s	1.25Gb/s	2.5Gb/s
Receiver Wavelength Range		nm	Short wavelength: 760~870; Long Wavelength: 1100~1600;			
Input/Output Mode			Multimode, Single Mode Optional			
Distance Classification		km	A: Short Distance (≤ 15); B: Medium Distance (≥ 40); Long Distance (≥ 80);			
Receiver Sensitivity		dBm	≤ -26	≤ -26	≤ -24	≤ -20
Receiver Overload Point		dBm	≥ -3	≥ -3	≥ -3	≤ 0
Output Wavelength		dBm	Typical Value: 850, 1310, 1550			
Transmitter Power	terminal	dBm	Transmitter-Receiver Power determined by selected optical modules			
	terminal					
			-7~+2	-7~+2	-7~+2	-7~+2

Conversores de longitud de onda

- A) Regenerador Optoelectrónico.
- B) Amplificador Láser de ganancia saturada.
- C) Amplificador Láser con modulación de fase.
- D) Amplificador Láser con FWM.



REFERENCIA

- ❖ <http://www.fiber-optics.info/>
- ❖ - Presentacion: Optical Components for Communication System: Ren Hailan October, 2001.
- ❖ - Presentación: Polarizacion: Javier Mateo Gascon, Depto Ingeniería Electrónica Zaragoza 2003.
- ❖ - Presentaciones años anteriores ELO 357
- ❖ - Agrawal, Govind : Fiber-Optic Communication Systems.
- ❖ <http://www.furukawa.co.jp/english/index.htm>



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA



Gracias !