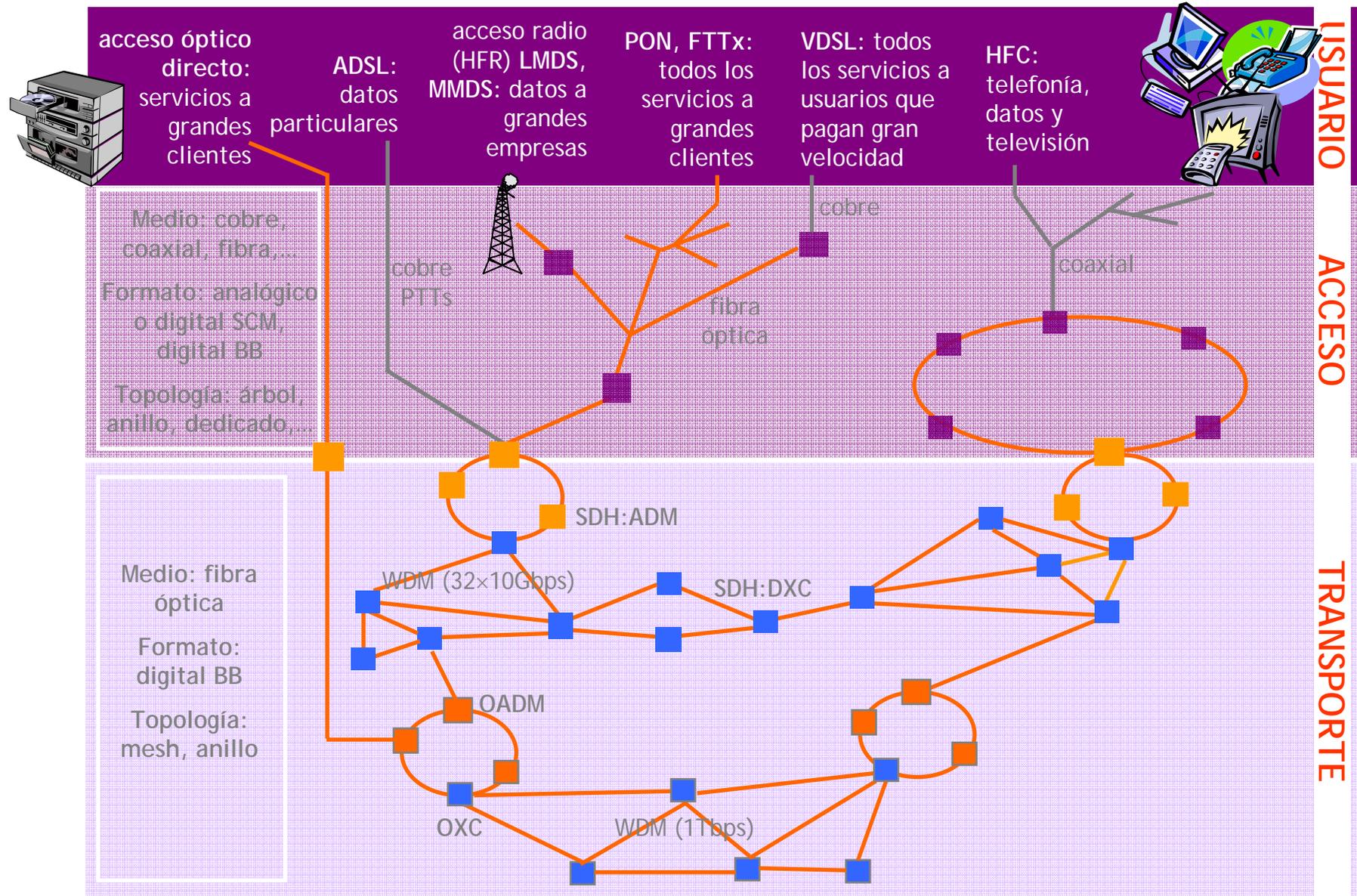
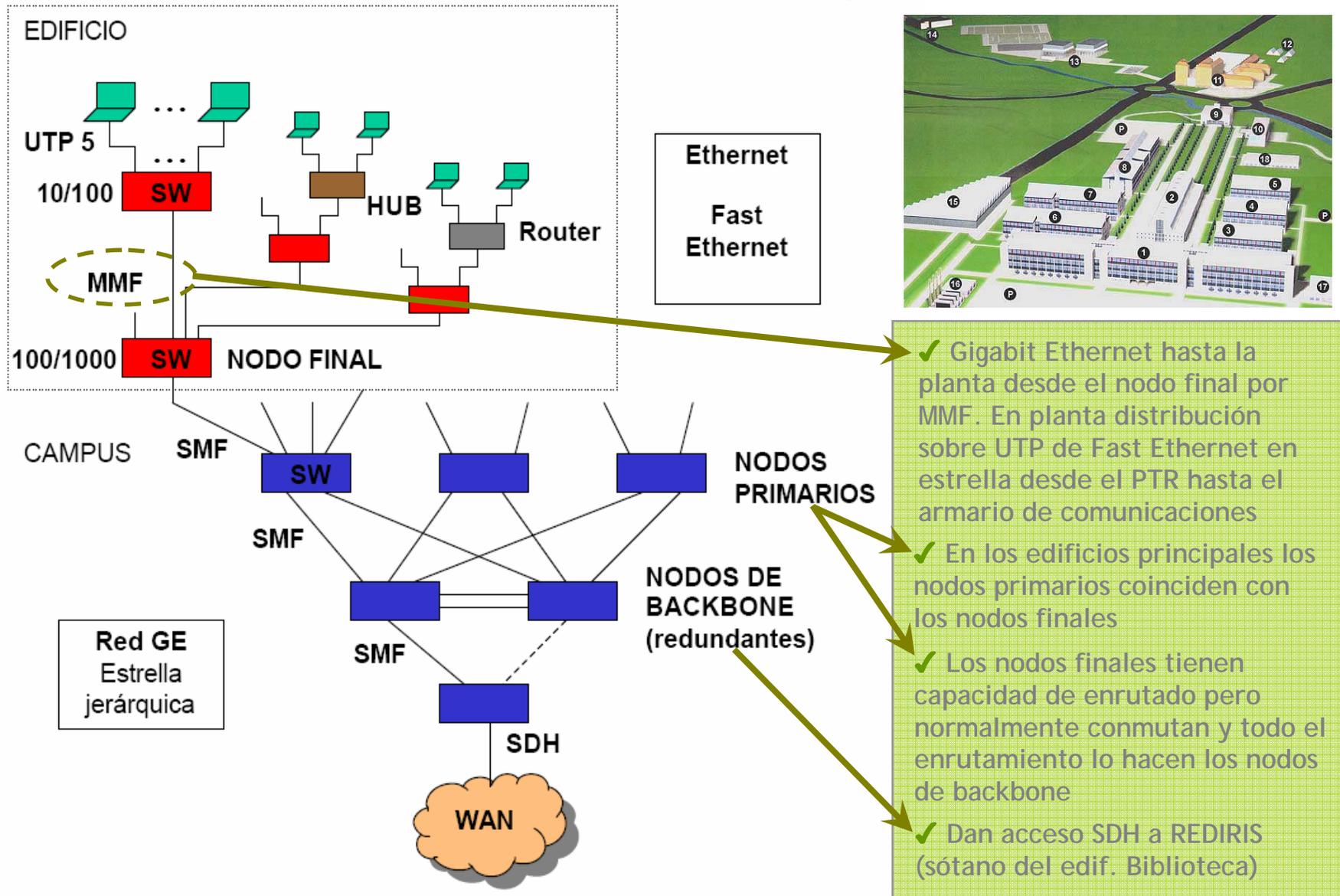


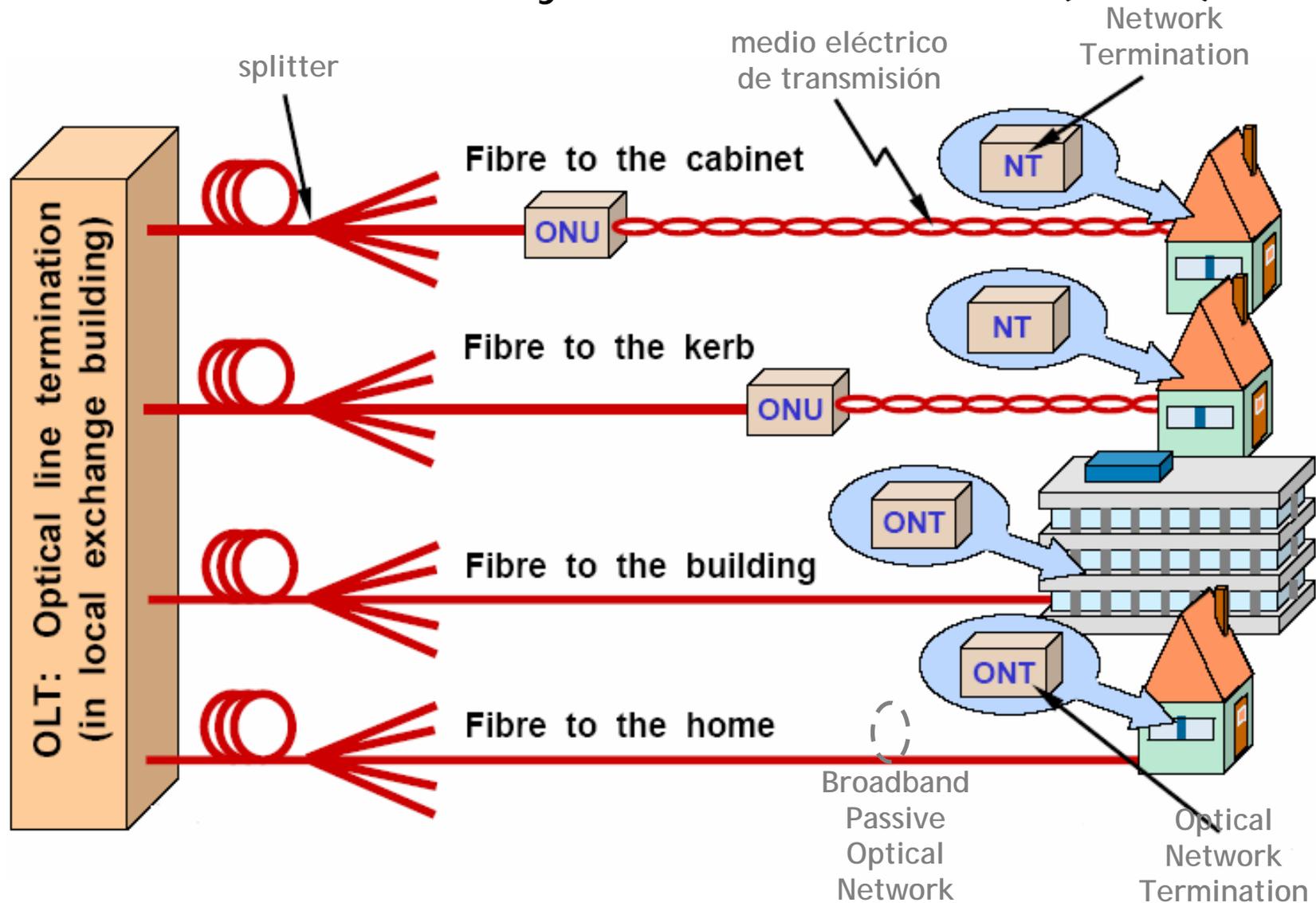
La asignatura Redes de Fibra Óptica / Optical Networks



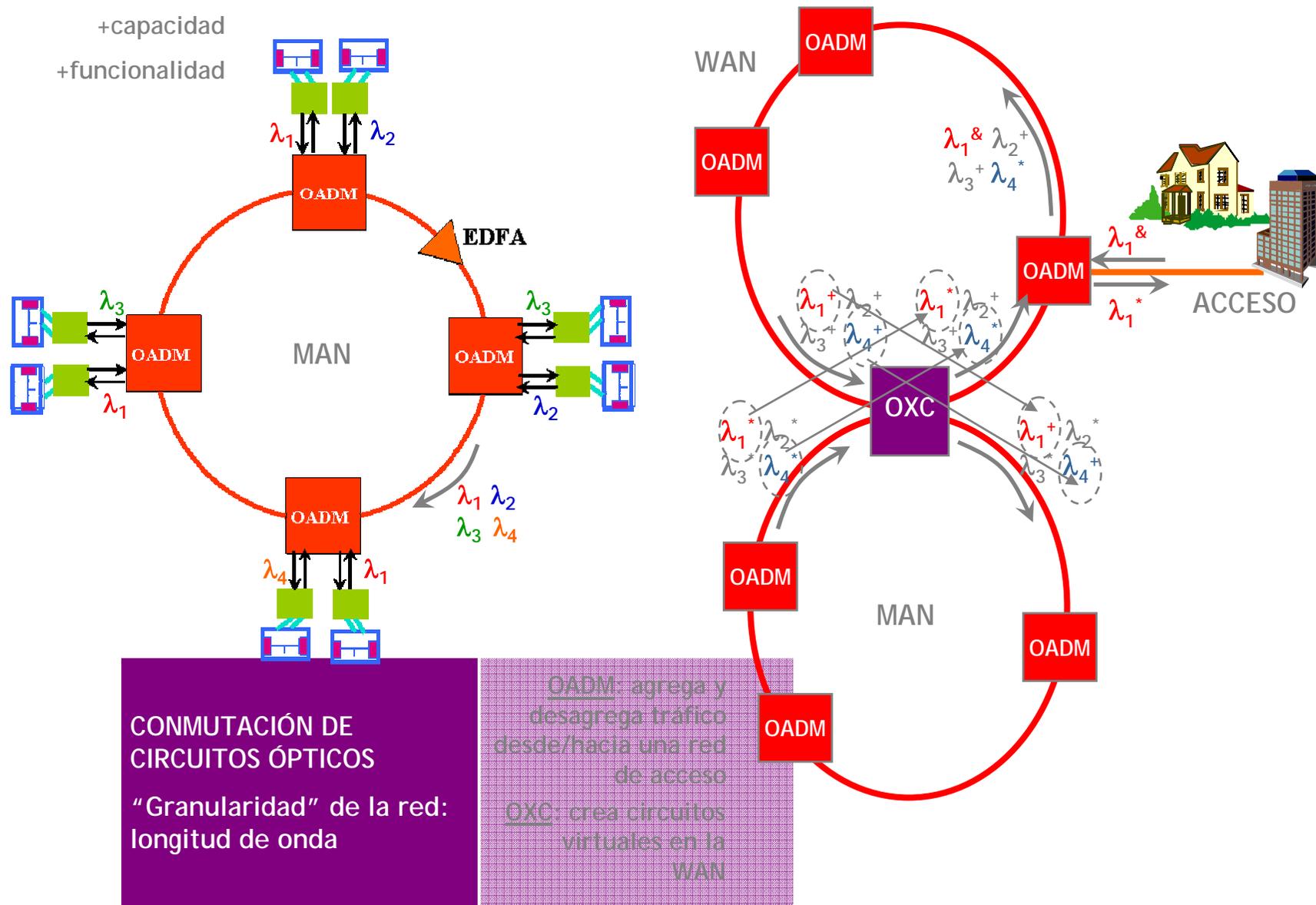
Bloques temáticos básicos: redes de área local basadas en fibra óptica



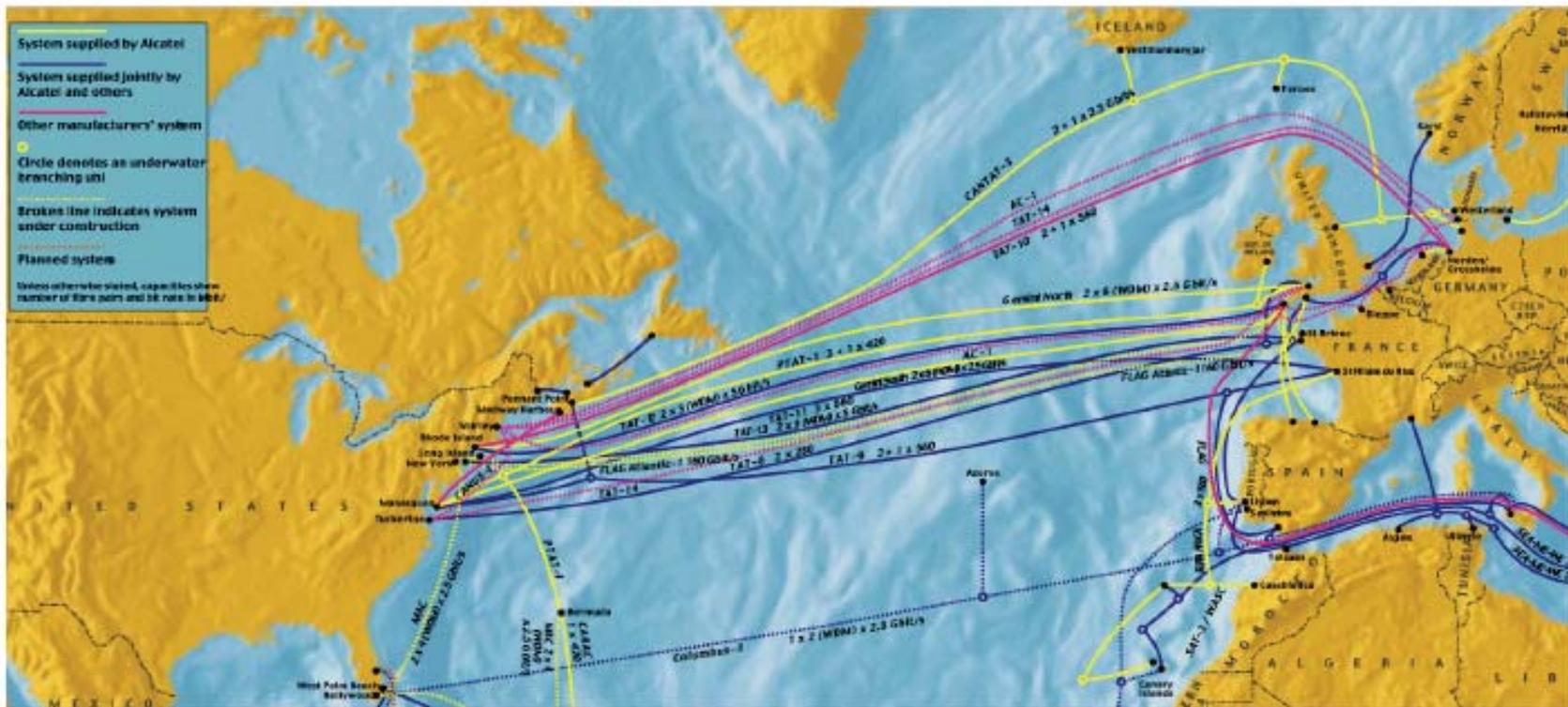
Bloques temáticos básicos: redes ópticas pasivas de acceso -PON- y "Fibre To The x" (FTTx)



Bloques temáticos básicos: redes MAN y WAN SDH/WDM y conmutación óptica de circuitos



Bloques temáticos básicos: Enlaces submarinos



En el Atlántico Norte hay 22 cables (no todos de FO).

Desde principios de los 80 sólo se instalan y usan los de fibra (TAT-7 y siguientes), que emplean transmisión digital

Desde el TAT-11 (mediados de los 90) incluyen EDFAs

Desde el año 2000 (TAT-14) incluyen WDM ➔ el TAT-14 tiene una capacidad equivalente a 10 millones de circuitos de voz, gracias a 4 pares de FO, 16 canales WDM por fibra y 10 Gbps por canal

Organización básica de la asignatura

→ 4 ECTS (100h en total de trabajo para el alumno) -> 2 presenciales (1 teórico + 1 práctico) + 2 no presenciales (1 de trabajo individual y en grupo + 1 de proyecto en grupo)

→ 1 ECTS teórico -> T&M en redes ópticas, redes ópticas LAN, acceso óptico, redes ópticas MAN y WAN, redes submarinas, estrategia de operadores europeos en redes ópticas (exposiciones de profesores y de alumnos)

→ 1 ECTS práctico -> visita por los laboratorios de comunicaciones ópticas del Dpto., experimentación con equipamiento de redes de fibra óptica, simulación de redes ópticas de acceso y de transporte (OPTSIM)

Organización básica de la asignatura

→ 4 ECTS -> 2 presenciales (1 teórico + 1 práctico) + 2 no presenciales (1 de trabajo individual y en grupo + 1 de proyecto en grupo)

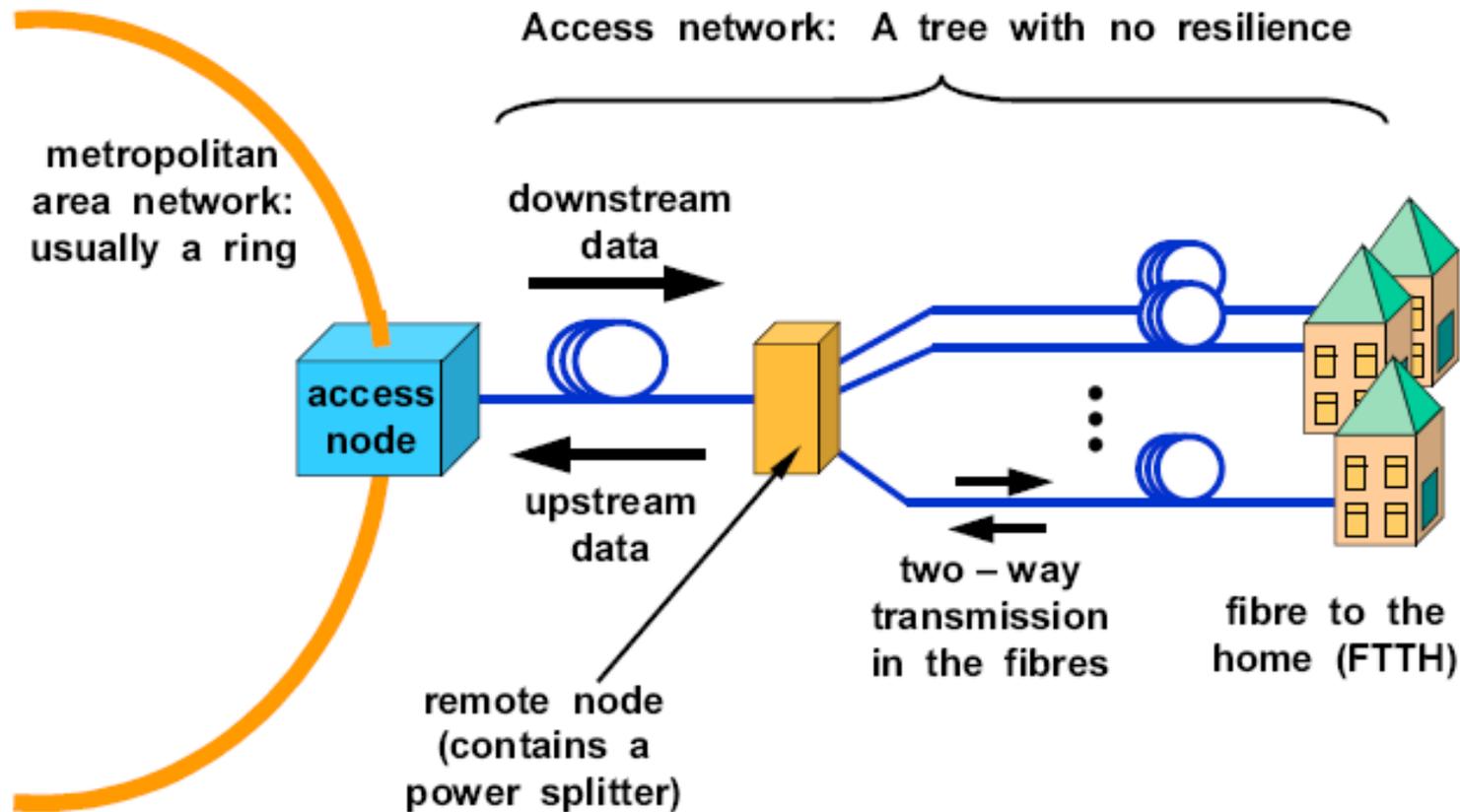
→ 1 ECTS de trabajo individual y en grupo-> estudio individual de los contenidos de clase, estudio de caso en grupo (red óptica de datos UPNA), estudio de la situación del despliegue del acceso por regiones del mundo/países, estudio de caso (estrategia de BT en redes ópticas) y redacción de ensayo

→ 1 ECTS de proyecto de asignatura -> tutorizados por profesores: el coste del despliegue de la fibra hasta el hogar (Mik/DB), redes de transporte con multiplexación por división en el código OCDMA (MJE), estrategias de recuperación ante fallos de redes ópticas de acceso (PU), tendencias hacia el acceso óptico del futuro (Mik/DB)

Toda la información sobre las actividades y su calendario en la página de la asignatura en el Aulario Virtual. Descargar la Guía Docente de la asignatura e imprimir. **NO CLASES los martes. Comunicación con Paul exclusivamente en inglés.**

Proyectos de la asignatura

Resilience in Optical Access Networks (Paul)



Información: en revistas técnicas, no en internet, no en libros de texto. Se trata de encontrar información muy reciente

Proyectos de la asignatura

The future of Optical Access (Mikel & David)

Debates actuales en el tema del acceso óptico:

AON vs. PON -> AON permite reparto inteligente de la capacidad de la red por usuario

EP2P vs. PON -> EP2P tiene mayor capacidad por hogar que las PON

GPON vs. EPON -> dependiendo de la zona del mundo, cada uno dice que su estándar es el mejor

Vídeo en acceso: RF overlay vs. IPTV

¿Quién apoya qué postura en estos debates y por qué? En estas condiciones, ¿cómo será el acceso óptico del futuro?

Información: revistas técnicas de divulgación y otros sitios en Internet

Proyectos de la asignatura

Optical Access: is cost still the sticking point ? (Mikel & David)

Altos costes de la infraestructura (80% de los costes totales) dependientes de múltiples factores: tipo de despliegue de la fibra (aéreo o en canalizaciones subterráneas), distancia de las centrales locales a los usuarios, edificios multiusuarios u hogares individuales, precio de la mano de obra especializada,...

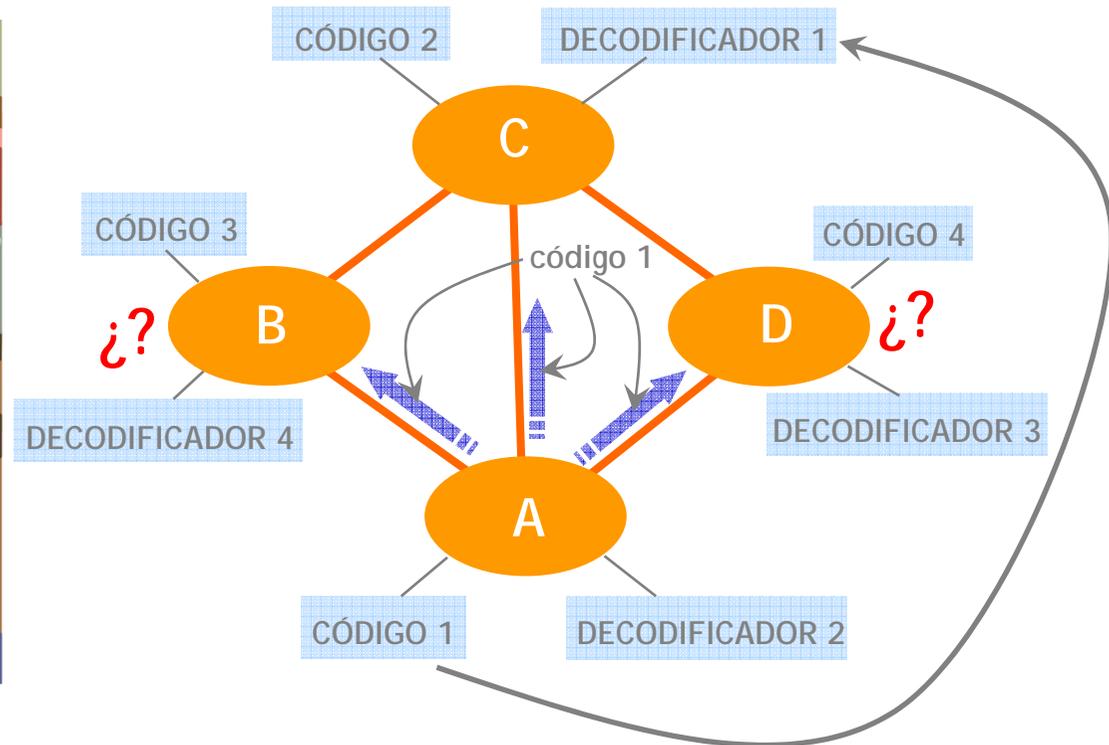
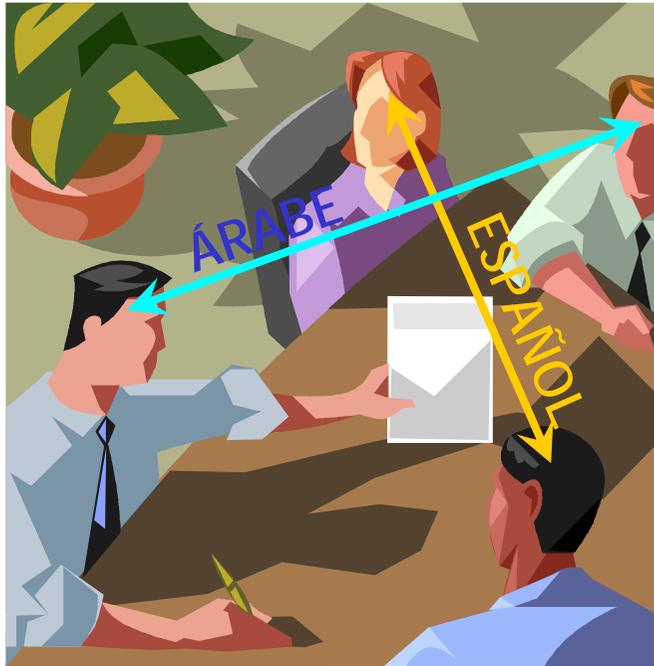
Pero se han propuesto numerosas técnicas para abaratar el despliegue de la FTTH, ¿cuáles? Hay un montón de casos de estudio en la web de la asignatura y en Internet que puede ayudarte a identificarlas -> Los costes van bajando...

¿Es el coste a día de hoy o podría serlo en breve el verdadero freno de la adopción masiva de la FTTH? ¿Qué otras razones explican la adopción lenta sobre todo en algunos continentes o países?

Información: revistas técnicas de divulgación y otros sitios de Internet

Proyectos de la asignatura

Network Experiences in Optical Code Division Multiplexing Access



Optical Code Division Multiple Access (OCDMA)

- ✓ Pretende dar solución al acceso a una red a usuarios que quieren transmitir a alta velocidad simultáneamente
 - ✓ Frente a WDM tiene la ventaja de que no necesita sus dispositivos tan sensibles en λ
- ✓ Frente a la multiplexación TDM eléctrica usando un solo canal óptico tiene la ventaja de que no necesita su electrónica de alta velocidad
- ✓ Está inspirada en las técnicas CDM tan extendidas en los sistemas de comunicaciones celulares digitales

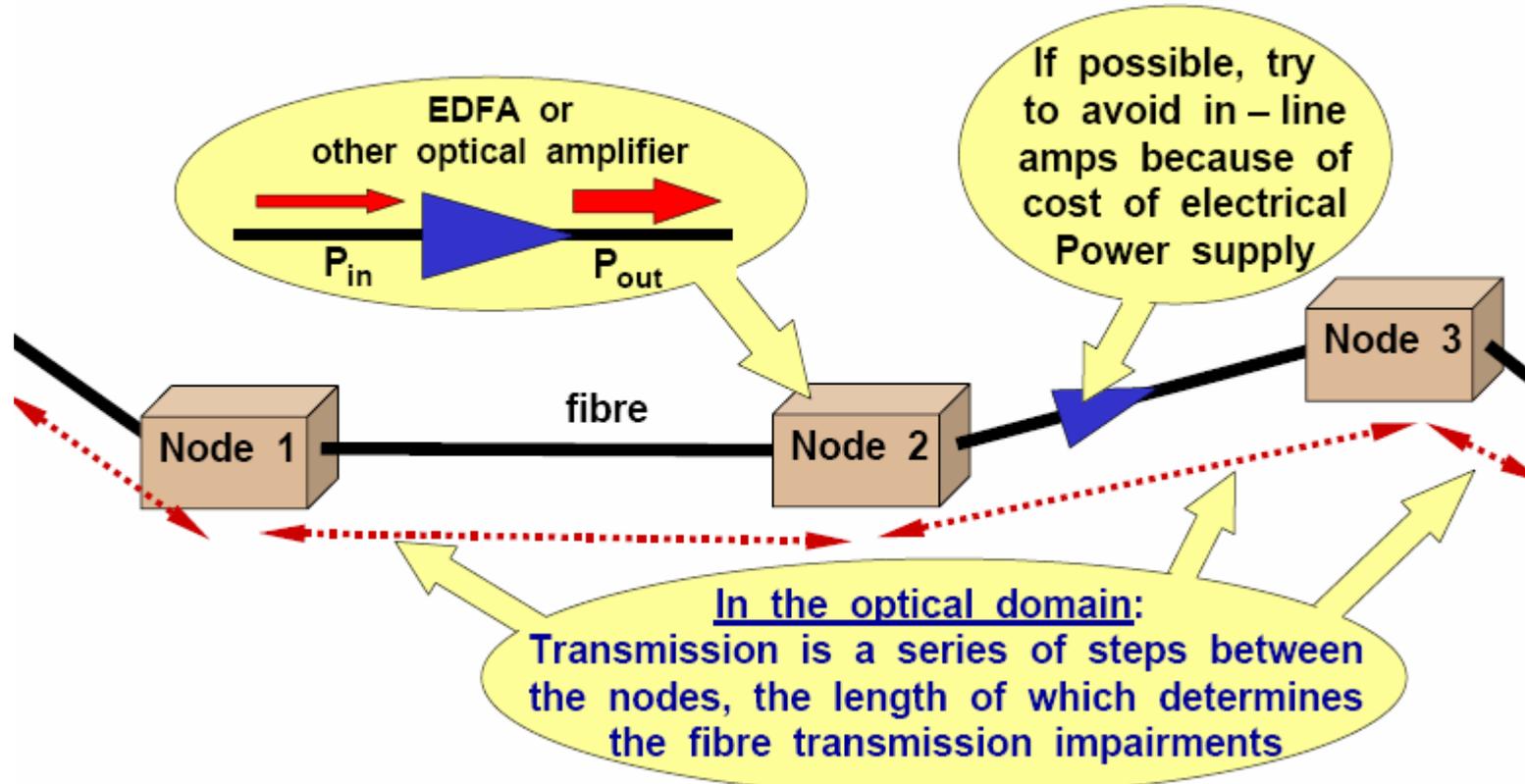
Objetivos:

Redes ópticas OCDMA -> descripción de principios de funcionamiento y ventajas frente a TDM y WDM, relación con CDMA de RF, tipos de estrategias OCDMA, etc.

Bancos de prueba -> descripción de casos de estudio (programa OCDMA de DARPA, Deutsche Telekom en Alemania Este, Alcatel en Stuttgart, otros)

Información -> revistas técnicas e Internet

Instrumentación utilizada en redes de fibra óptica: necesidad de instrumentación avanzada

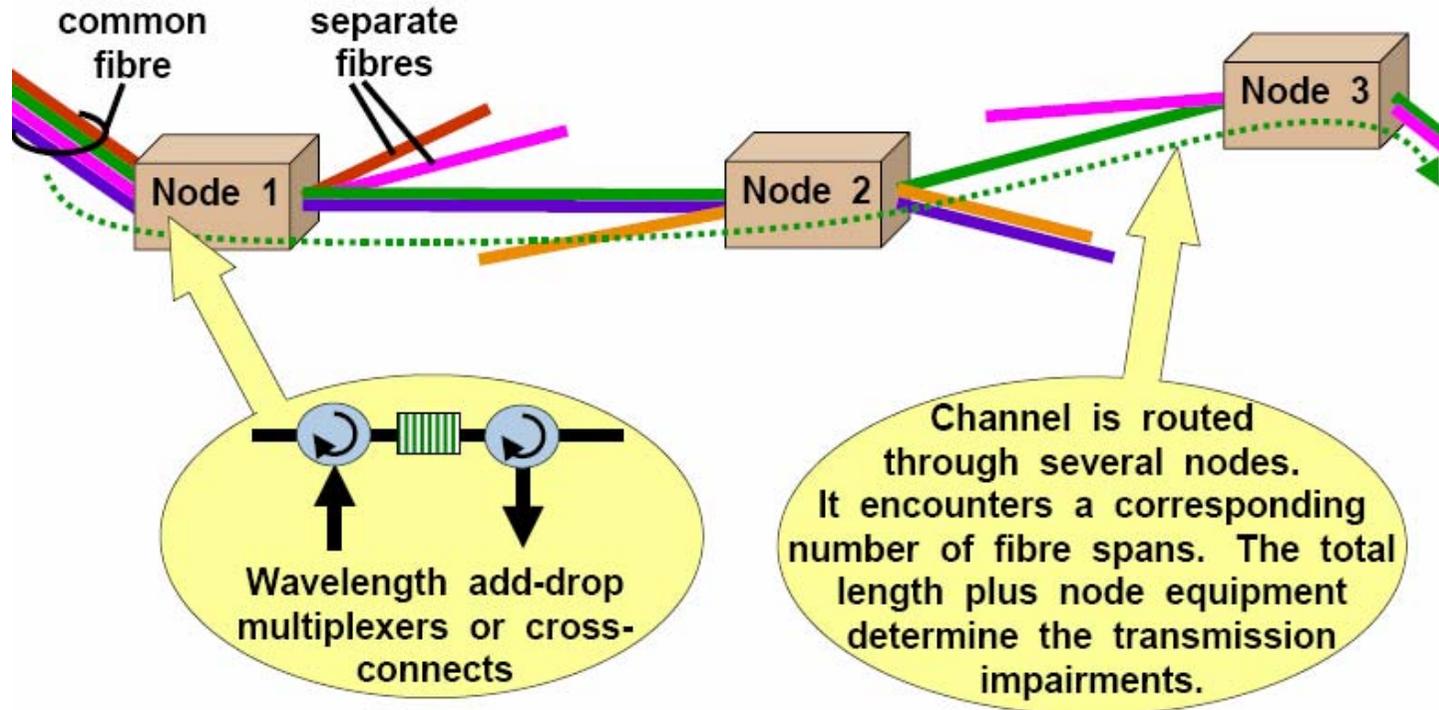


Popularización de sistemas con amplificación óptica (EDFA)

-Exigencias:

Los EDFAs, como todo amplificador, introduce ganancia pero también ruido. La ganancia no es cte. con la longitud de onda. Diseño y caracterización de filtros ecualizadores de la ganancia y determinación de la figura de ruido (NF) por canal

Instrumentación utilizada en redes de fibra óptica: necesidad de instrumentación avanzada



Sistemas WDM con separación de canales de 50 ó 100 GHz (rejilla ITU)

-Exigencias:

fuentes muy estables en long. de onda y potencia óptica (envejecimiento, factores medioambientales,...) y equipamiento preciso para determinar esta estabilidad
Determinación de potencia, long. de onda y OSNR para cada canal óptico "en vivo" en diversos ptos. de la red durante la operación de la misma
Crosstalk en la fibra y componentes intermedios (medida de crosstalk de componentes multilanda como OADM y OXC). Estas medidas suelen requerir un gran rango dinámico
Etc.

Instrumentación utilizada en redes de fibra óptica: necesidad de instrumentación avanzada

Aumento de la velocidad de transmisión en sistemas digitales

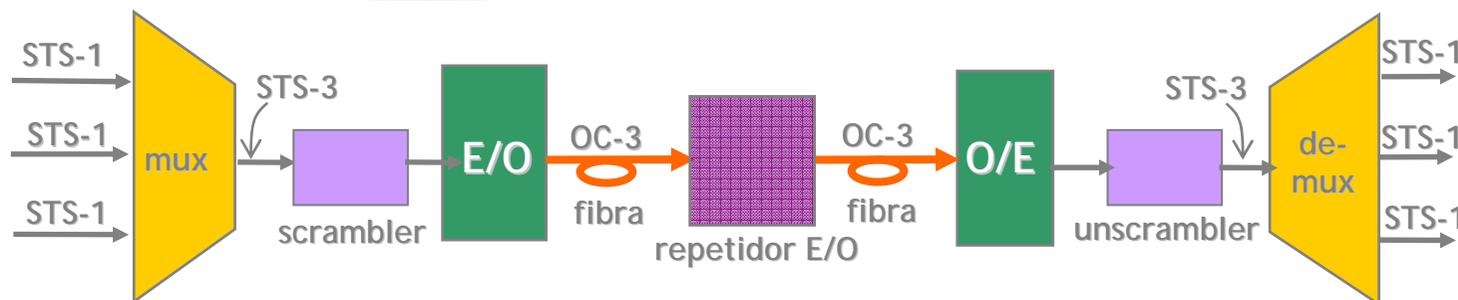
SONET		SDH	Velocidad (Mbps)	
Eléctrico	Óptico	Óptico	Total	Datos
STS-1	OC-1		51.84	50.112
STS-3	OC-3	STM-1	155.52	150.336
STS-9	OC-9	STM-3	466.56	451.008
STS-12	OC-12	STM-4	622.08	601.344
STS-18	OC-18	STM-6	933.12	902.016
STS-24	OC-24	STM-8	1 244.16	1 202.69
STS-36	OC-36	STM-12	1 866.24	1 804.03
STS-48	OC-48	STM-16	2 488.32	2 405.38
STS-96	OC-96	STM-32	4 976.64	4 810.75
STS-192	OC-192	STM-64	9 953.28	9 621.50
STS-255	OC-255	STM-85	13 219.20	12 778.56
STS-768	OC-768	STM-256	39 813.12	39 107.02

capacidades de transmisión estandarizadas por SDH/SONET

SONET
(Synchronous Optical Network)
Norteamérica

SDH
(Synchronous Digital Hierarchy)
Europa y Japón

Es el estándar de las redes de transporte de fibra óptica

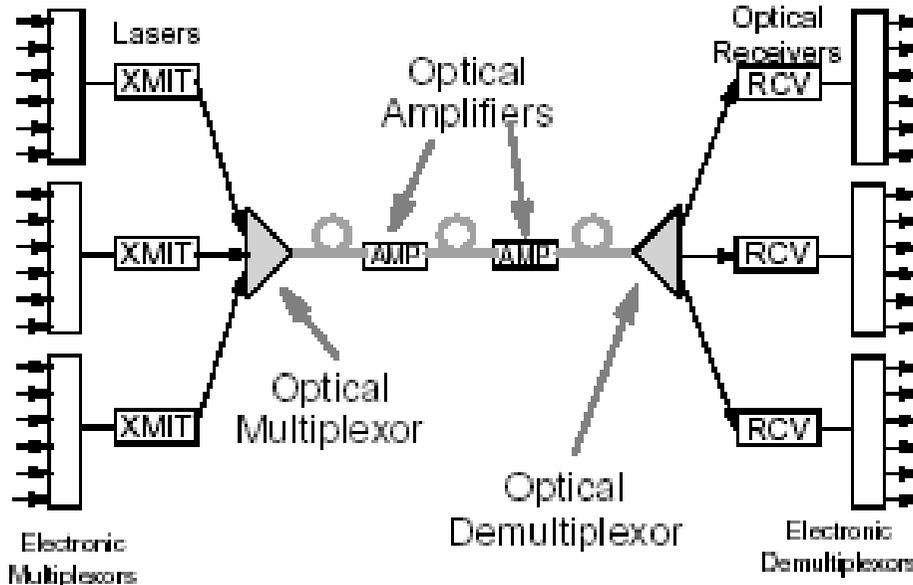


Exigencias: determinación de la dispersión (cromática, por modo de polarización,...) de fibra y componentes de fibra. Anchura de línea de láseres. Ancho de banda de modulación de fuentes y receptores ópticos.

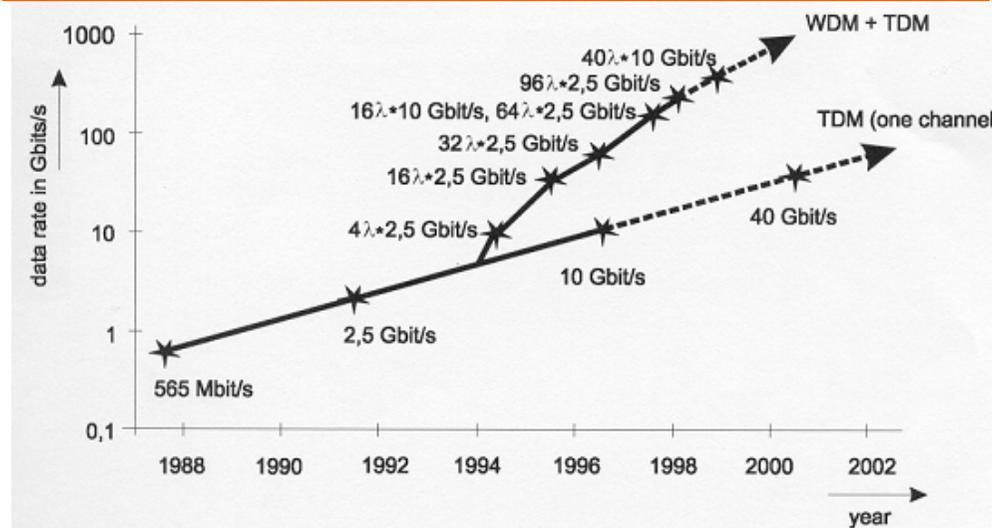
Medición de la tasa de error o BER

WDM+TDM

Esquema genérico WDM+TDM eléctrico



Vel. de transmisión con TDM eléctrico vs. WDM+TDM eléctrico

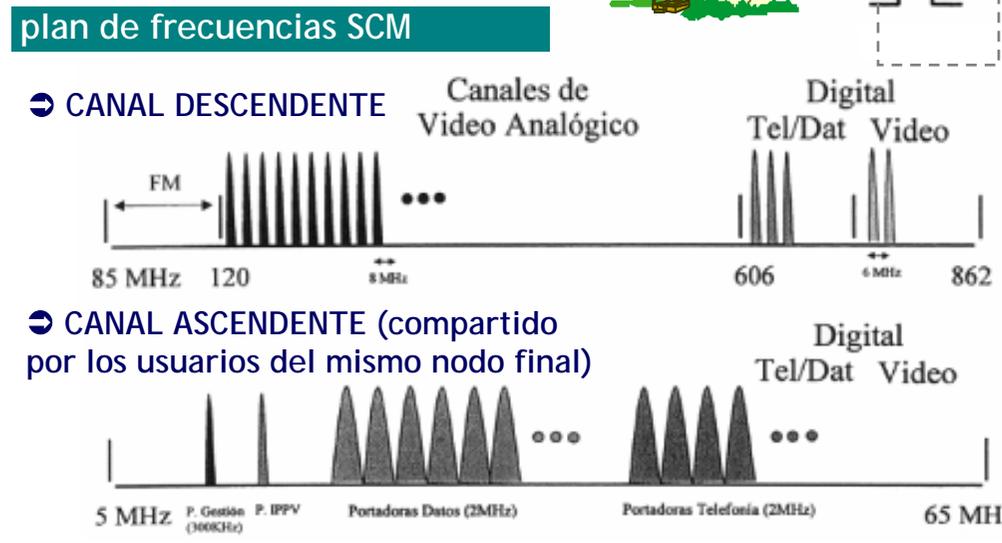
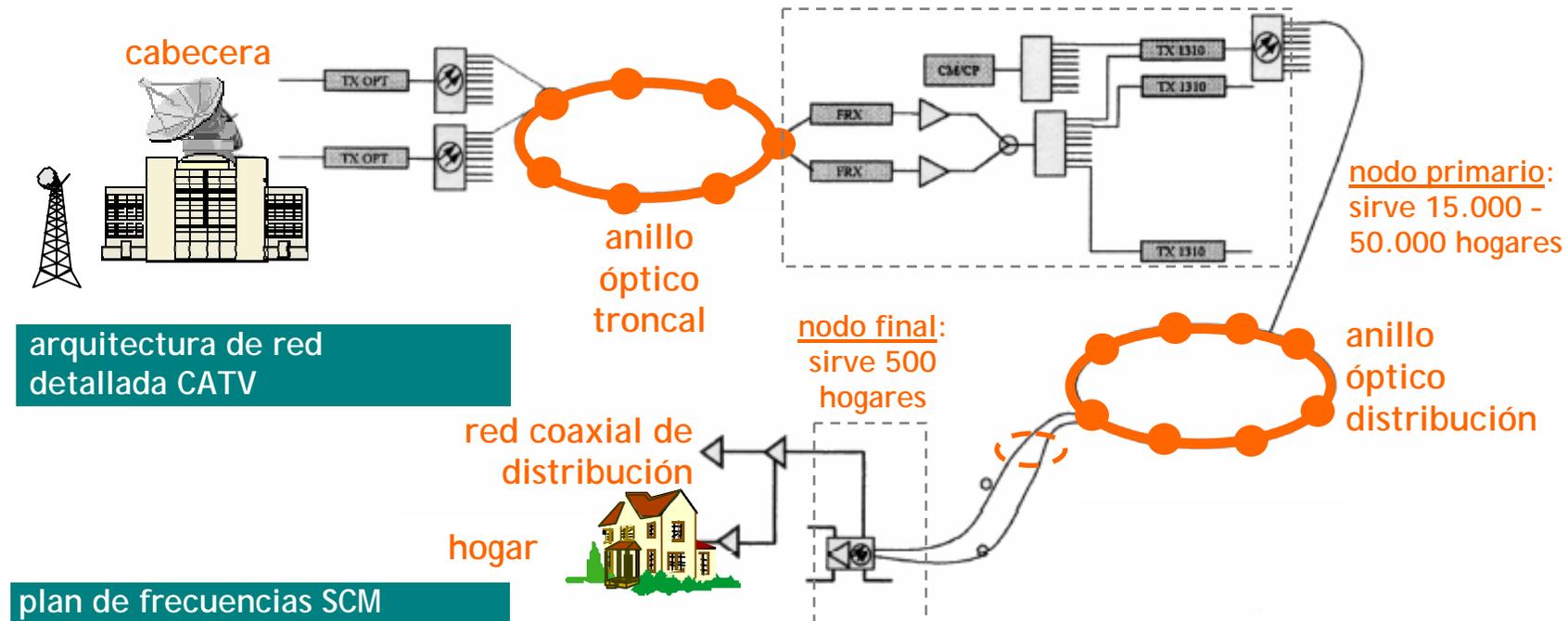


DIFERENTES ESTRATEGIAS Y SUS INCONVENIENTES

- ✓ Aumentar la velocidad binaria por canal óptico manteniendo el número de canales ópticos → limitado por la capacidad de la electrónica que hace la TDM y por los efectos de la dispersión de la fibra a tales velocidades
- ✓ Intercalar más canales ópticos entre los ya existentes → algunos efectos no lineales (FWM) generan diafonía entre canales y es más complicada la demux de los canales ópticos
- ✓ Habilitar más canales ópticos sin alterar el espaciado entre canales → afectan otros efectos no lineales (SRS) y se requieren AO de ancho de banda mayor

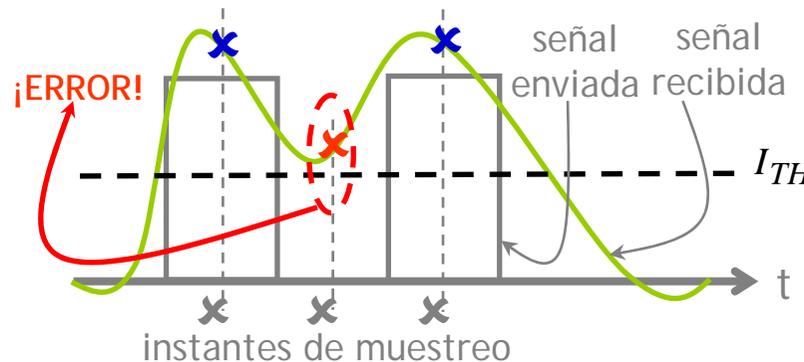
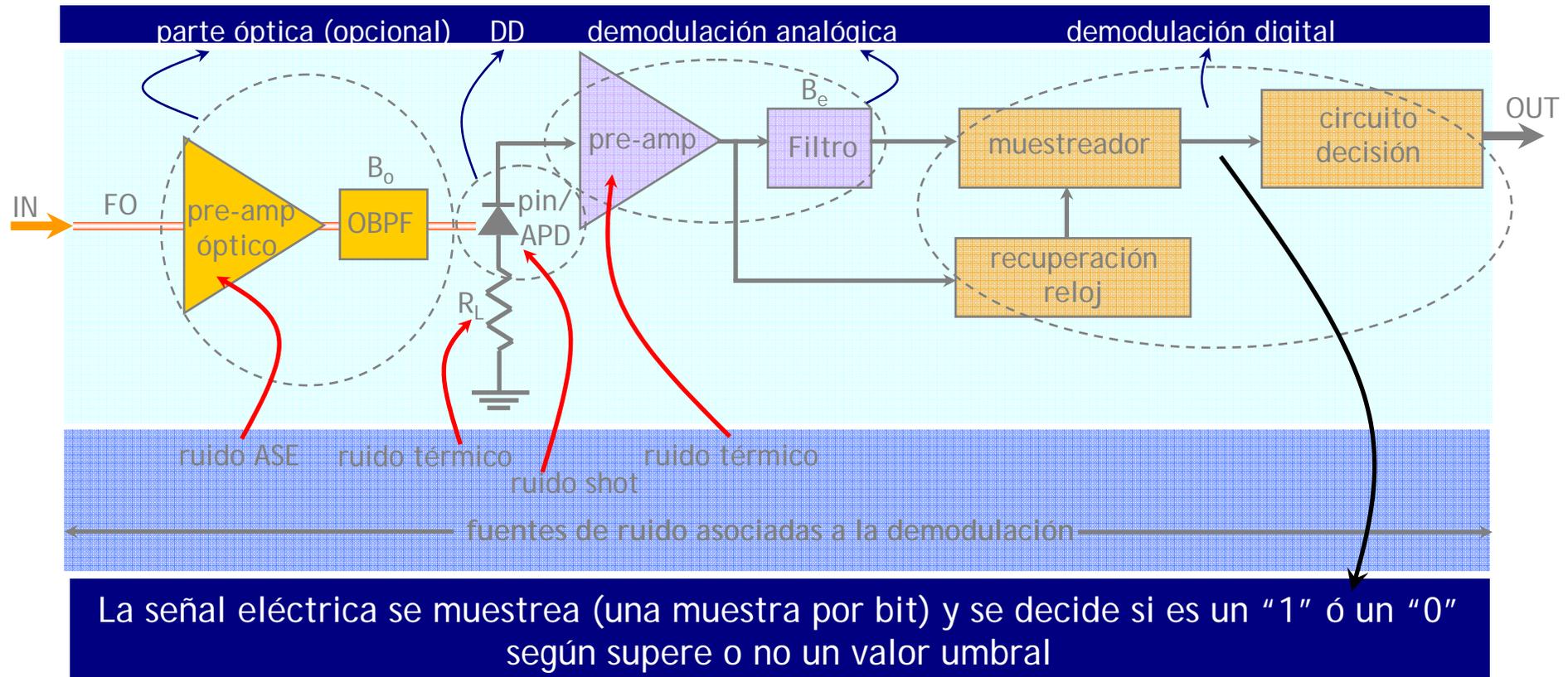
Instrumentación utilizada en redes de fibra óptica: necesidad de instrumentación avanzada

Aumento de la capacidad de transmisión en sistemas analógicos (SCM)



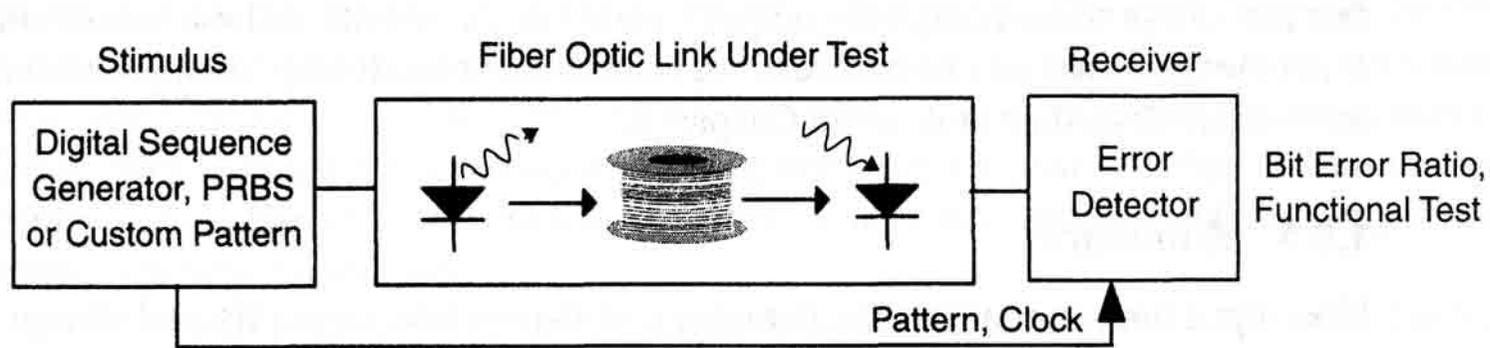
Exigencias: niveles de distorsión armónica y de intermodulación entre canales RF. Linealidad y ancho de banda de modulación de fuentes y receptores

Instrumentación utilizada en la caracterización de redes con transmisión digital OOK / DD



Parámetros fundamentales:
 tasa de error (BER) y velocidad de transmisión máxima ($BR_{m\acute{a}x}$)

Medidor de tasa de error (BER Testers -BERT-)

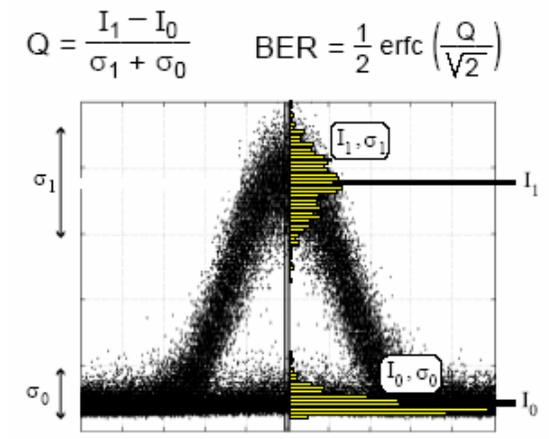
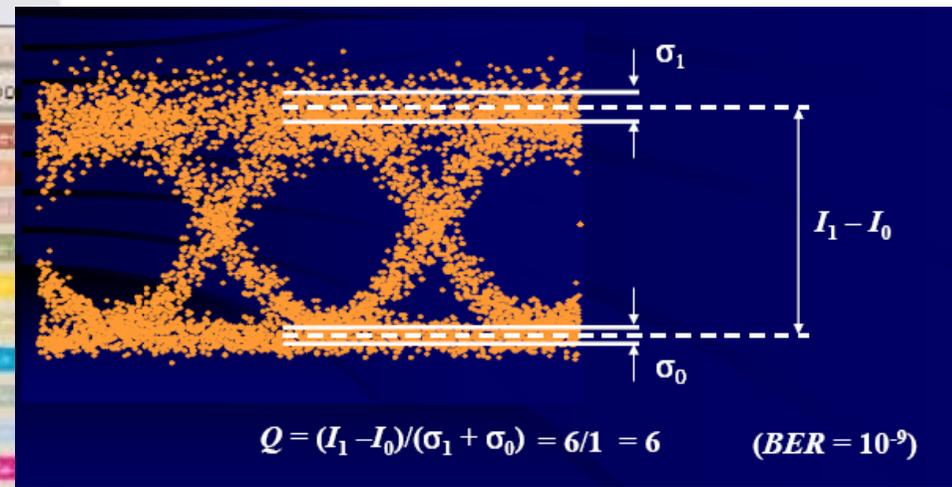
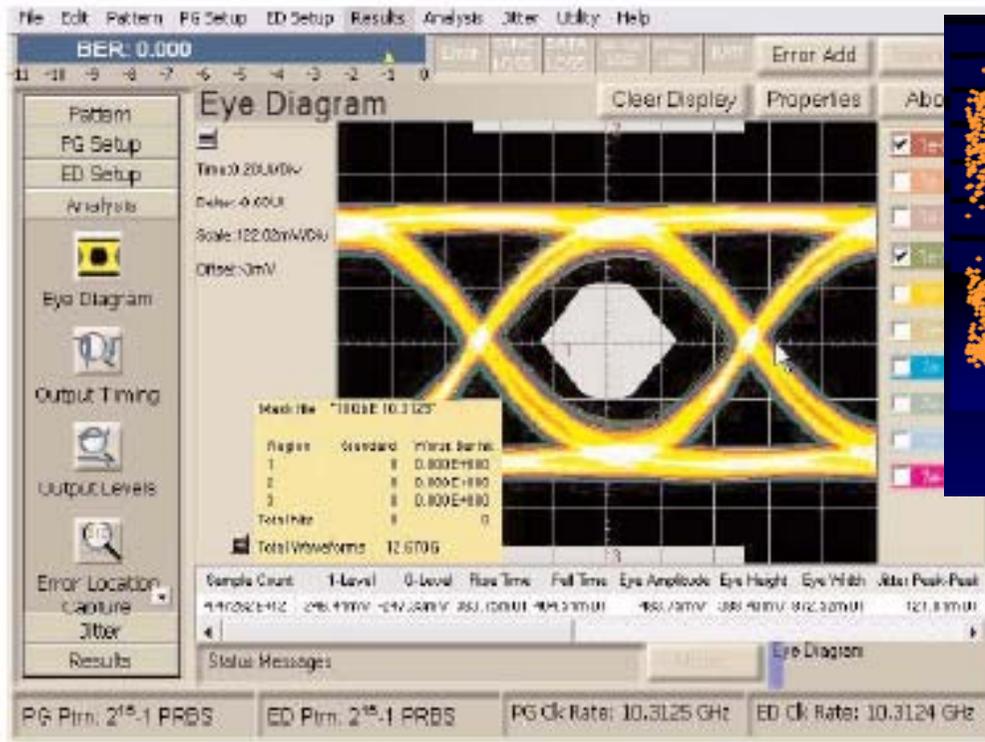


Medida directa del número de bits erróneos empleando PRBS (pseudo-random binary sequences)



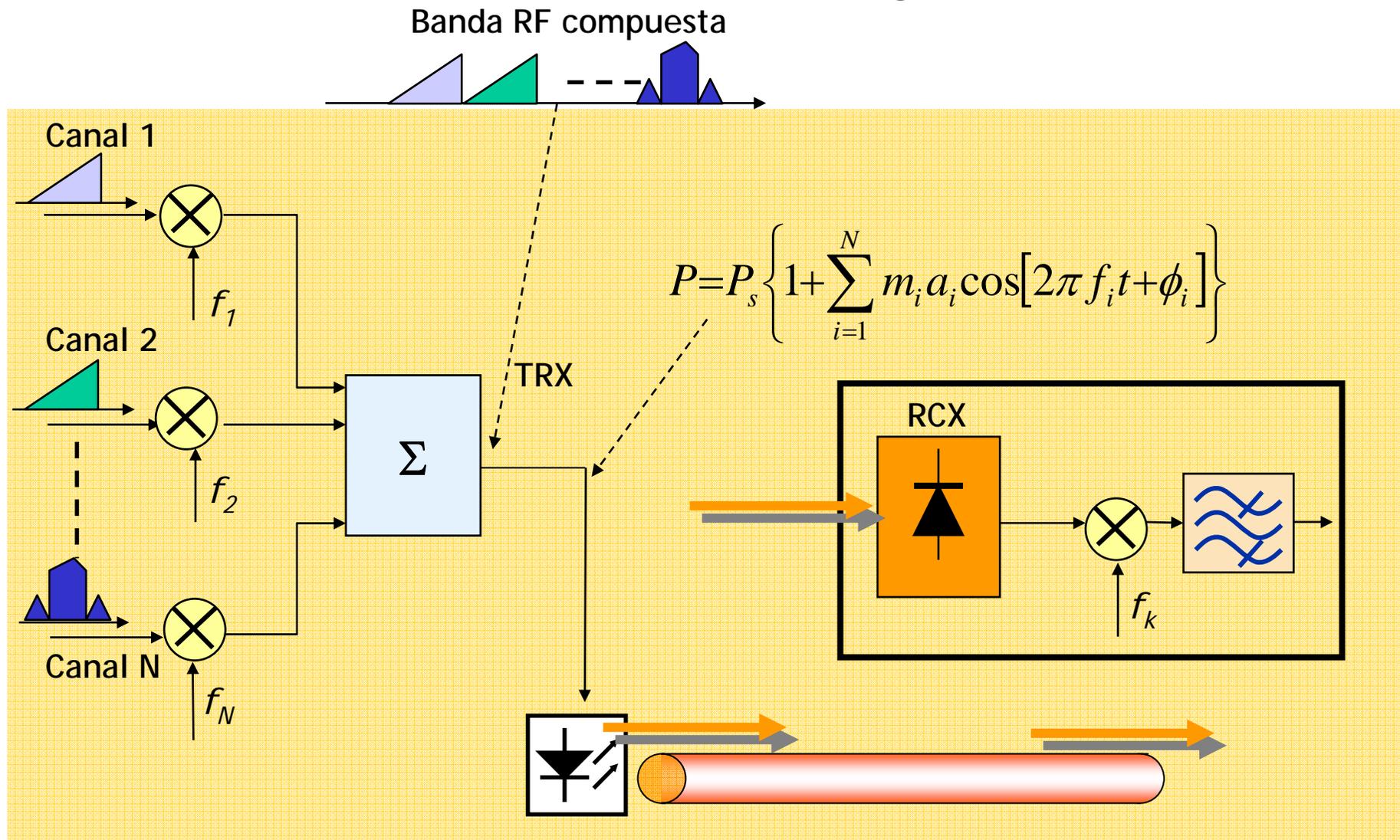
Agilent N4901B SerialBERT
13.5 Gb/s (equipo de laboratorio)

Medidor de tasa de error con osciloscopio y máscara de ojo



➤ Medida de la calidad de la transmisión. Las máscaras de ojo fijan las zonas de degradación permitidas (fijadas ciertas condiciones de medida: tipo de filtro en receptor, etc.) para garantizar una calidad deseada (BER mínimo) a una velocidad de transmisión dada

Instrumentación utilizada en la caracterización de redes con transmisión analógica IM/DD

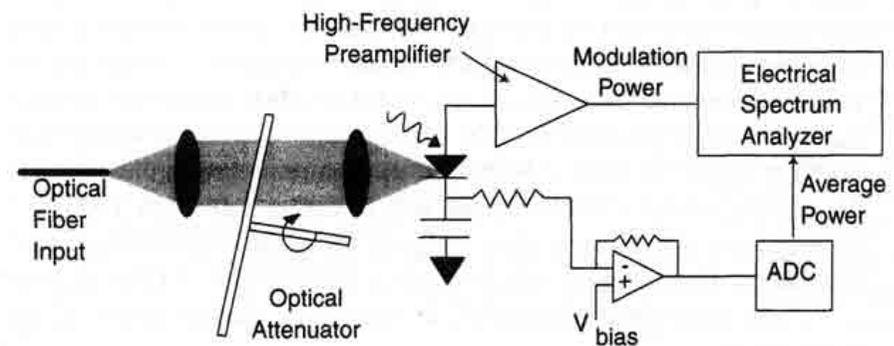
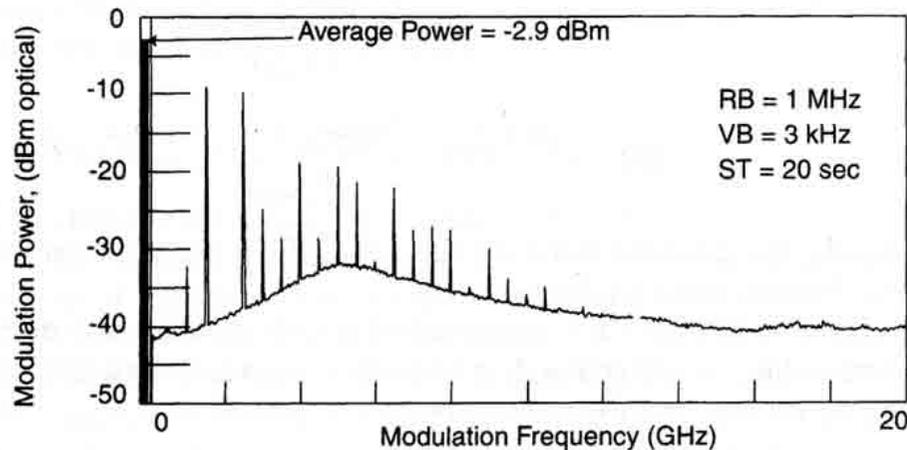
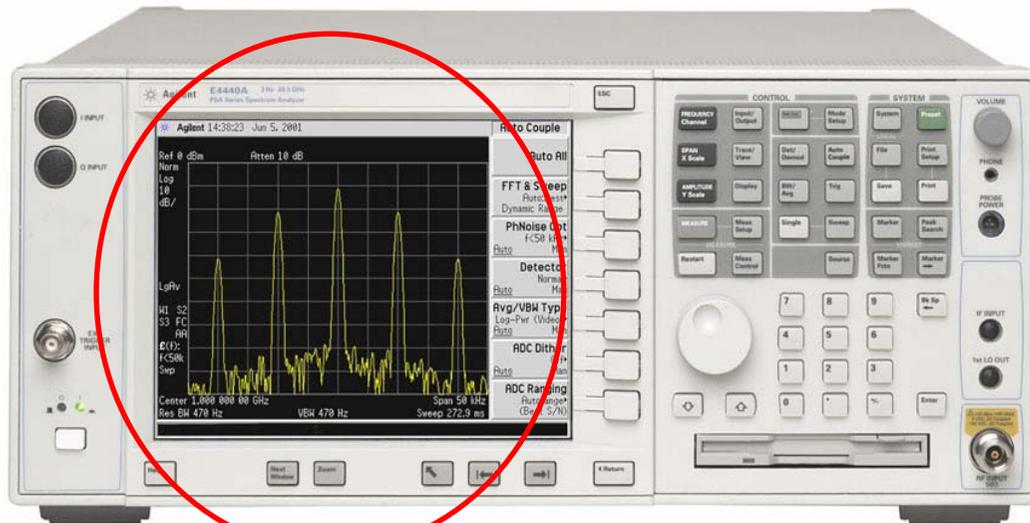


Parámetros fundamentales: relación señal/ruido (SBR) y ancho de banda de modulación (BW)

Parámetros de calidad de la transmisión analógica

E4443A PSA Series Spectrum Analyzer, 3 Hz - 6.7 GHz (ESA)

- relación portadora / ruido, CNR
- distorsión de intermodulación: CSO (segundo orden), CTB (tercer orden)
- índice de modulación por canal



Ejemplos: especificaciones típicas para los parámetros de calidad

- Sistema OPAL94; 1550 nm FTTx con 3 EDFAs en cascada:
 - Especificación a la salida de la unidad óptica de red (ONU): $\text{CNR} \geq 46 \text{ dB}$, $\text{CSO} \leq -62 \text{ dBc}$, $\text{CTB} \leq -57 \text{ dBc}$.
- Sistemas instalados en Europa del Este; red HFC con fuentes a 1310 nm y un máximo de 3 amplificadores coaxiales en cascada:
 - Especificación a la entrada del tramo coaxial: $\text{CNR} \geq 50 \text{ dB}$, $\text{CSO} \leq -65 \text{ dBc}$, $\text{CTB} \leq -65 \text{ dBc}$,
 - Especificación en toma de usuario: $\text{CNR} \geq 46 \text{ dB}$, $\text{CSO} \leq -57 \text{ dBc}$, $\text{CTB} \leq -57 \text{ dBc}$.

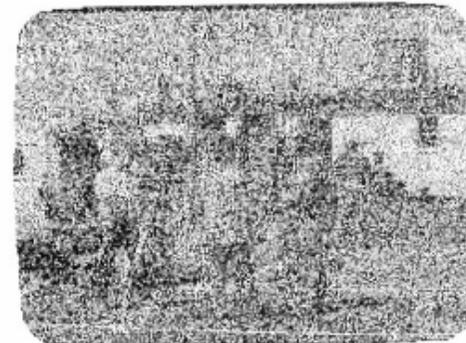
EJEMPLOS



$\text{CNR} > 49 \text{ dB}$



$\text{CNR} = 43 \text{ dB}$



$\text{CNR} = 36 \text{ dB}$



Imagen con CSO

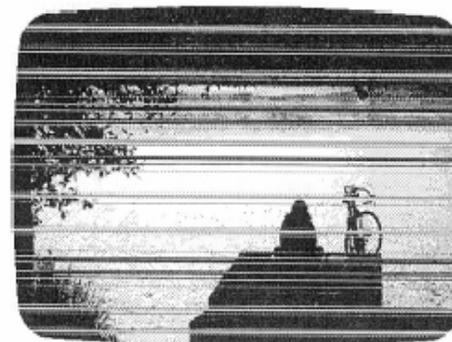
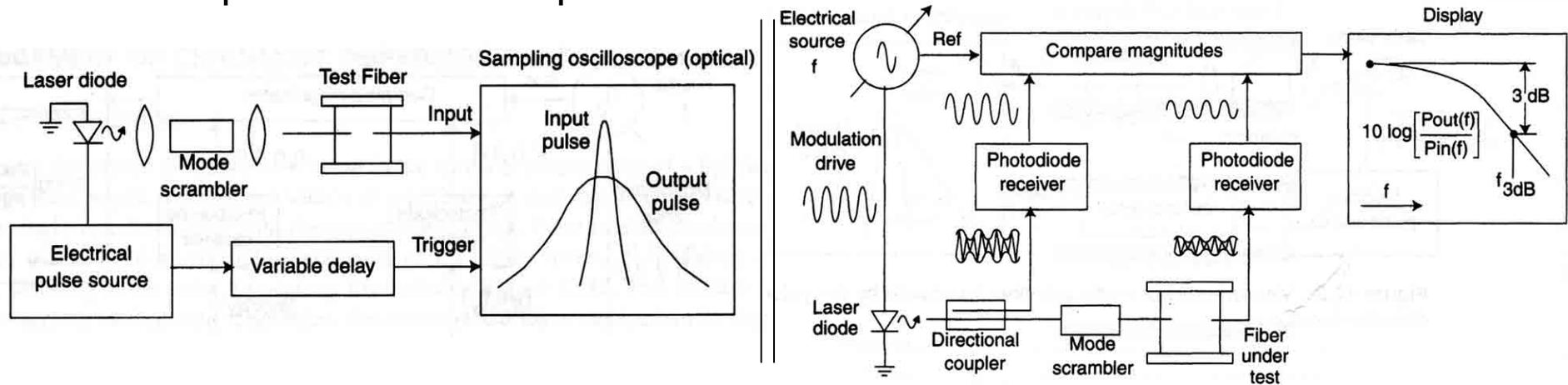


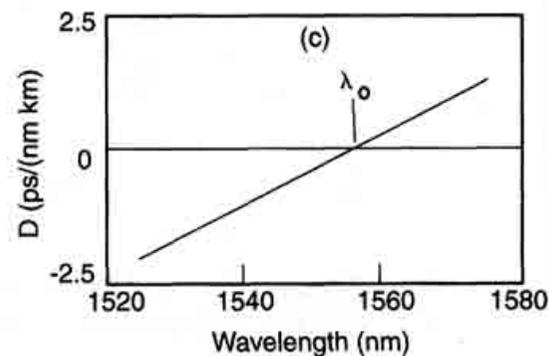
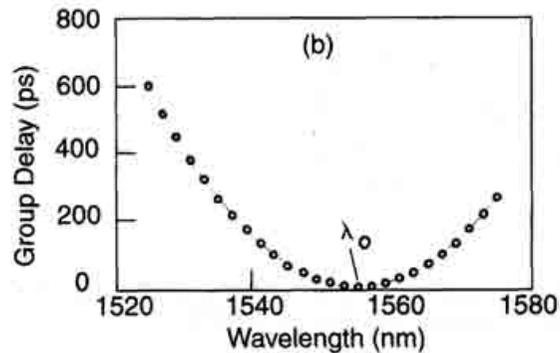
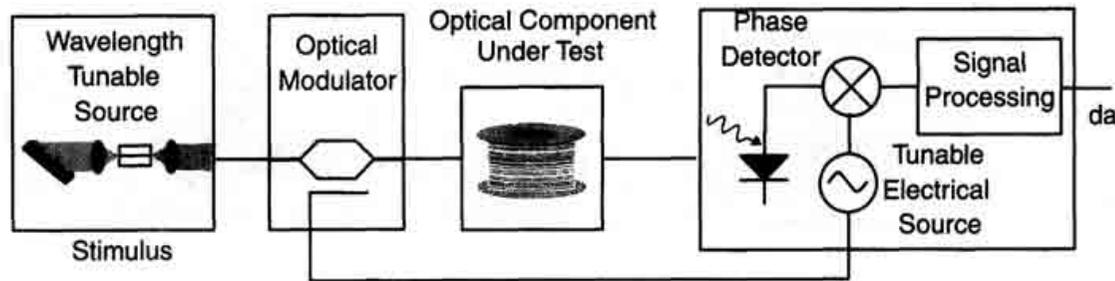
Imagen con CTB

Instrumentación para caracterizar fibra óptica

Técnicas para medir la dispersión intermodal

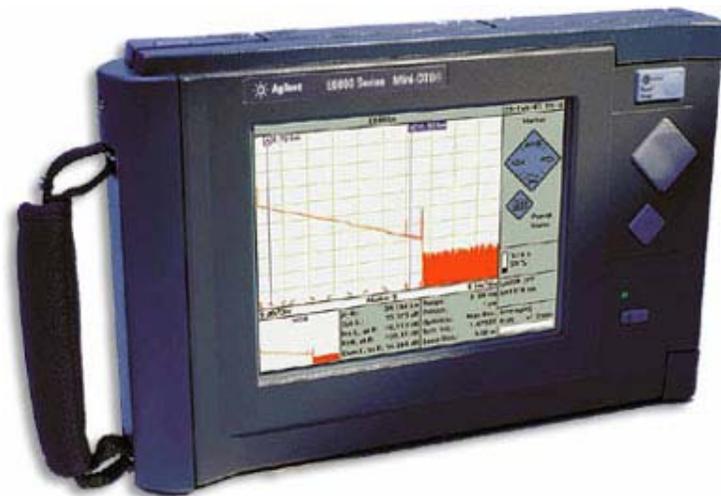
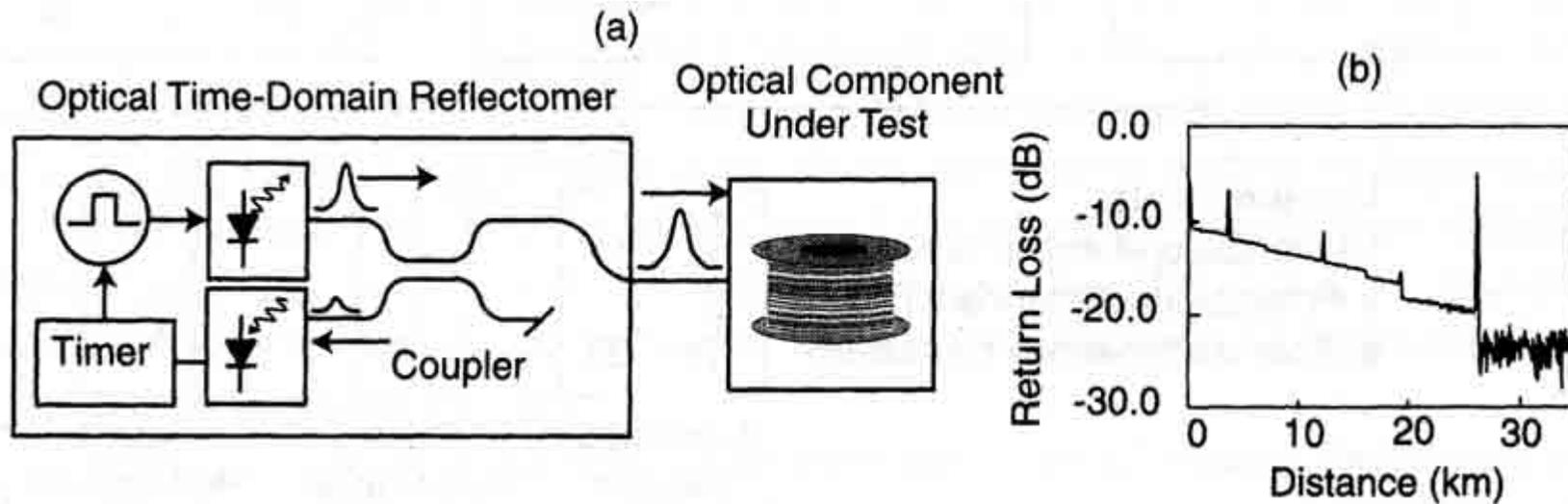


Técnicas para medir la dispersión intramodal



Chromatic Dispersion Analyzer – FTB-5800

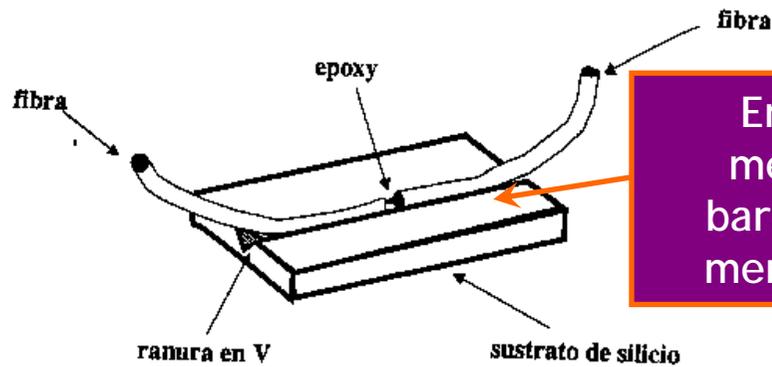
Instrumentación para caracterizar fibra óptica (atenuación - OTDR)



Agilent mini-OTDR E-6000 Series

- atenuación de fibra óptica
- pérdida de empalmes y conectores
- reflexiones en conectores
- longitud de la fibra

Empalmes mecánicos y por fusión



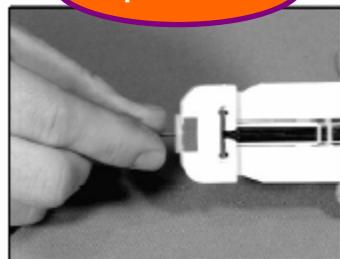
Empalme mecánico: baratos pero menos fiable



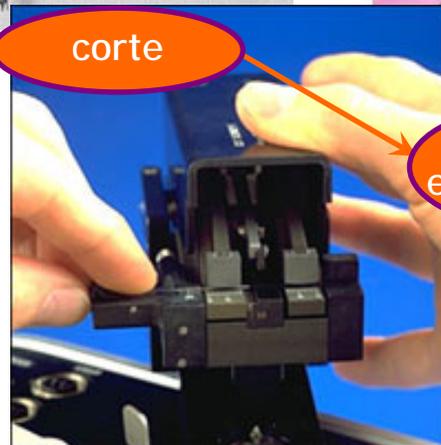
Empalme por fusión: más fiables pero más caros



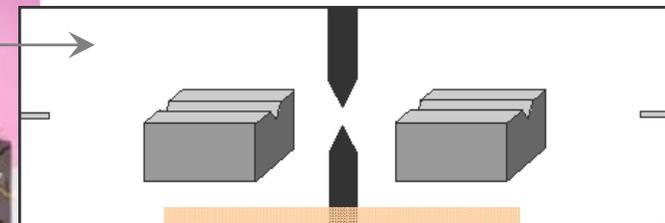
pelado



corte



máquina empalmadora

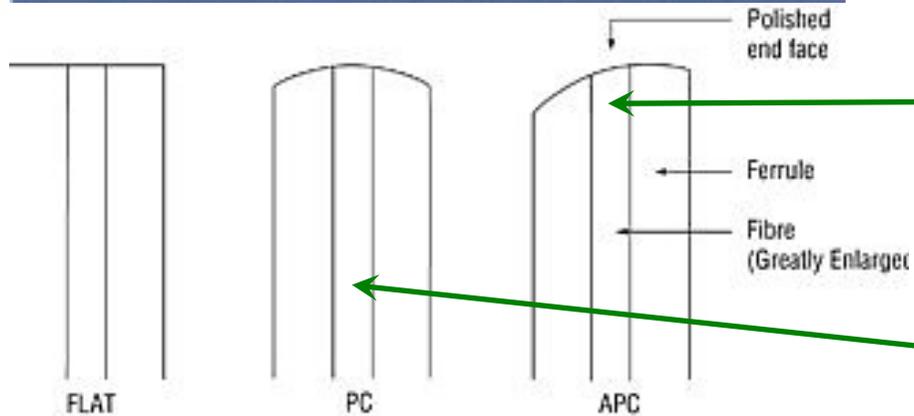
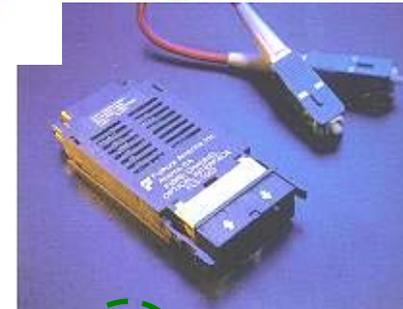
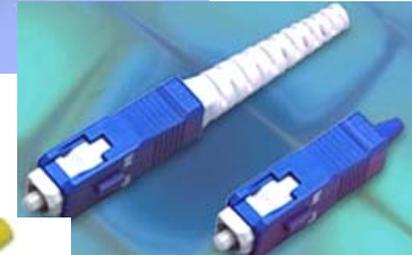
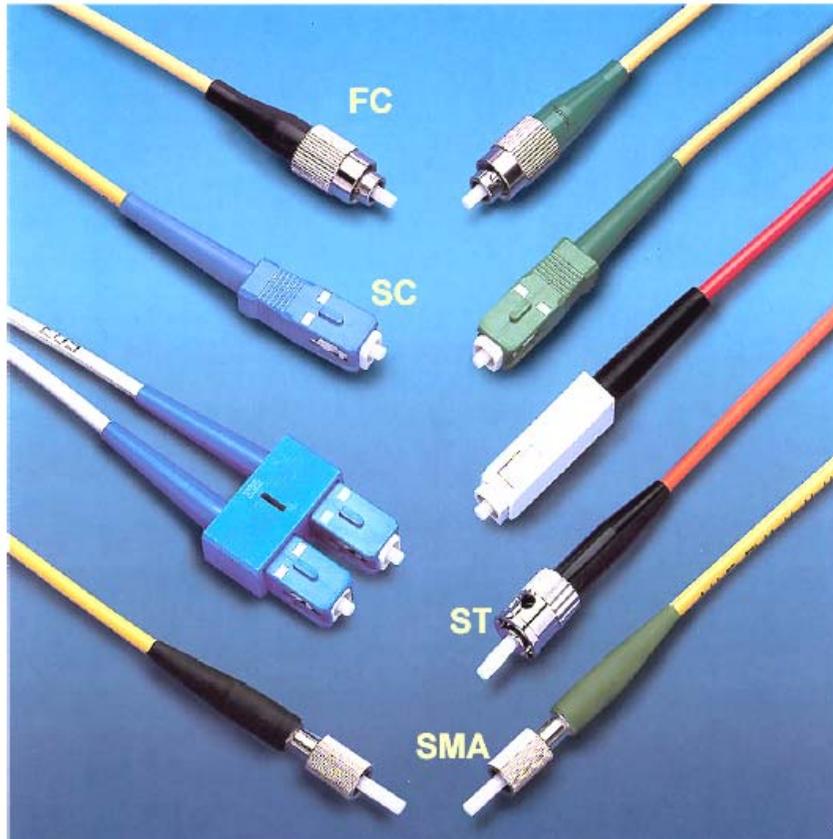


empalme por arco voltaico



protección del empalme

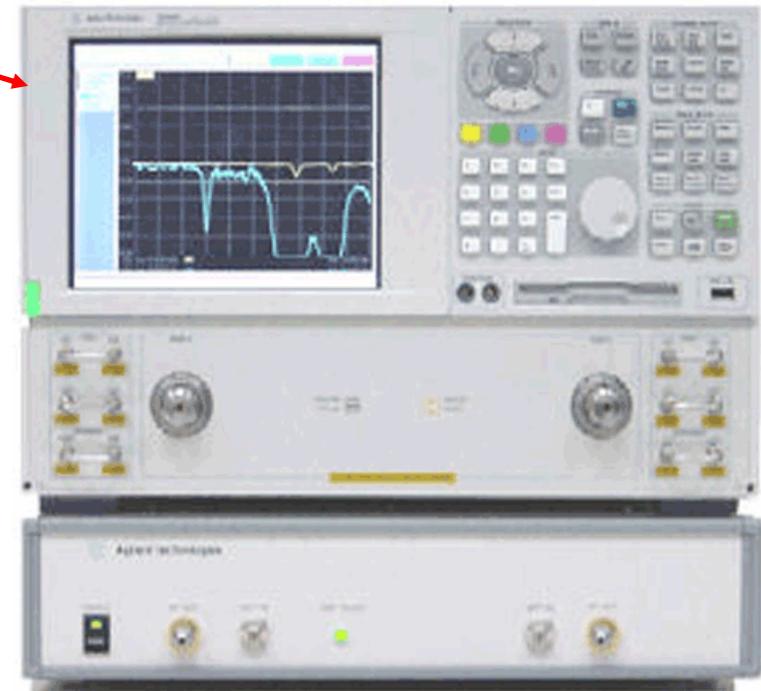
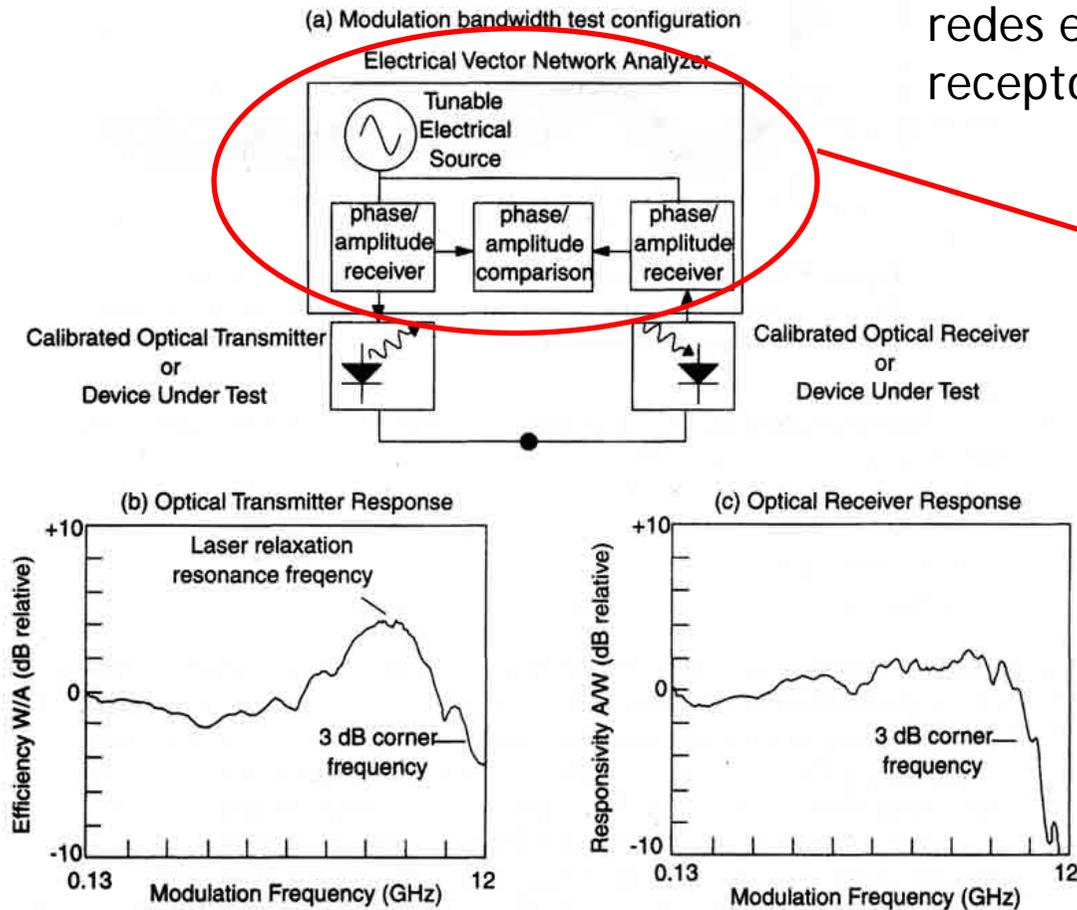
Conectores de fibra óptica



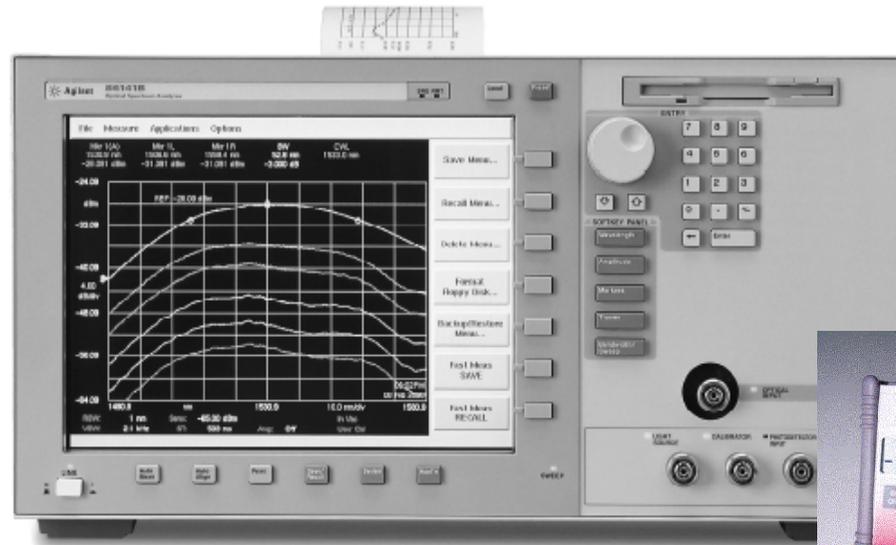
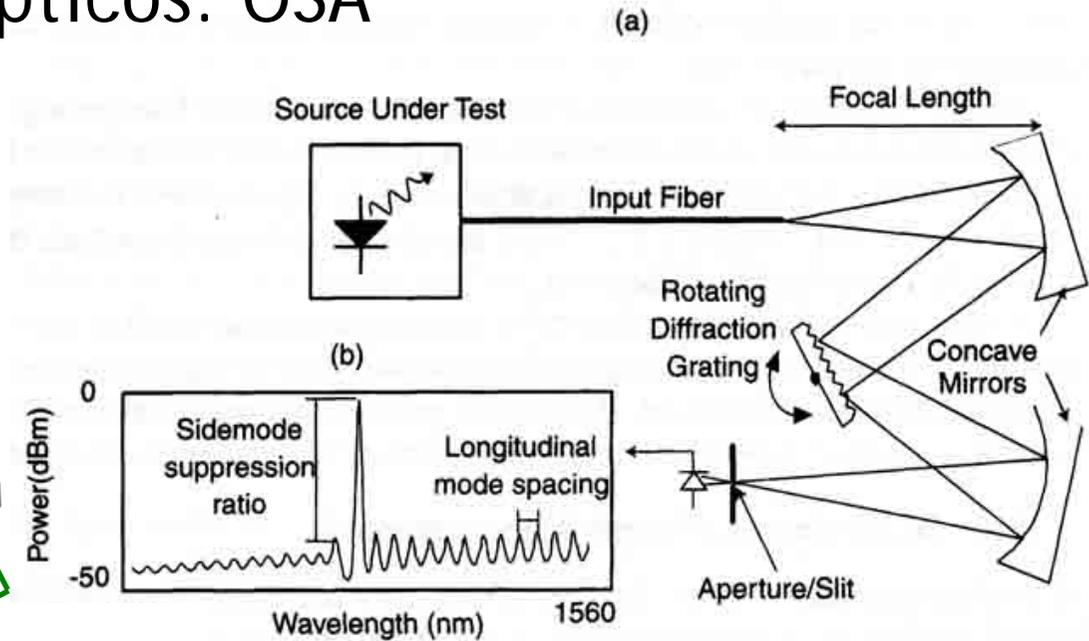
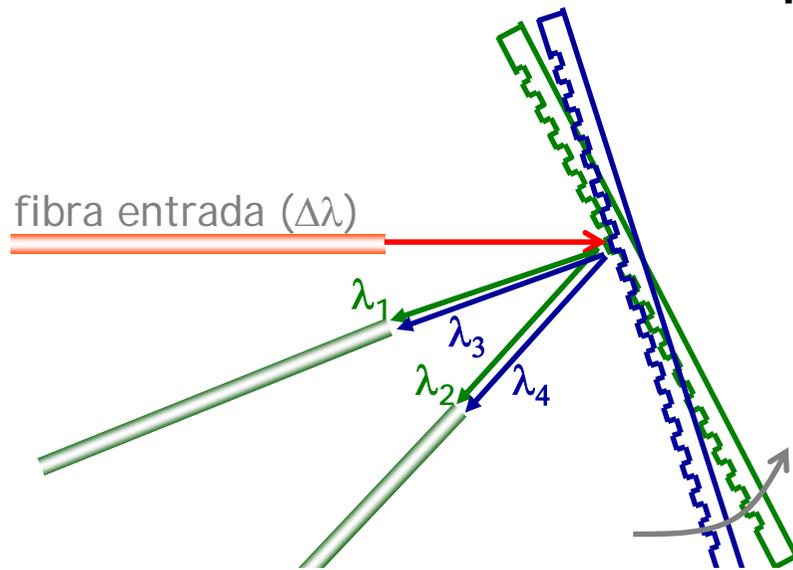
Caracterización de fuentes y receptores ópticos: LCA

Ancho de banda de modulación -> analizador de componentes ópticos

Consiste en un analizador vectorial de redes eléctrico (EVNA) y una fuente y receptor calibrados

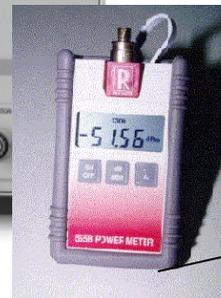


Caracterización de fuentes y receptores ópticos: OSA



Agilent 86142B High Performance Optical Spectrum Analyzer (OSA)

-de laboratorio o de campo
en plataformas multifunción
en combinación con OTDRs
por ejemplo

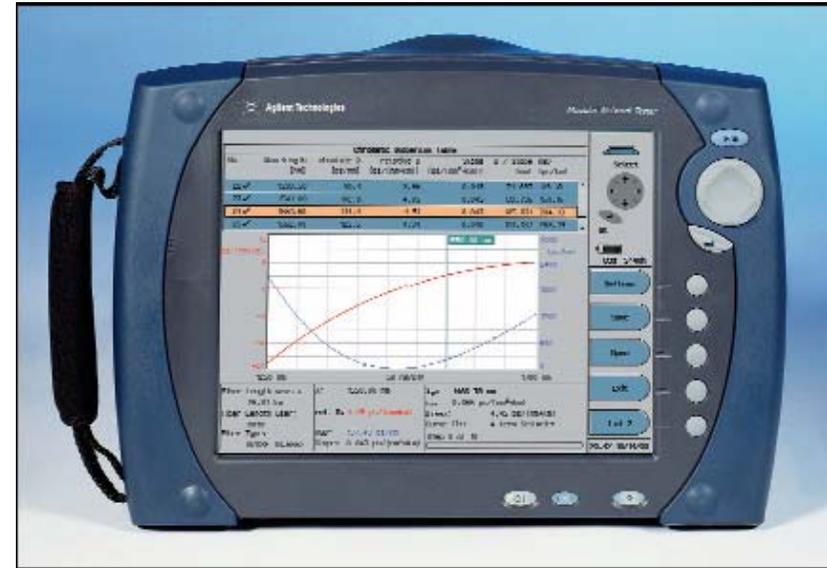


Fuente óptica para ser caracterizada

(Equipos multifunción: medidas one-button)



OTDR



CD

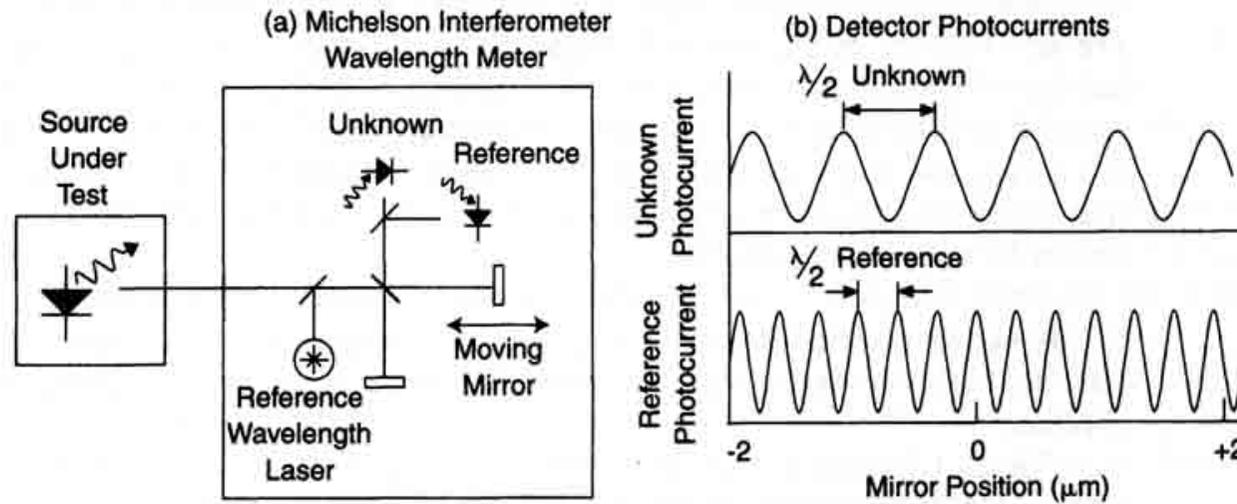
PMD



OSA



Caracterización de fuentes y receptores ópticos: wavelength meters

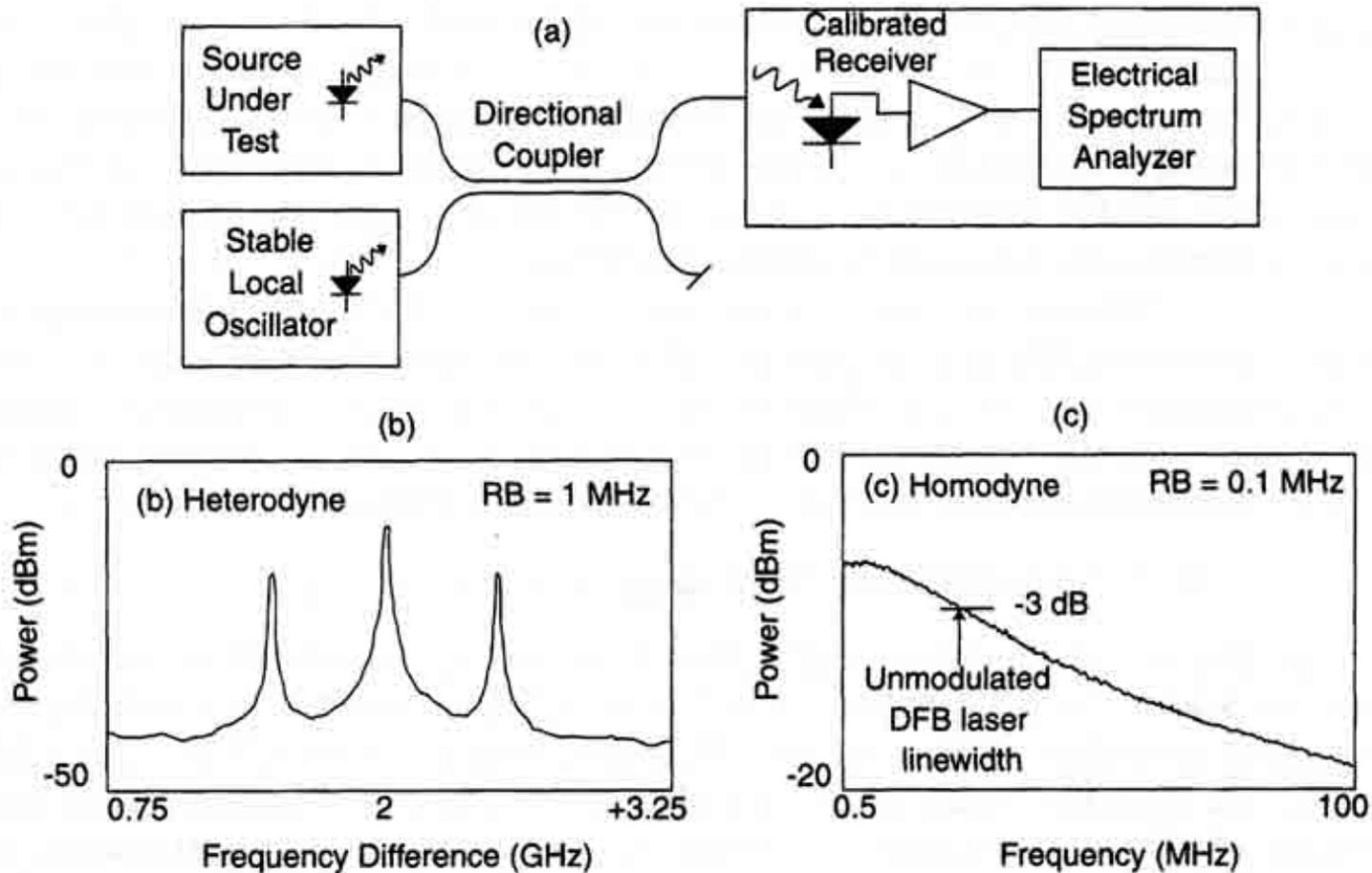


Basados en técnicas interferométricas



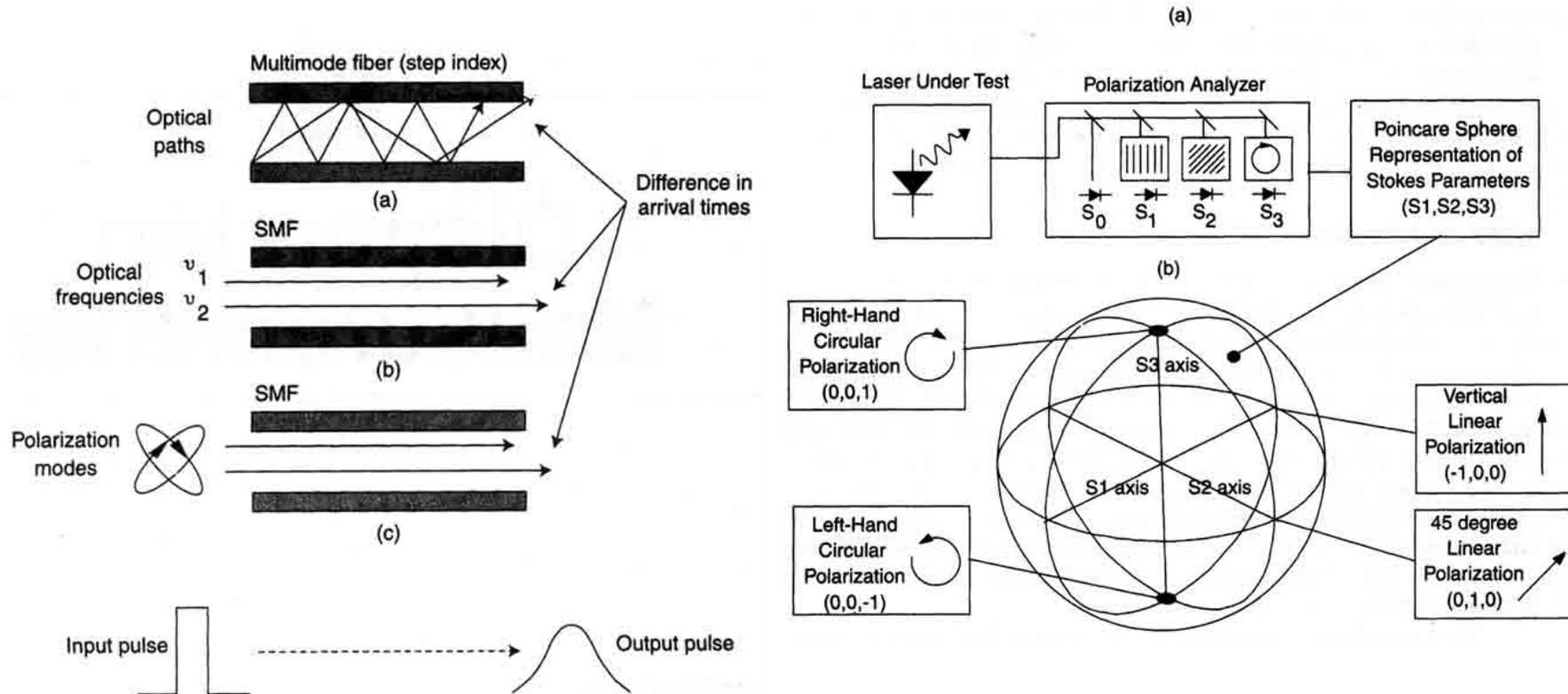
Agilent Multi-Wavelength Meter

Caracterización de fuentes y receptores ópticos: anchura de línea de la fuente



Con técnicas heterodinas u homodinas de mezclado de la señal óptica con un oscilador óptico (láser) local

Caracterización de fuentes y receptores ópticos: polarización de la luz



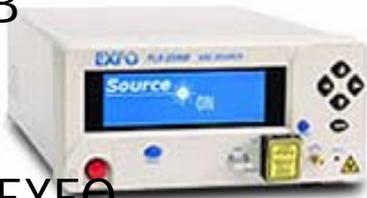
Agilent 8169A Polarization Controller

Caracterización de componentes pasivos de fibra óptica: pérdidas de inserción

Tunable Laser Source — EXFO FLS-2600B



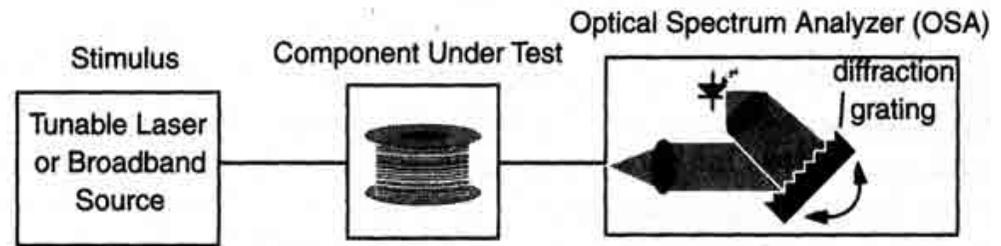
ASE Broadband Source — EXFO FLS-2300B



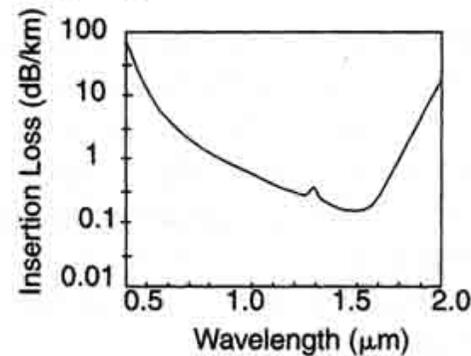
Power Meter — EXFO FPM-300



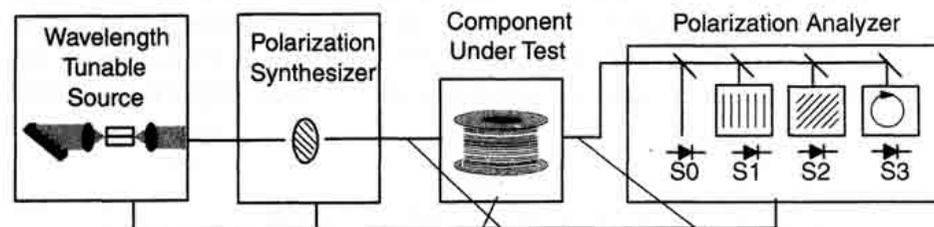
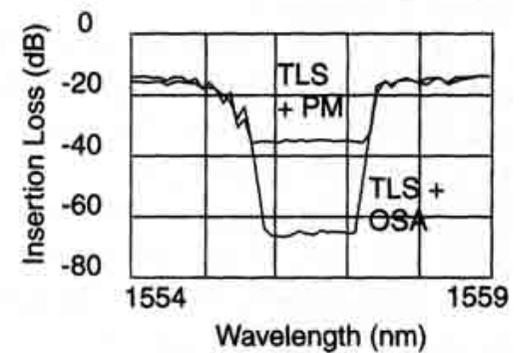
(a) Insertion Loss Measurement Configuration



(b) Single mode fiber insertion loss



(c) Notch filter insertion loss



Measurements:

- i. Polarization-transfer function
- ii. Polarization-dependent loss
- iii. Polarization-mode dispersion

$$\begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} O_1 \\ O_2 \end{bmatrix}$$

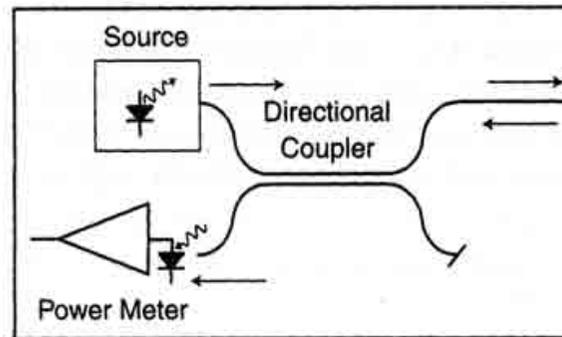
Polarization Transfer Matrix Input Polarization State Output Polarization State

Caracterización de componentes pasivos (y activos) de fibra óptica: pérdidas de retorno de retorno

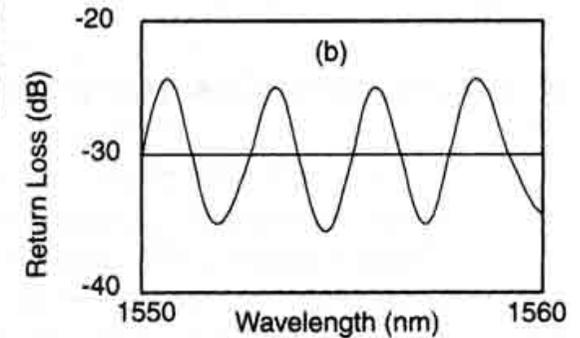
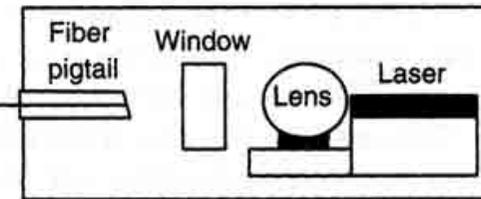
Optical Return Loss Test Set — BRT-320A



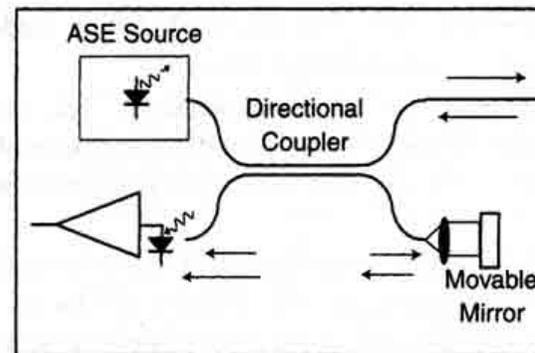
(a) Return-Loss Measurement Equipment



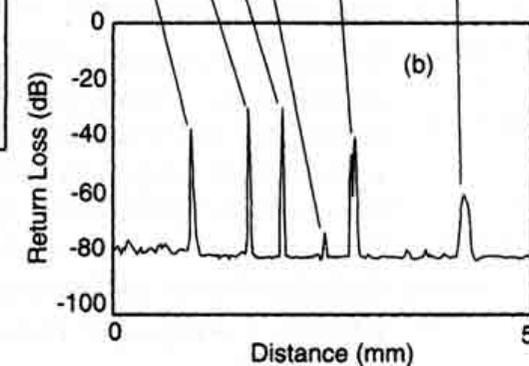
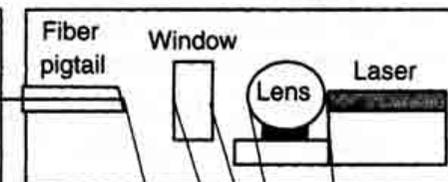
Optical Component Under Test



(a) High Resolution Optical Reflectometer

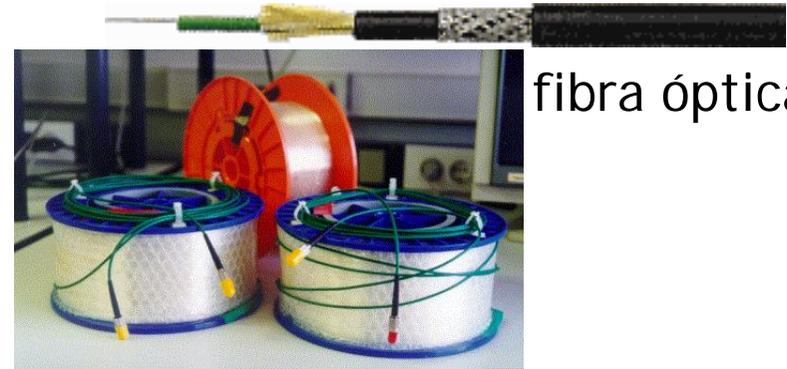


Optical Component Under Test



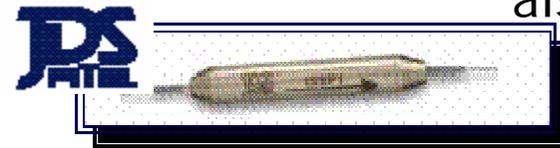
Resumen de componentes pasivos de fibra óptica

acopladores

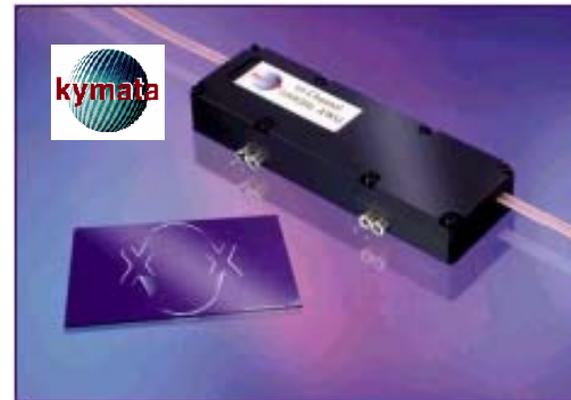


fibra óptica

aisladores



circuladores



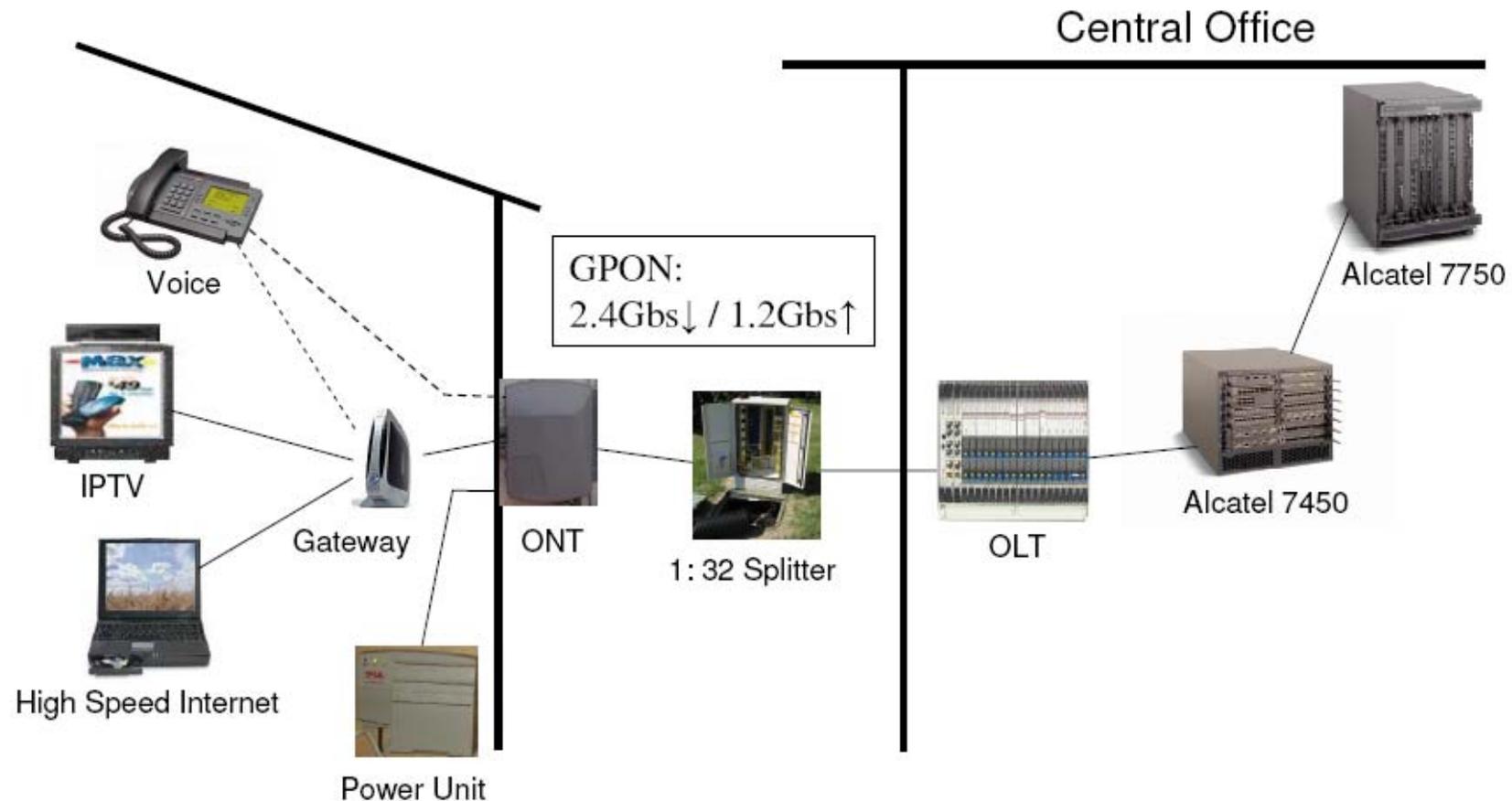
multiplexores y filtros

Caracterización de amplificadores ópticos



Amplificadores: ganancia y figura de ruido por canal -> mediante el uso de OSAs

Ejemplo: instrumentación real en una instalación de FTTH





Disruptive and time consuming



Sheds, gardens, pools,
patios....

Many obstacles....





Working in winter is FUN!



Digging for fibre....

Fotos de Sasktel, Canadá. Más casos de estudio en la web de la asignatura en el link [FTTH Council Europe Conference](#)

Organismos internacionales de estandarización de técnicas de medida y equipamiento

- IEEE (métodos de medida para enlaces y redes)
- Sectorial de estandarización de telecomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T) (métodos de medida para enlaces y redes)
- Telcordia (requerimientos genéricos para componentes y equipos de redes de telecomunicaciones)
- Asociación de la Industria de las Telecomunicaciones (TIA) y Alianza de Industrias de Electrónica (EIA) (test de componentes). TIA tiene una lista de más de 120 standards de tests de fibra óptica y especificaciones bajo la designación TIA/EIA-455-XX-YY, donde XX se refiere a la técnica de medida específica y YY al año de publicación. Estos estándares también se conocen como Fiber Optic Test Procedures (FOTP), de modo que los documentos TIA/EIA-455-XX son equivalentes a los FOTP-XX. Por ejemplo FOTP-20 es un método de 2004 que da dos procedimientos para monitorizar los cambios en la transmisión de la fibra óptica que pueden ocurrir en pruebas con variables mecánicas o medioambientales.

Equipamiento básico del ingeniero de campo según estas normas internacionales

-Medidores de potencia óptica: que miden la potencia óptica sobre una banda frecuencial dada

-Indicadores visuales de fallos: que indican con luz visible la presencia de un corte en la continuidad de la fibra (rotura), una curvatura muy pronunciada en el cable o una mala conectorización.

-Fuentes que emitan a las longitudes de onda que se usen en la PON (1310, 1490 y 1550nm): para medidas de pérdidas en el enlace o en sus componentes en las longitudes de onda usadas para el downstream y el upstream (para poder hacer balances de potencia).

-Atenuadores ópticos: para reducir la potencia óptica que dañaría un instrumento o que provocaría distorsión en la medida por saturación

-OTDR: medida de atenuación, longitud de la fibra, pérdidas de conectores y empalmes y niveles de potencia reflejada por conectores; también localiza roturas de fibra

-Medidores de ORL

-OSA

-Evaluación de BER mediante osciloscopio y máscaras de ojo

Medidores de potencia óptica

Mide la potencia óptica en las siguientes bandas de paso:

1260-1360nm para medidas a 1310nm

1480-1500nm para medidas a 1490nm

1540-1565nm para medidas a 1550nm

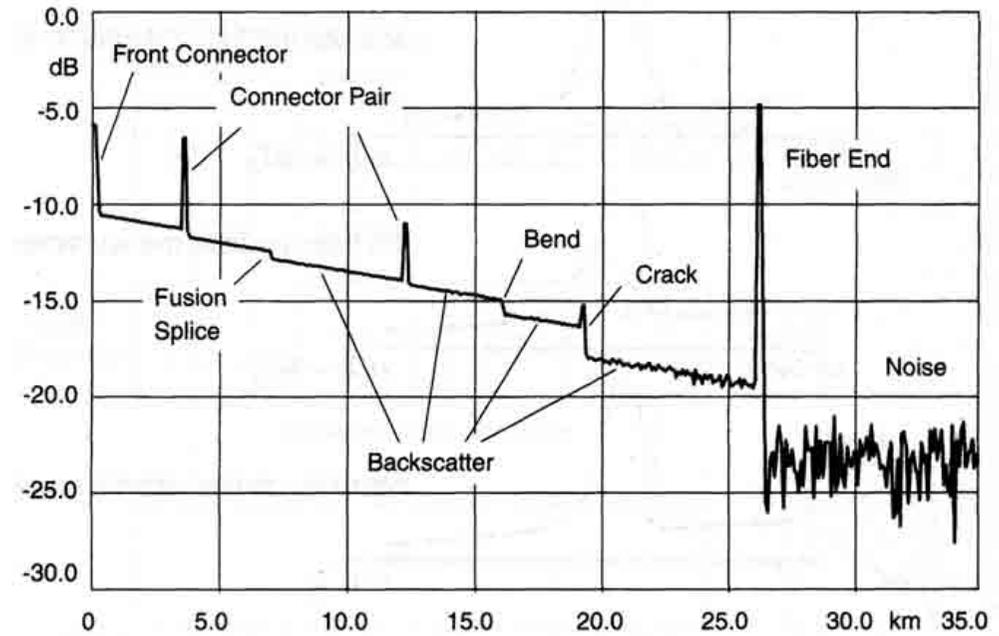
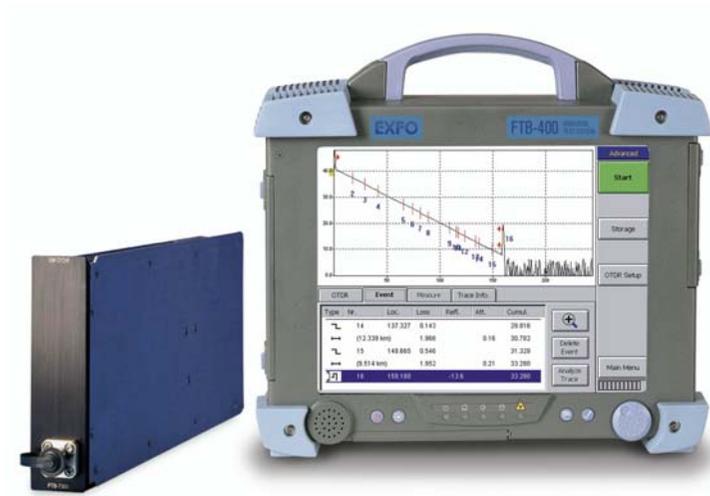


Capacidad **pass-through**: puede conectarse entre el OLT y la ONT y no interferir con el tráfico (voz, datos, video) en vivo en el enlace. El medidor extrae una pequeña cantidad de la señal para hacer la medida.

Viene con indicadores de niveles, indicadores pass-fail que indican cuando alguna de las longitudes de onda (tipo de servicio) no está dentro de los valores almacenados de funcionamiento normal.

OTDR y estado de conectores

OTDR



Inspector de conectores



limpio



sucio



Localizador de fallos y medidor de ORL

Localizador visual de fallos en la fibra



Medidor de ORL



Optical Loss-Test Sets e instrumentos multifunción

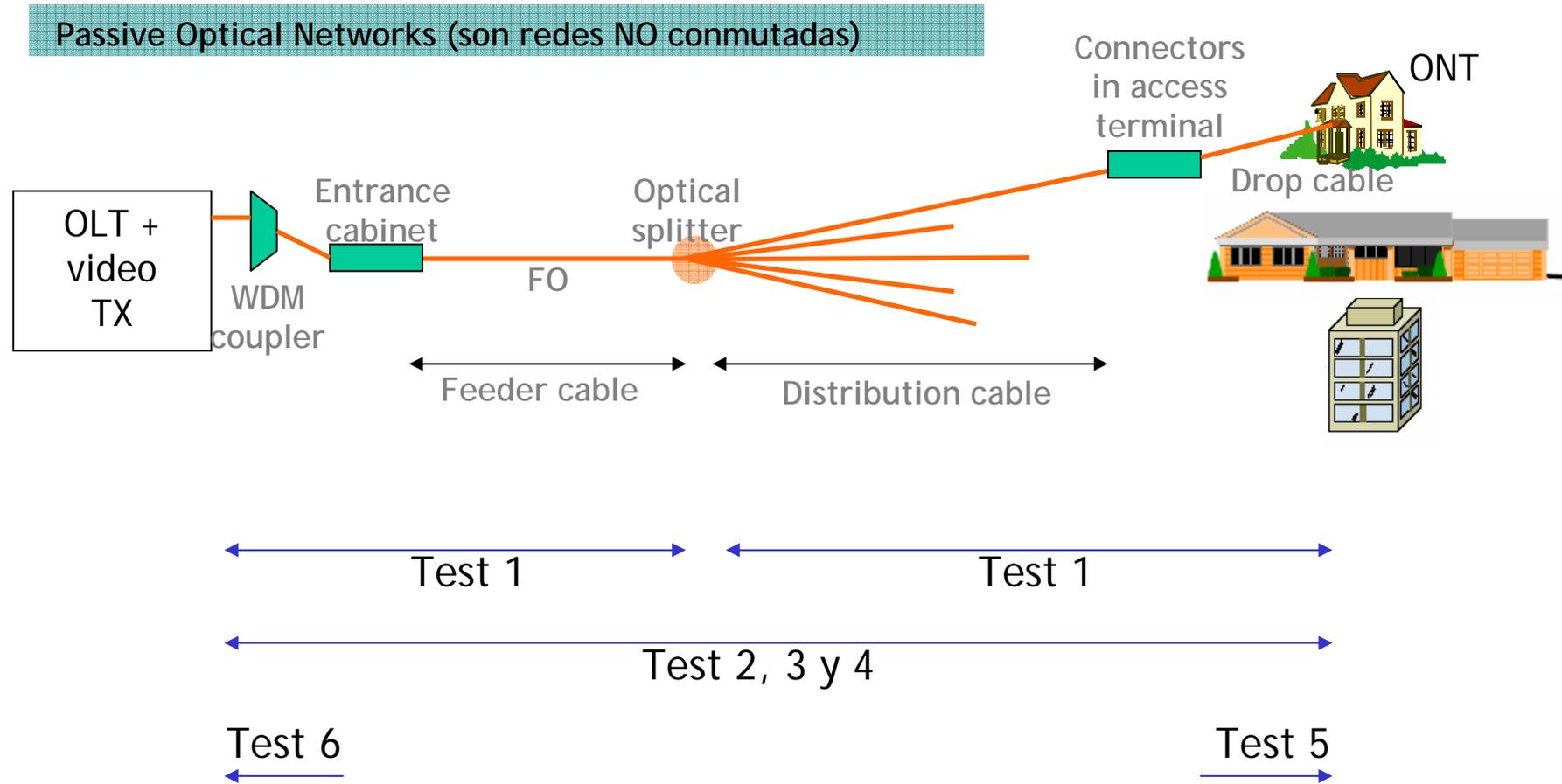


2 unidades necesarias para medidas bi-direccionales. Incluye:

- Medidor de pérdidas ópticas
- Medidor de potencia óptica
- Medidor de ORL
- Localizador visual de fallos
- Fuentes ópticas
- Equipo de intercomunicación por voz y mensajes
- Medidor de longitud de fibra
- Inspector de conectores
- Generación de informes y almacenamiento de múltiples medidas

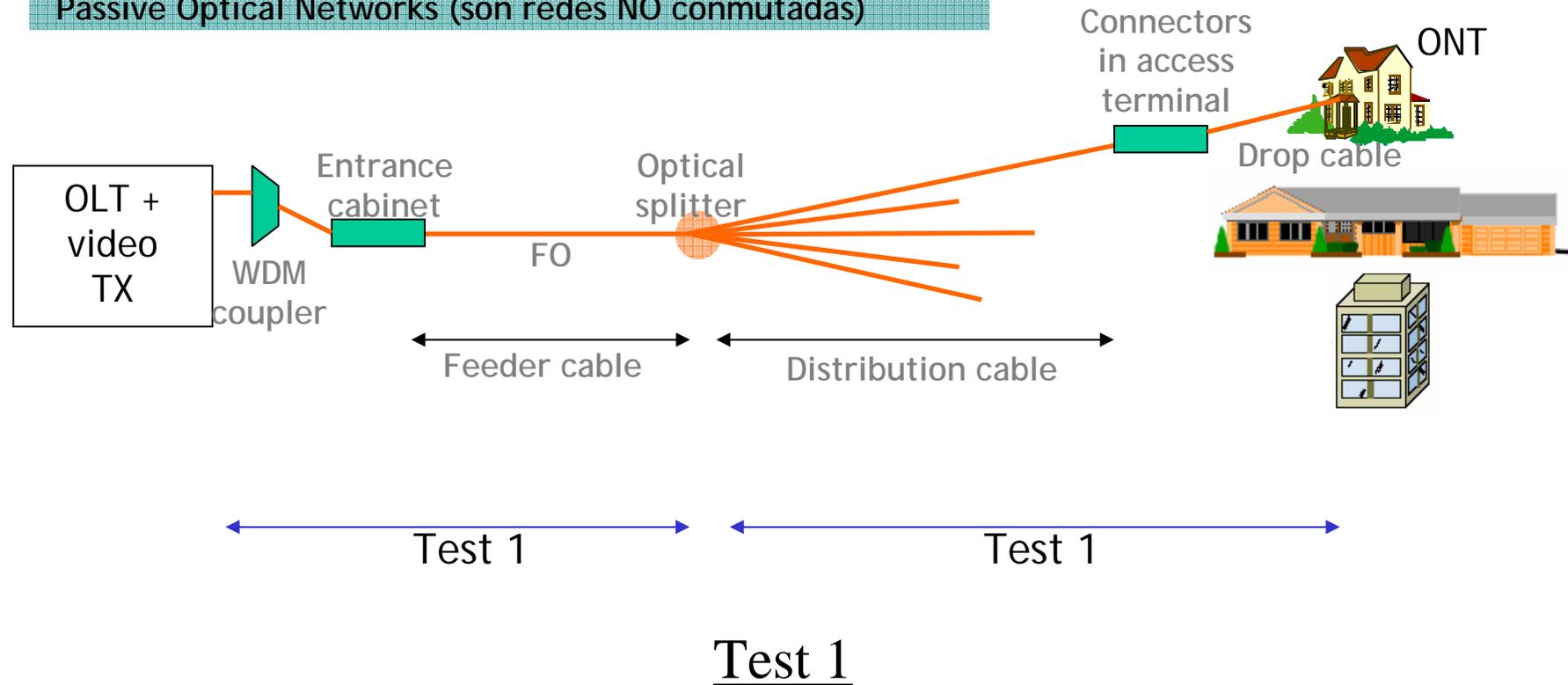
Protocolo de tests en instalaciones de FTTH

Passive Optical Networks (son redes NO conmutadas)



Protocolo de tests en instalaciones de FTTH

Passive Optical Networks (son redes NO conmutadas)

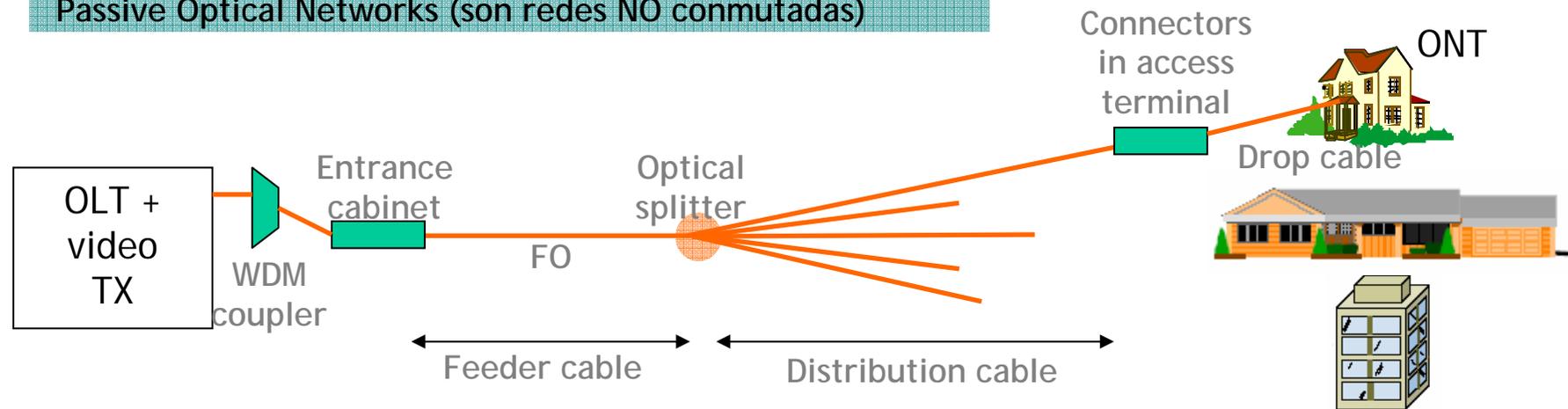


Caracterización bi-direccional de cada tramo de fibra en la red antes de ser conectados al acoplador. A 1490 y 1550nm en sentido descendente y a 1310nm en sentido ascendente.

Utilizando por ejemplo (2) OLTS

Protocolo de tests en instalaciones de FTTH

Passive Optical Networks (son redes NO conmutadas)



Test 2

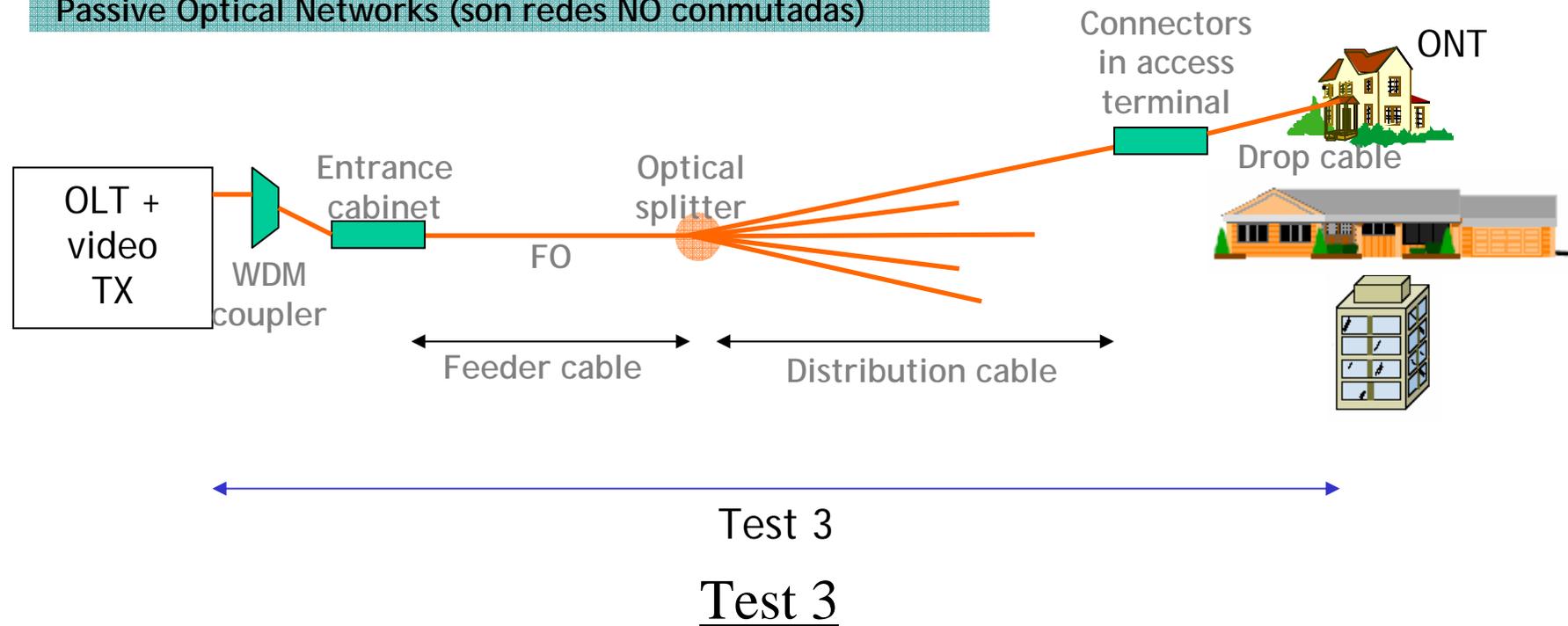
Test 2

PONs diseñadas en clases (A, B y C) que permiten unas pérdidas máximas entre OLT y cada ONT después de conectar las fibras de alimentación y distribución al acoplador.

Se determinan usando (2) OLTS

Protocolo de tests en instalaciones de FTTH

Passive Optical Networks (son redes NO conmutadas)

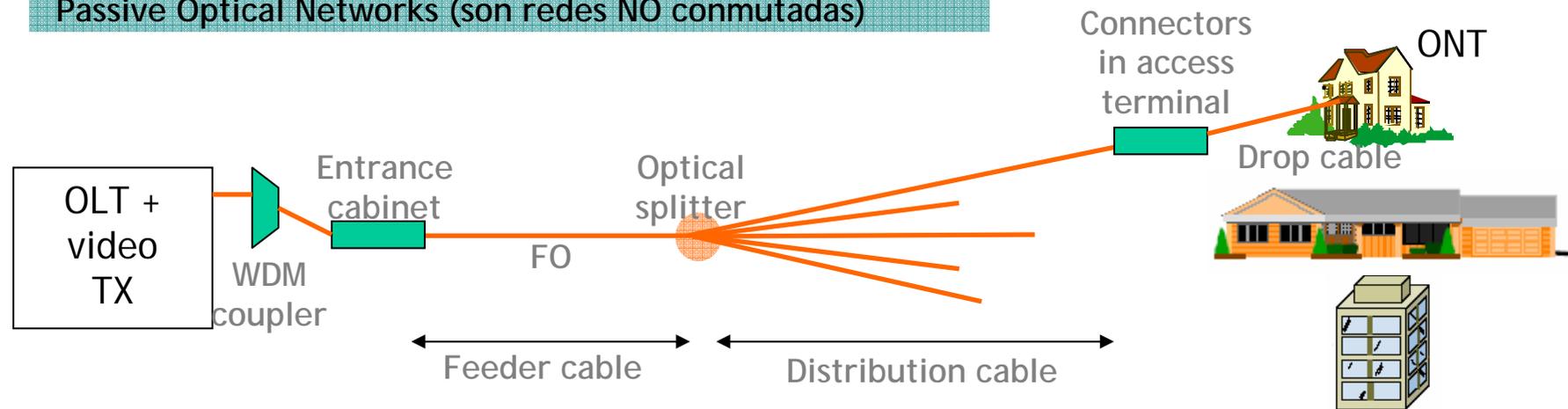


Medición con OTDR para determinar la atenuación de segmentos individuales de fibra, la localización y pérdidas de empalmes, conectores, divisores ópticos, multiplexores y anomalías en el enlace (curvaturas muy pronunciadas en el cable, roturas, des-adaptación en el tamaño del núcleo de las fibras, etc.)

Se puede hacer en el upstream desde una salida del acoplador y en el downstream desde el OLT (son necesarias diferentes longitudes de fibra para cada ONU)

Protocolo de tests en instalaciones de FTTH

Passive Optical Networks (son redes NO conmutadas)



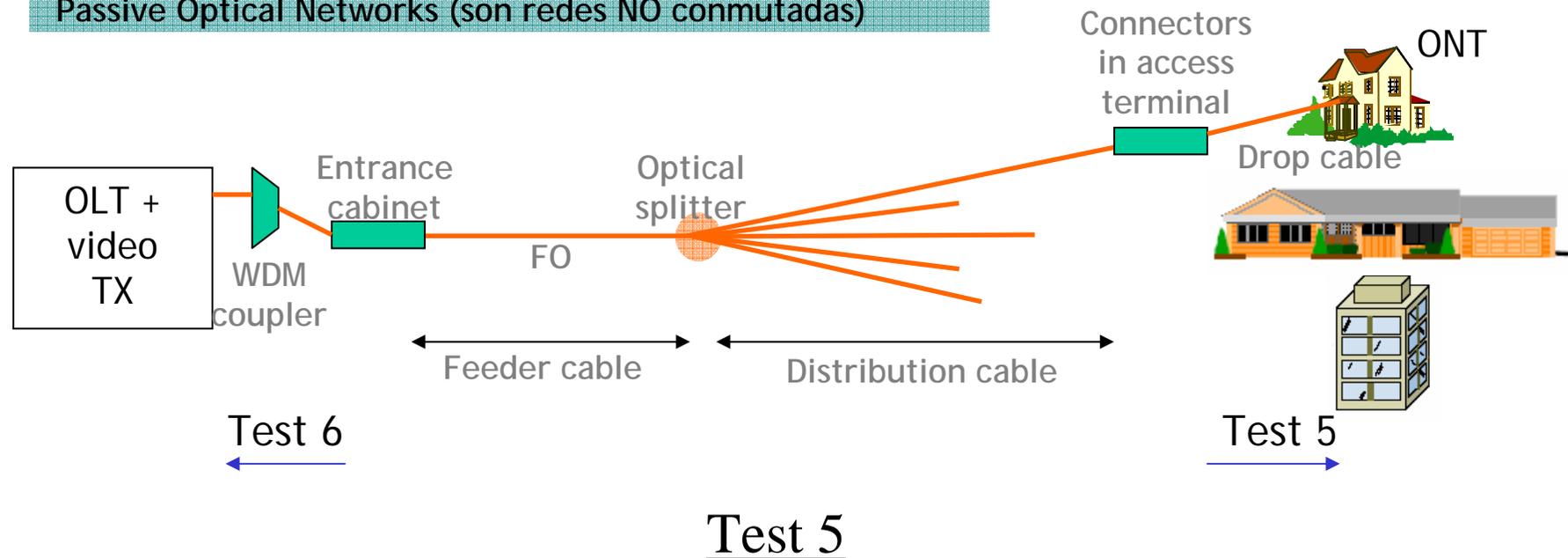
Test 4

Test 4

Medida bi-direccional de la ORL con (2) OLTS. Para una PON clase B, la potencia óptica reflejada debería estar al menos 30dB por debajo de la incidente. Generalmente, es aceptable un valor entre 30 y 35dB. Por debajo de 30dB se precisan medidas correctoras.

Protocolo de tests en instalaciones de FTTH

Passive Optical Networks (son redes NO conmutadas)

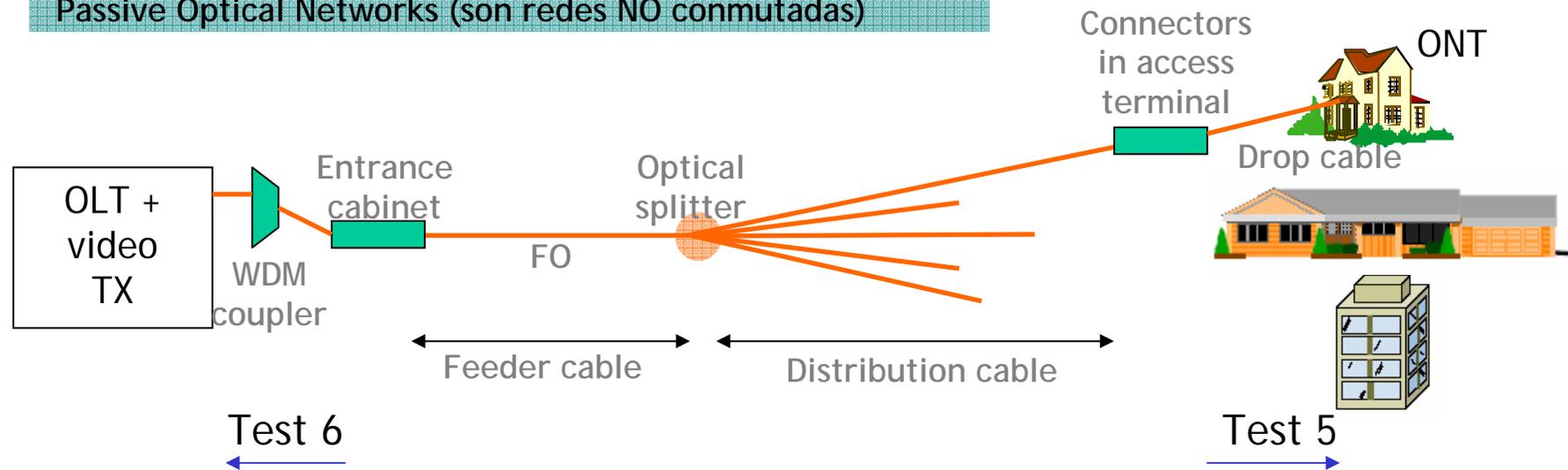


Medición de la potencia óptica que llega a cada ONT desde el equipamiento de la oficina central (medidor de potencia). Hay que hacer la comprobación a 1490nm y 1550nm.

No sólo hay que comprobar estos niveles a la entrada de cada ONT sino también en varios puntos de la red (potencias umbrales almacenadas en el medidor de potencia)

Protocolo de tests en instalaciones de FTTH

Passive Optical Networks (son redes NO conmutadas)

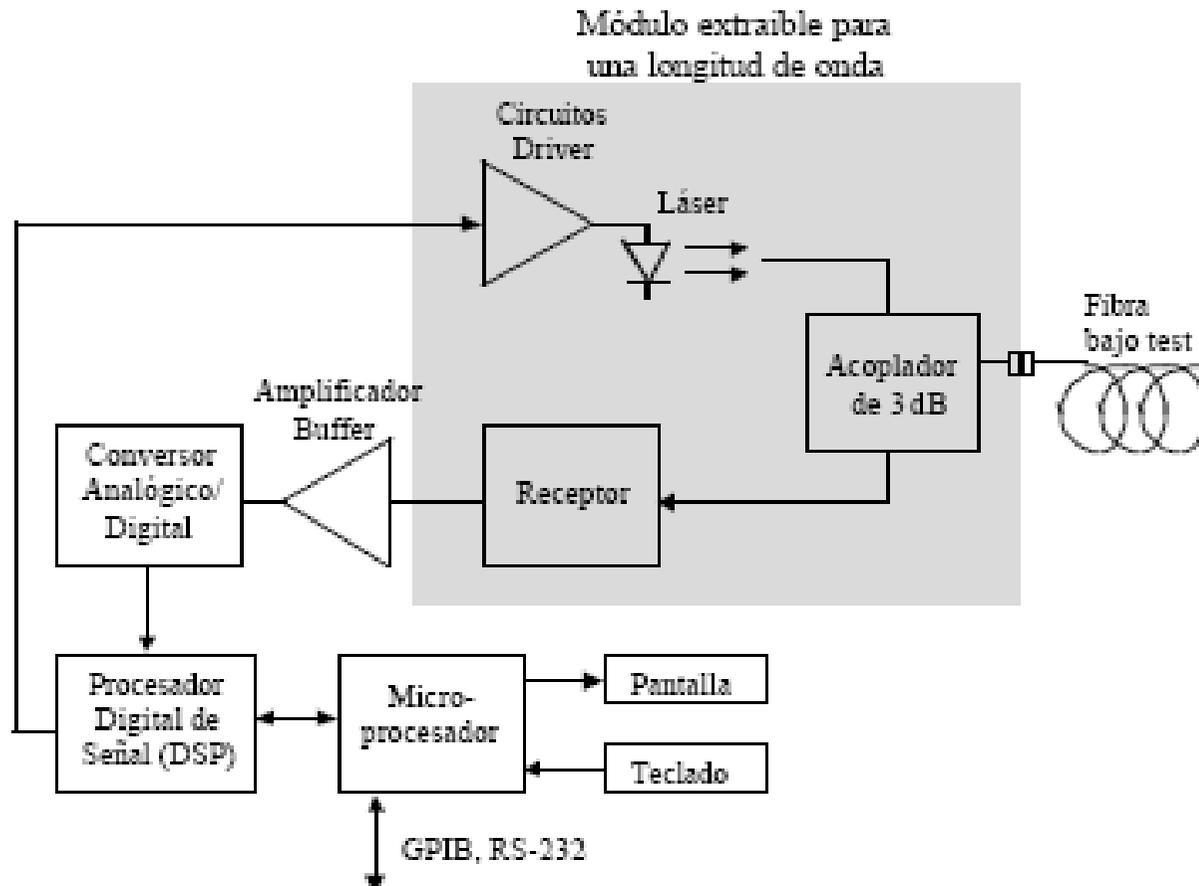


Test 6

Medición del nivel de potencia desde la ONT hacia la OLT a 1310nm (con un medidor de potencia óptica con capacidad pass-through ya que el ONT sólo responde a permisos de emisión concedidos por el OLT).

Se mide a la entrada de la OLT y en varios otros puntos de la red (potencias umbrales almacenadas en el medidor de potencia)

Principio de funcionamiento del OTDR



Atenuación de la potencia propagada por la fibra y por los componentes discretos (para el balance de potencia del enlace)

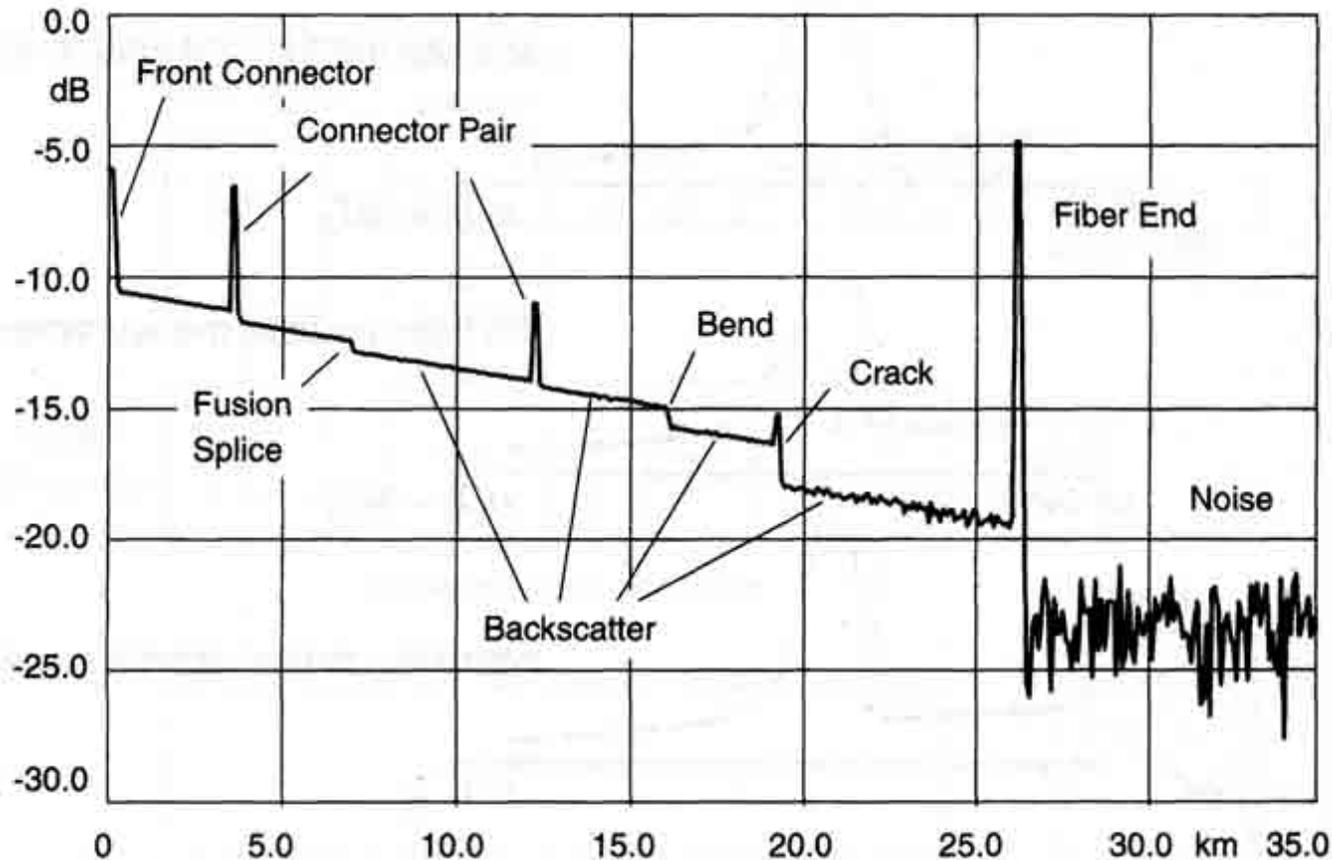
Reflectividad de componentes discretos

Localización de "eventos"

Parámetros críticos: anchura de los pulsos (resolución espacial) y energía de los pulsos (margen dinámico de medida). Pero la potencia no puede ser muy alta (efectos no lineales) -> compromiso

La velocidad de la conversión A/D también puede limitar la resolución espacial y el ruido shot del APD o el del TIA el margen dinámico -> promediado de medidas

Principio de funcionamiento del OTDR



Eventos reflexivos (Fresnel): conectores, empalmes mecánicos, grietas,...

Eventos no reflexivos (Rayleigh): empalmes por fusión, tramos de fibra, etc.

+ tabla de clasificación de eventos: características (pérdidas de inserción, reflectividad, posición,...) y tipos especiales (ecos)

Datos de entrada al OTDR: long. de onda de operación, índice de refracción, coef. de backscattering,...

Modos de funcionamiento: modo manual (ajuste manual de anchura, altura –range- y núm. de trazas promediadas) o modos automáticos que optimizan rango dinámico y resolución espacial en función de objetivos.

Parámetros de configuración para el Tektronix YSS1315

Test mode: manual o automático (Intellitrace Plus -> fastest de pocos promediados, rápido, pero con poca resolución espacial; standard; find most events de muchos promediados, muy lento; real-time test de adquisiciones únicas de poca resolución; end of fibre)

Wavelength: 1310 / 1550 nm (OTDR de fibra monomodo)

Refractive Index: índice de refracción a la long. de onda de la medida

Cabling factor: factor de cableado

Zero reference: origen de distancias de la medida

Backscatter coefficient: coeficiente de dispersión de Rayleigh

Event loss and reflectance thresholds: umbrales para pérdidas de inserción y reflectividad en un punto para ser considerado "evento". Sólo a efectos de clasificación en la tabla

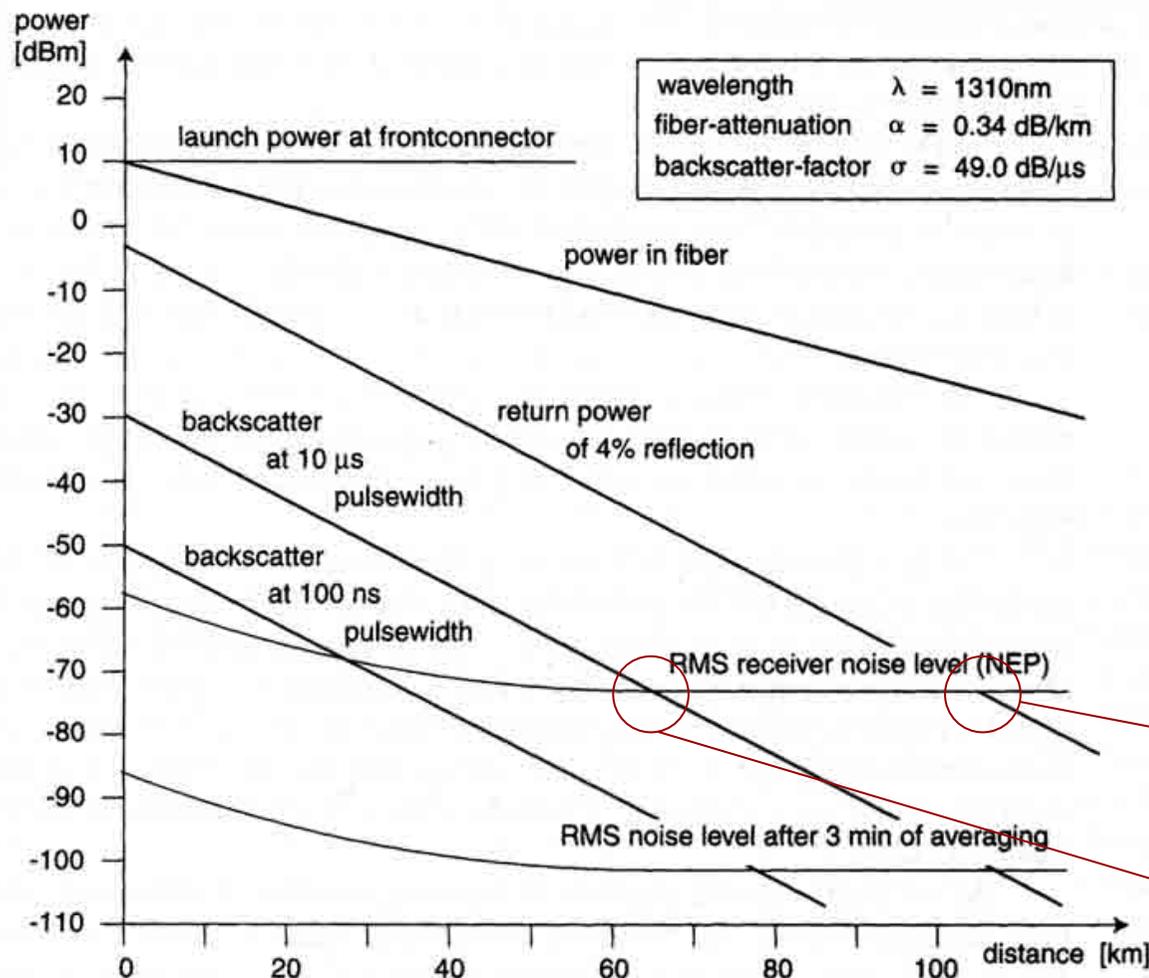
Front Panel Loss Warning (on/off): detección de fuerte reflexión de potencia al comienzo del enlace (conectores no limpios?)

Distance units: Km,...

End detection: umbral de pérdidas de inserción en un punto de la traza para que sea considerado final del enlace (altura del escalón entre el backscattering y el nivel de ruido). Si en la traza no aparece el final de la fibra -> aumentar anchura de pulso o su altura (range) o el núm. de adquisiciones en el modo manual o utilizar algún modo automático (end of fibre / find most events)

Power on settings: los parámetros anteriores se pueden guardar para el próximo uso del OTDR

Niveles de potencia de un OTDR



Potencia entregada por el láser = 13 dBm

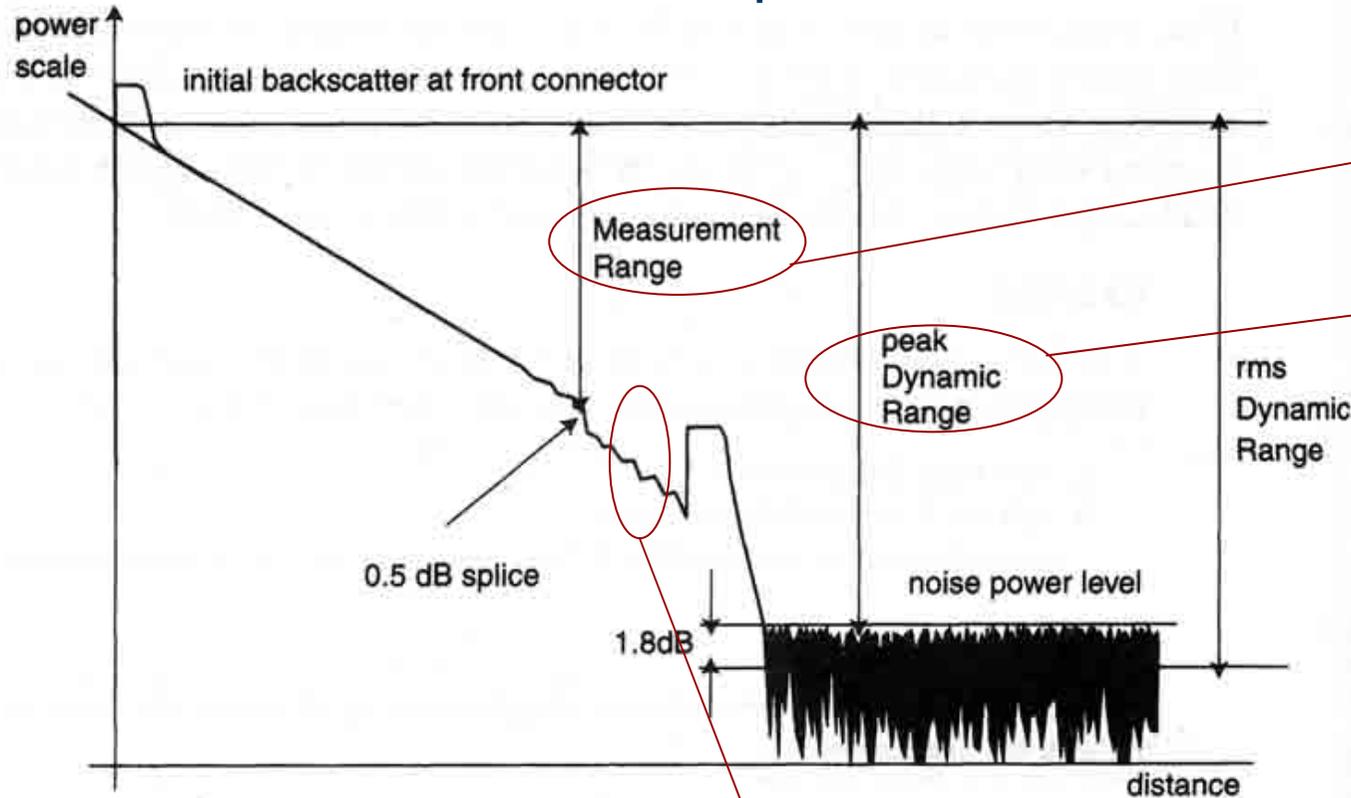
Pérdidas en acoplador = 3 dB

Potencia reflejada en interfaz vidrio/aire = 14dB

Punto de corte para mediciones de eventos reflexivos (Fresnel)

Punto de corte para mediciones de eventos no reflexivos (Rayleigh) -> depende de la anchura del pulso prueba

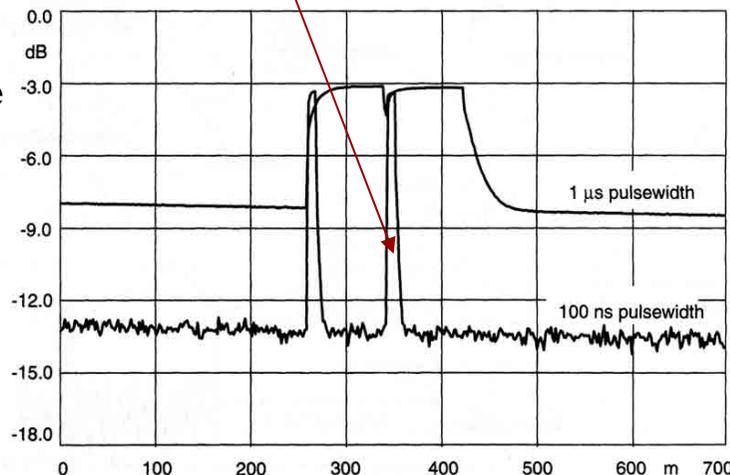
Niveles de potencia de un OTDR



Rango de medida

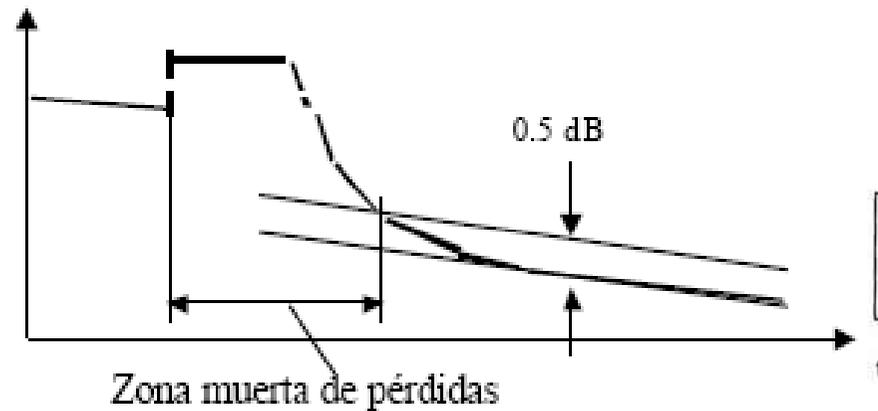
Margen dinámico (tras 3min de promediado del ruido) -> al 98% o RMS

Resolución espacial de extremo cercano (entre un evento reflexivo y otro no reflexivo) y resolución monoevento (paso del 10 al 90% de las pérdidas de un empalme por fusión o anchura FWHM de un evento reflexivo)

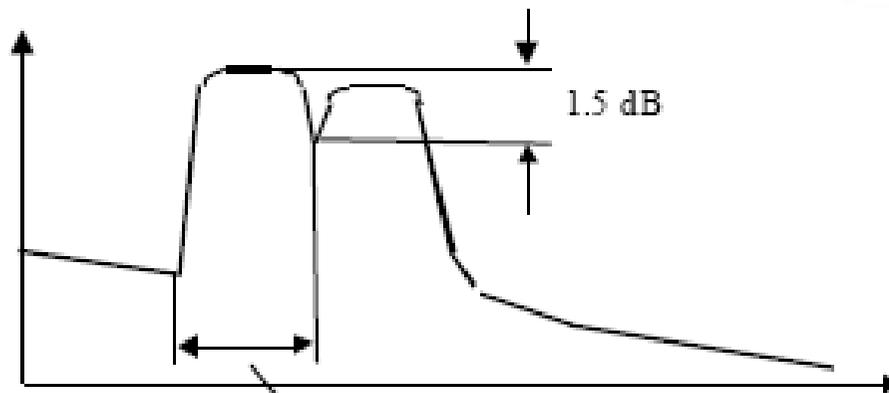


Medición de dos eventos reflexivos idénticos distanciados 100m con diferentes anchuras de pulsos prueba -> la reflectividad no se obtiene directamente a partir de la "altura" de los "pinchos" respecto al nivel de backscattering

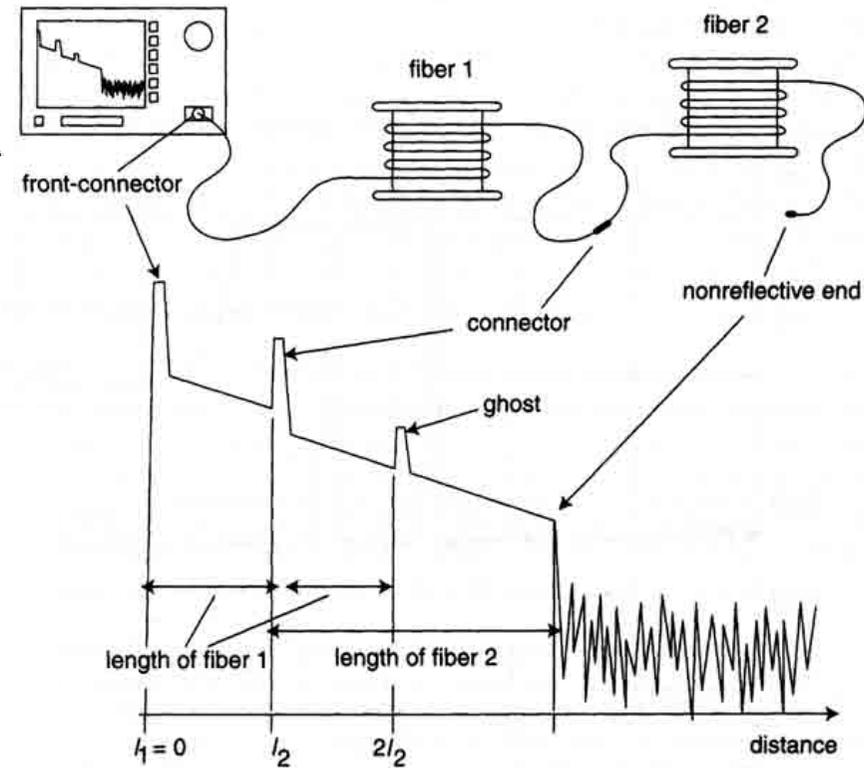
Zonas muertas y ecos



Zona muerta de pérdidas



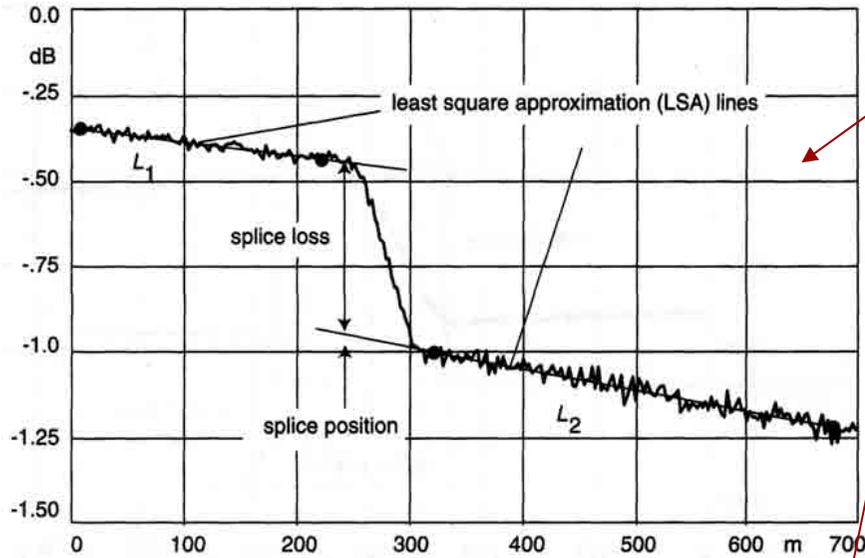
Zona muerta de eventos



Debido a la saturación del receptor por fuertes reflexiones

Debido a fuertes reflexiones, p.ej. por conectores en mal estado

Medida de las características de eventos

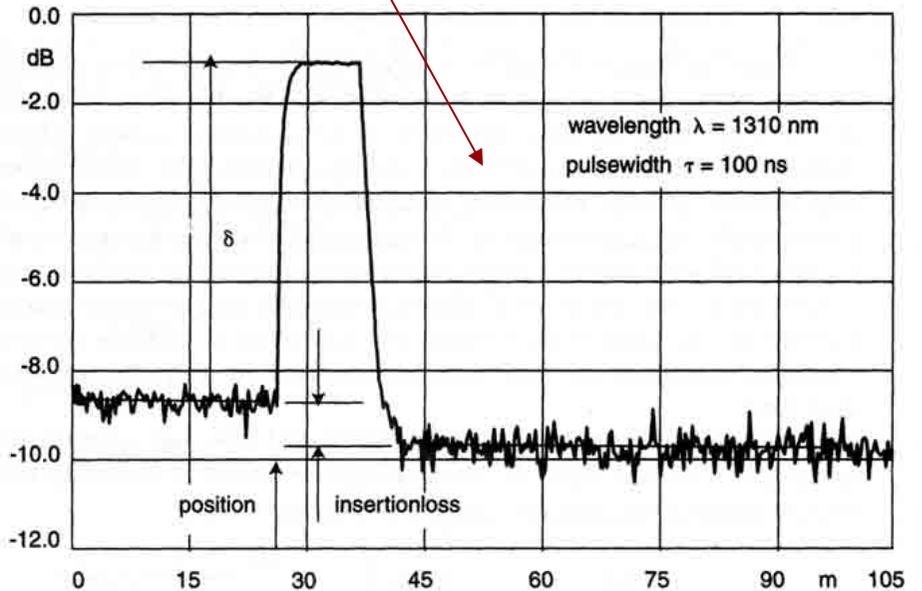
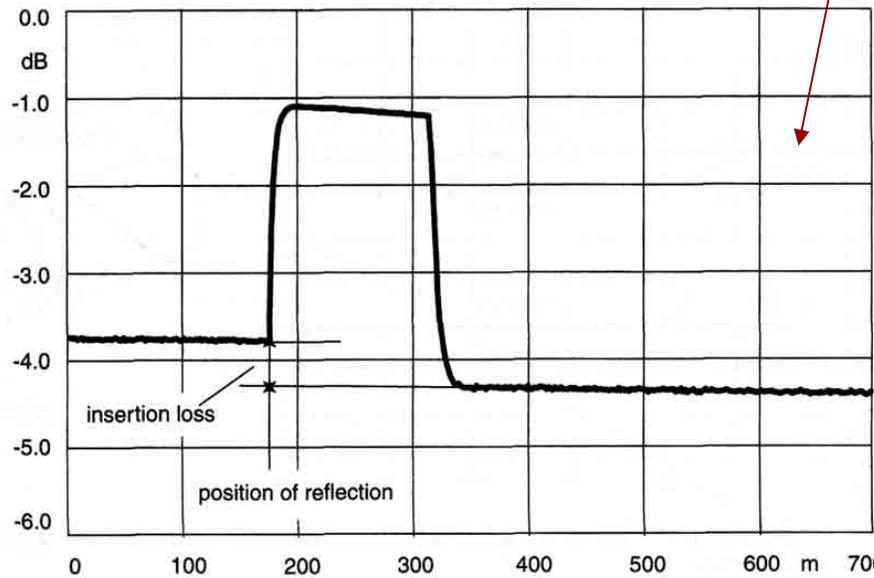


Posición y pérdidas de un evento no reflexivo

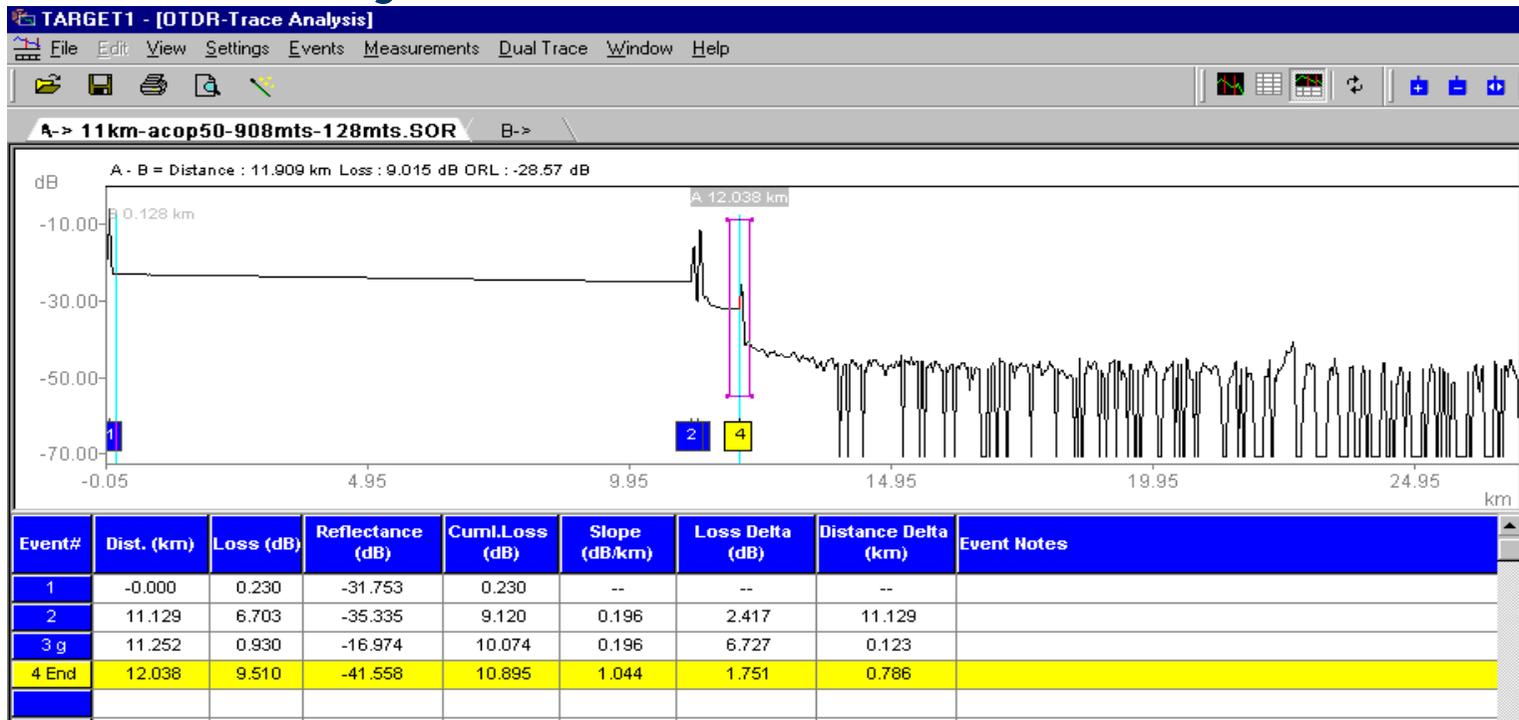
Posición y pérdidas de un evento reflexivo

Tabla que acompaña a la traza

Reflectividad de un evento reflexivo a partir de la altura del pico y el coef. de backscattering



Ejercicios de laboratorio



-Medida de la longitud de enlaces y atenuación de la fibra

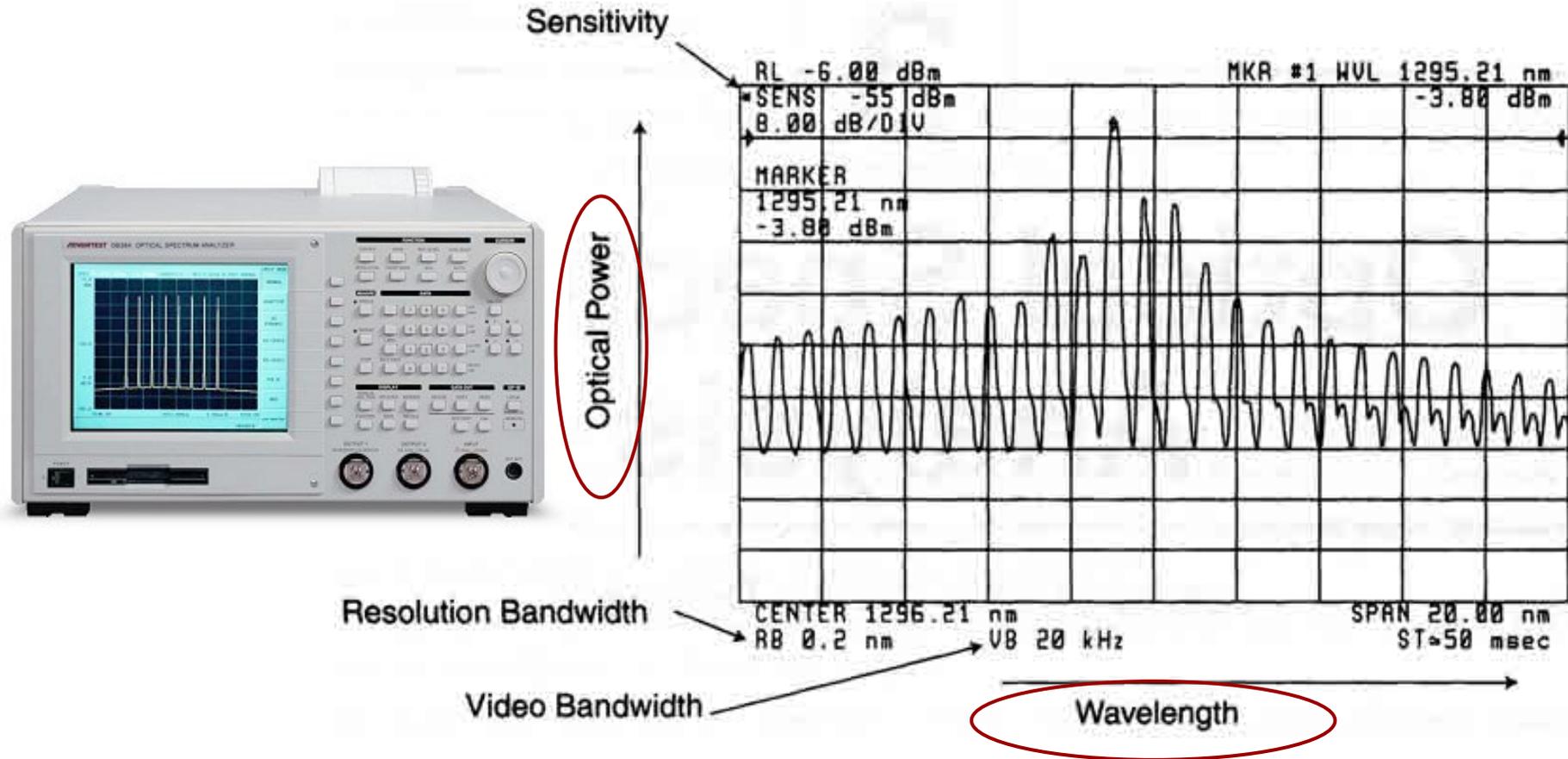
-Medida de reflectividad y pérdidas de componentes típicos: empalmes, conectores,...

-Trazas de enlaces punto-multipunto

-Etc.

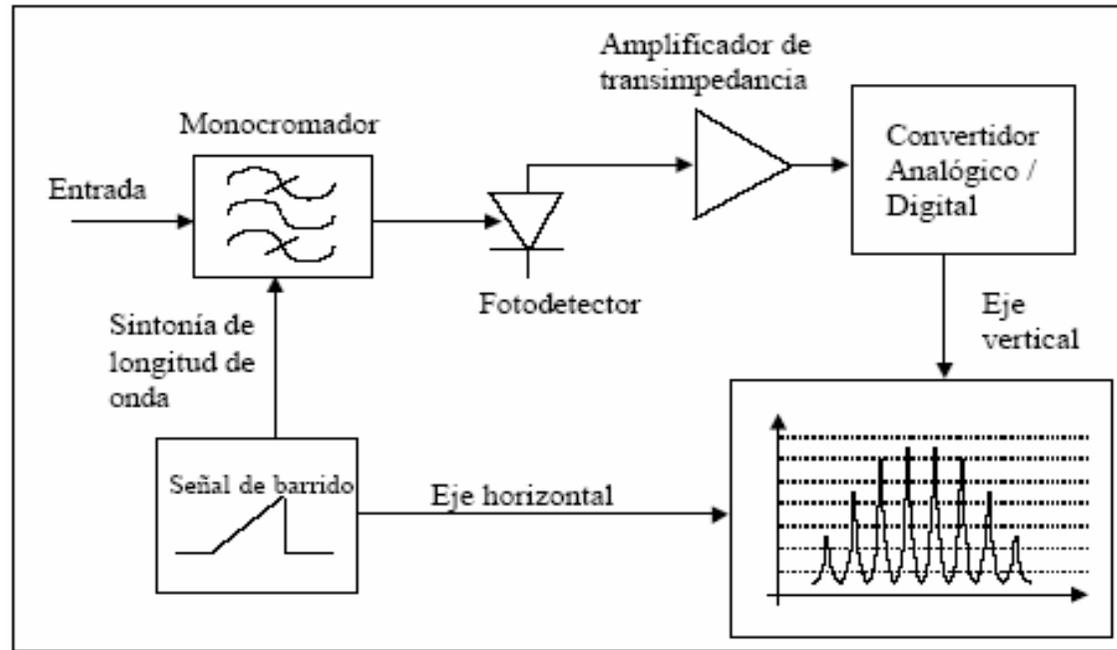


Utilización de los OSAs

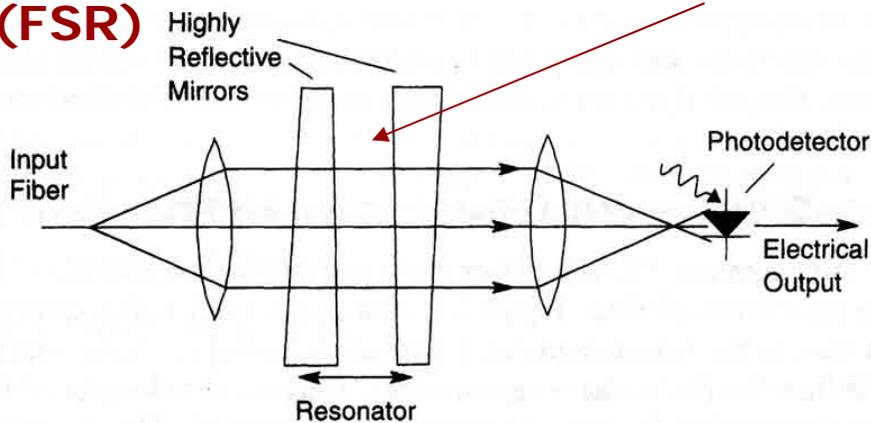


Verificación de sistemas WDM (OSNR y nivel de potencia por canal, caracterización de comportamiento en long. de onda de componentes pasivos, caracterización de EDFAs (ruido ASE, NF y G por canal amplificado), caracterización de fuentes (DFB, FP, LED)

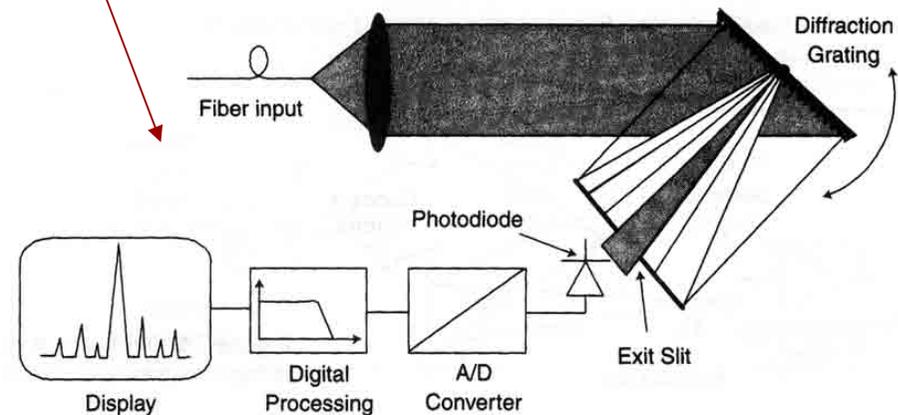
Principio de funcionamiento: OSA basado en monocromador



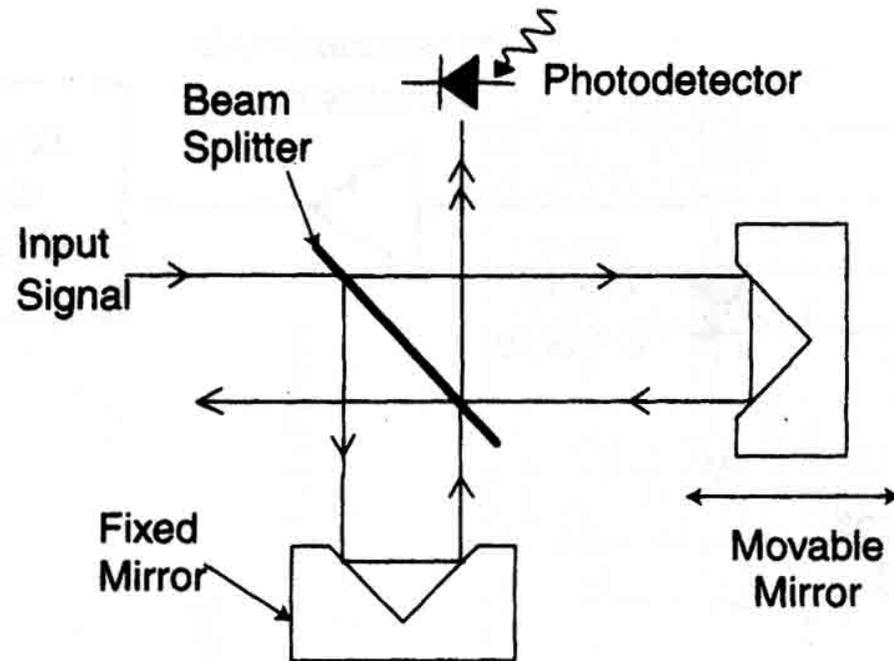
Monocromador de FP: gran resolución pero respuesta periódica (FSR)



Monocromador de red de difracción: el más utilizado con los OSAs



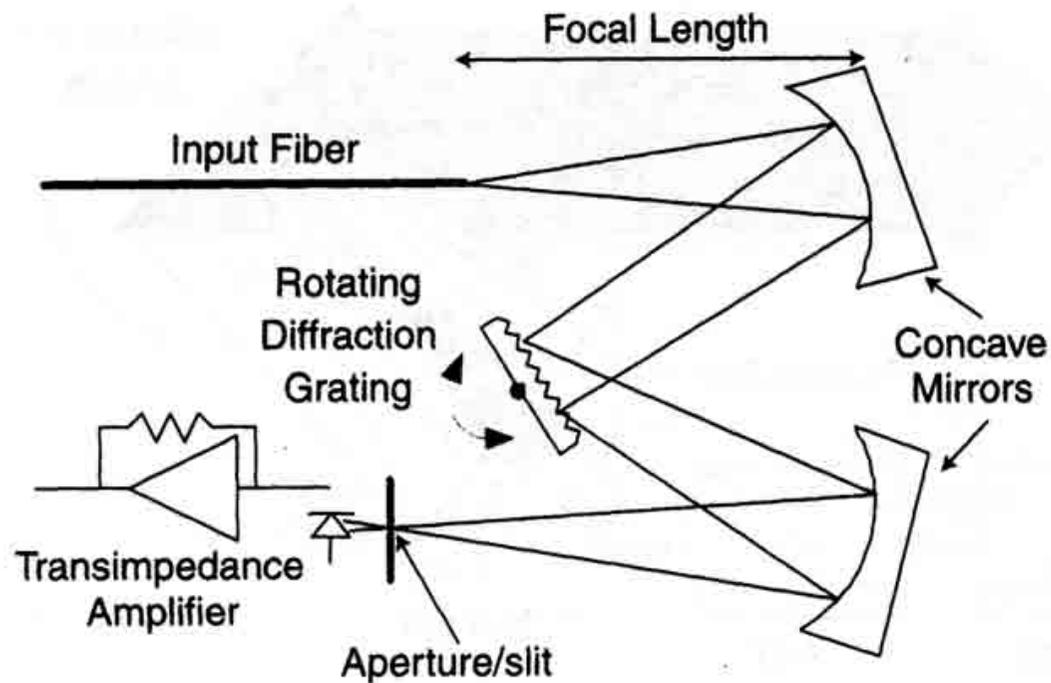
Principio de funcionamiento: OSA basado en interferómetro



- Interferómetro de Michelson
- Interferograma o autocorrelación de la señal de entrada
- Espectro en potencia de la señal a partir de la TF del interferograma

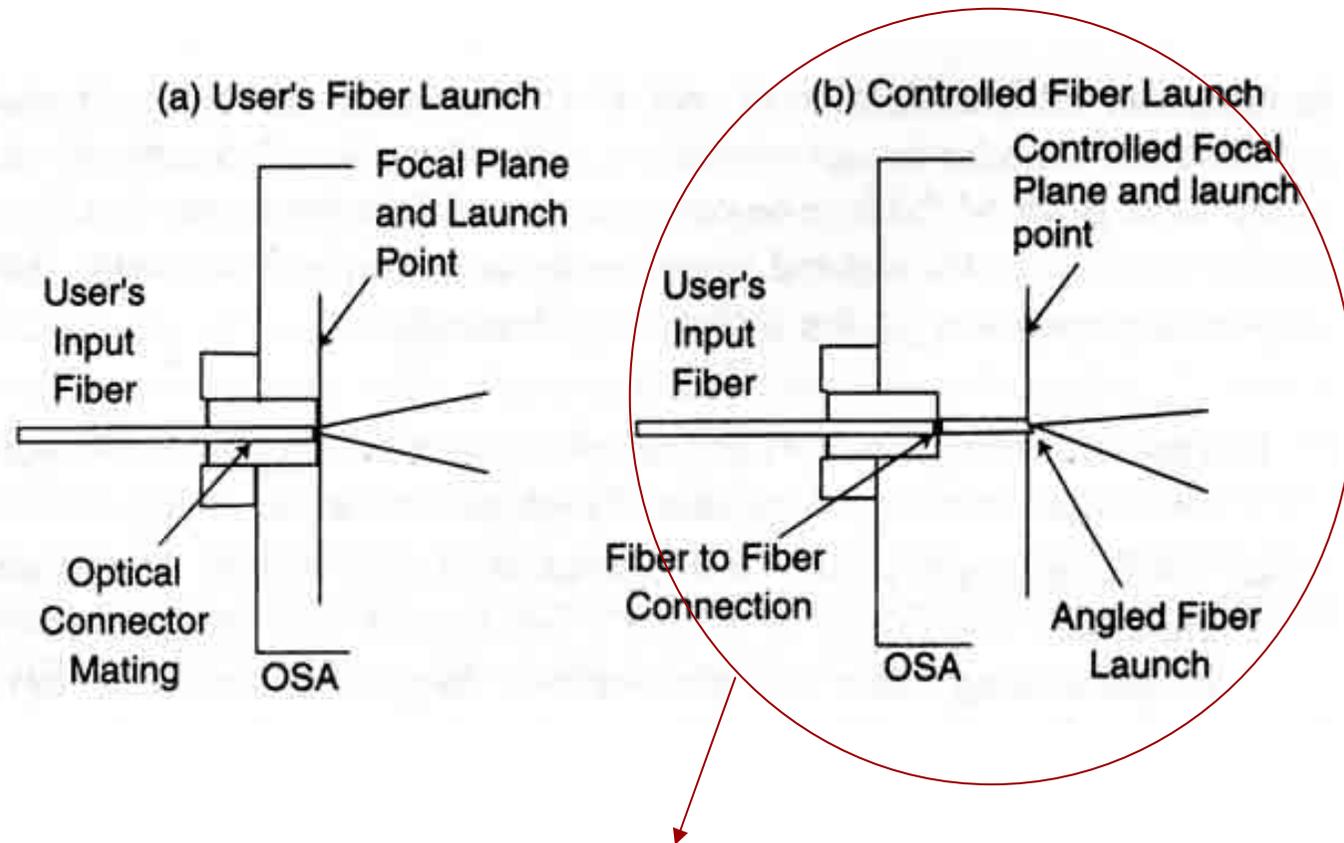
- Resolución depende de la anchura temporal de la ventana del interferograma (no suele ser muy grande porque se requieren desplazamientos muy amplios pero precisos)
- No mucho rango dinámico porque el fotodetector detecta potencias de niveles muy dispares
- Los OSAs habituales son los basados en monocromador

Elementos del OSA basado en monocromador



- Apertura de entrada y apertura de salida + fotodetector
- Sistemas ópticos de colimación y enfoque
- Red de difracción

Apertura de entrada



Solución preferida: posición controlada de la fibra respecto al sistema óptico de colimación y fibra de recepción pulida en ángulo. Pero las características de la fibra de recepción pueden ser distintas a las del usuario!

Sistemas ópticos de colimación y enfoque

A partir de espejos o lentes:

- Tanto espejos como lentes pueden tener una alta reflectividad (espejos) o transmisión (lentes) para no introducir pérdidas de inserción (reducir la sensibilidad del OSA)

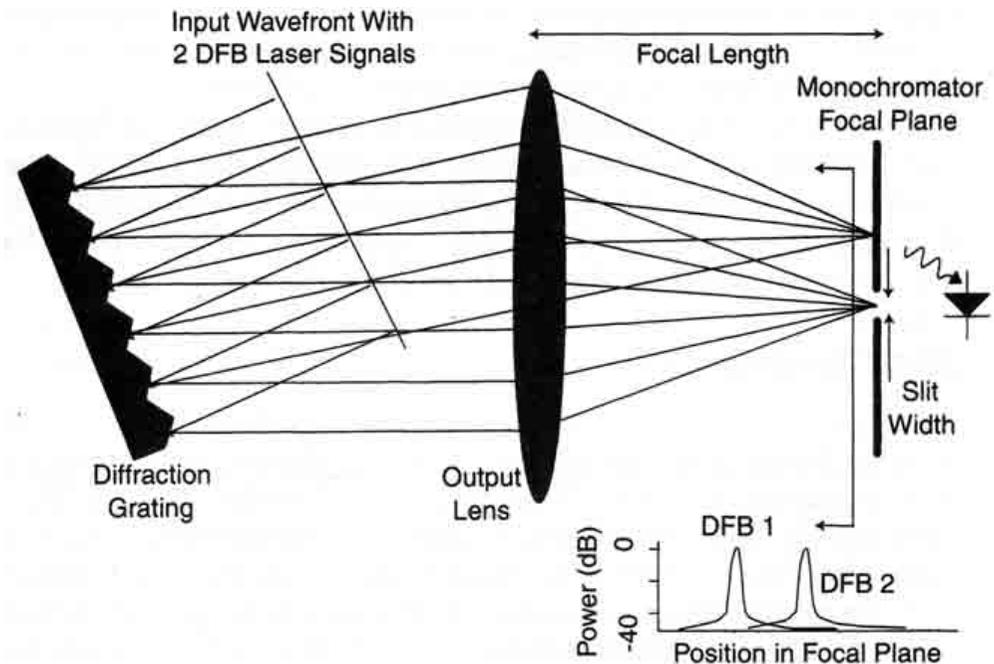
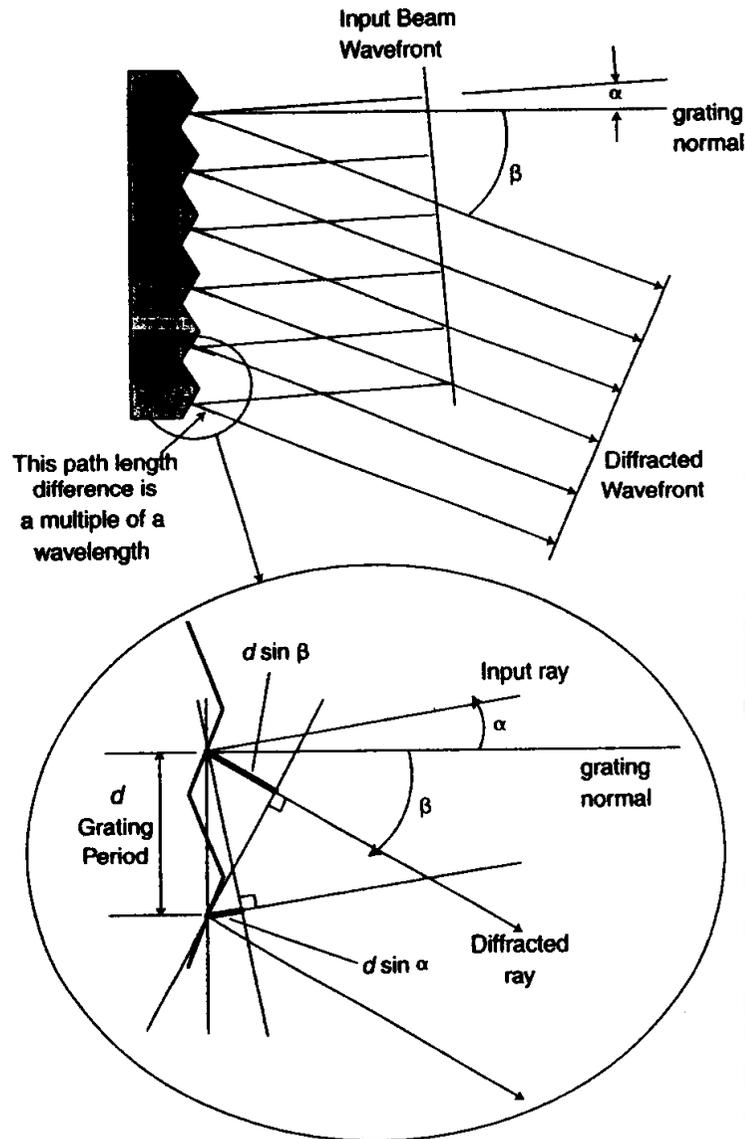
- Es más económico hacer espejos grandes que lentes grandes, y el tamaño de los sistemas ópticos de colimación y enfoque debe ser grande para un alto ancho de banda de resolución (como se puede demostrar sencillamente)

- La aberración cromática de los espejos es en general inferior a la de las lentes (aberración: distancia focal indpte. de la long. de onda de operación)

SOLUCIÓN ESTÁNDAR: USO DE ESPEJOS

Red de difracción

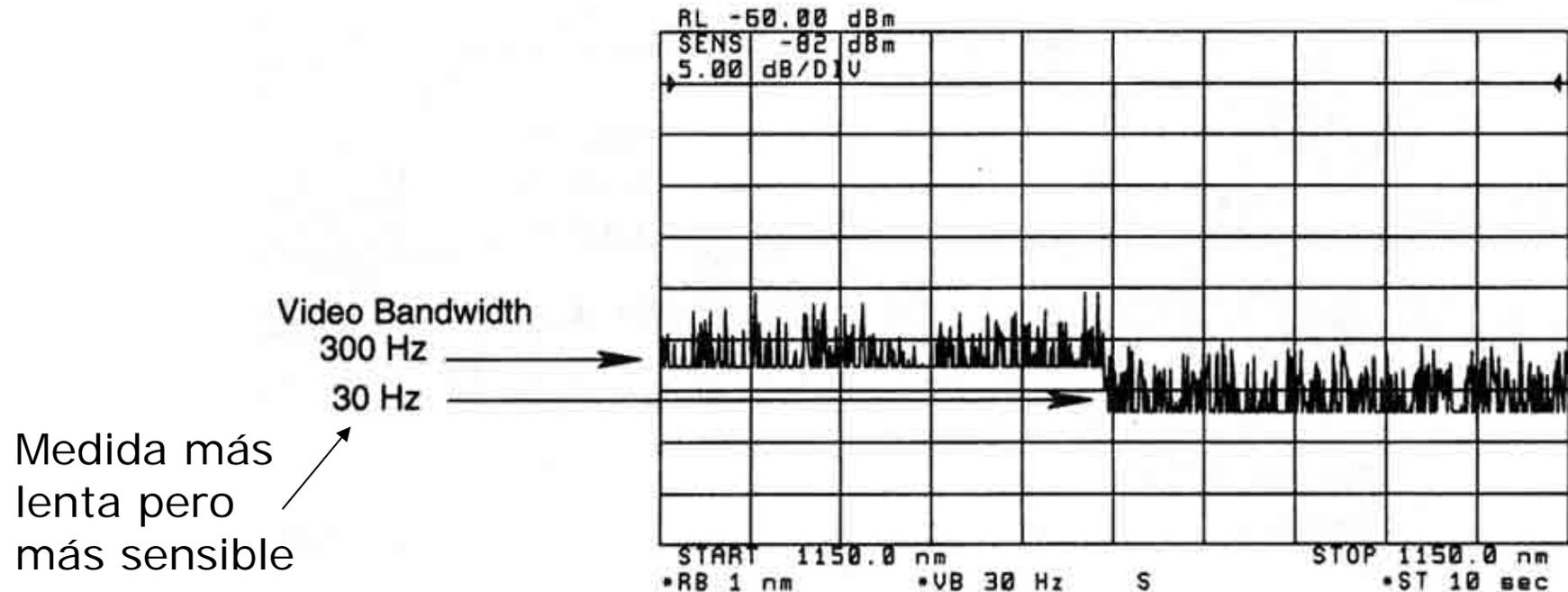
El **ancho de banda de resolución** de la red de difracción (debido a la divergencia del haz difractado) menor conforme mayor es la superficie iluminada -> red (y sistemas ópticos) grandes



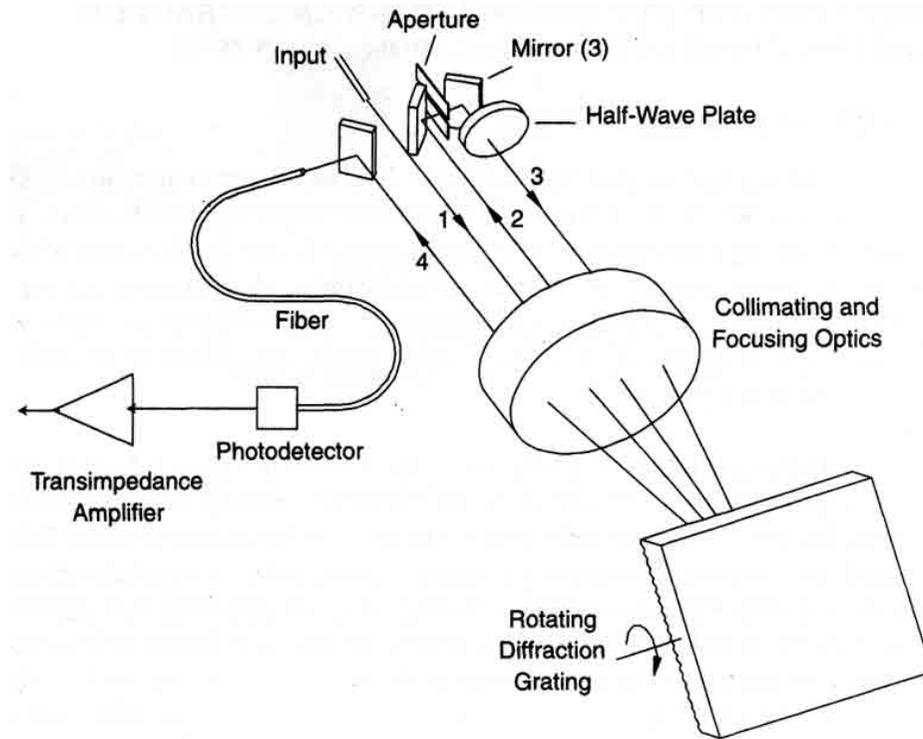
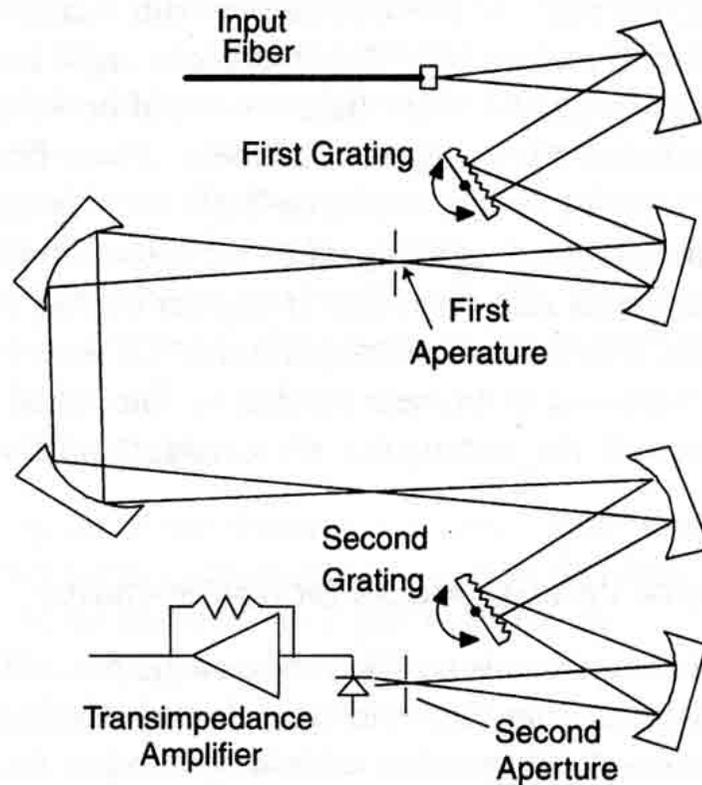
Margen dinámico de medida:
dependiente de la forma del filtro óptico

Apertura de salida y fotodetector

- Inevitables pérdidas de inserción entre la imagen focalizada y la fibra óptica de recogida.
- Sensibilidad del OSA: ruido del fotodetector, ruido del TIA, pérdidas de inserción de los sistemas ópticos, etc. -> Ancho de banda de vídeo (VB) / tiempo de barrido (ST). La sensibilidad está desacoplada de la resolución en un OSA.



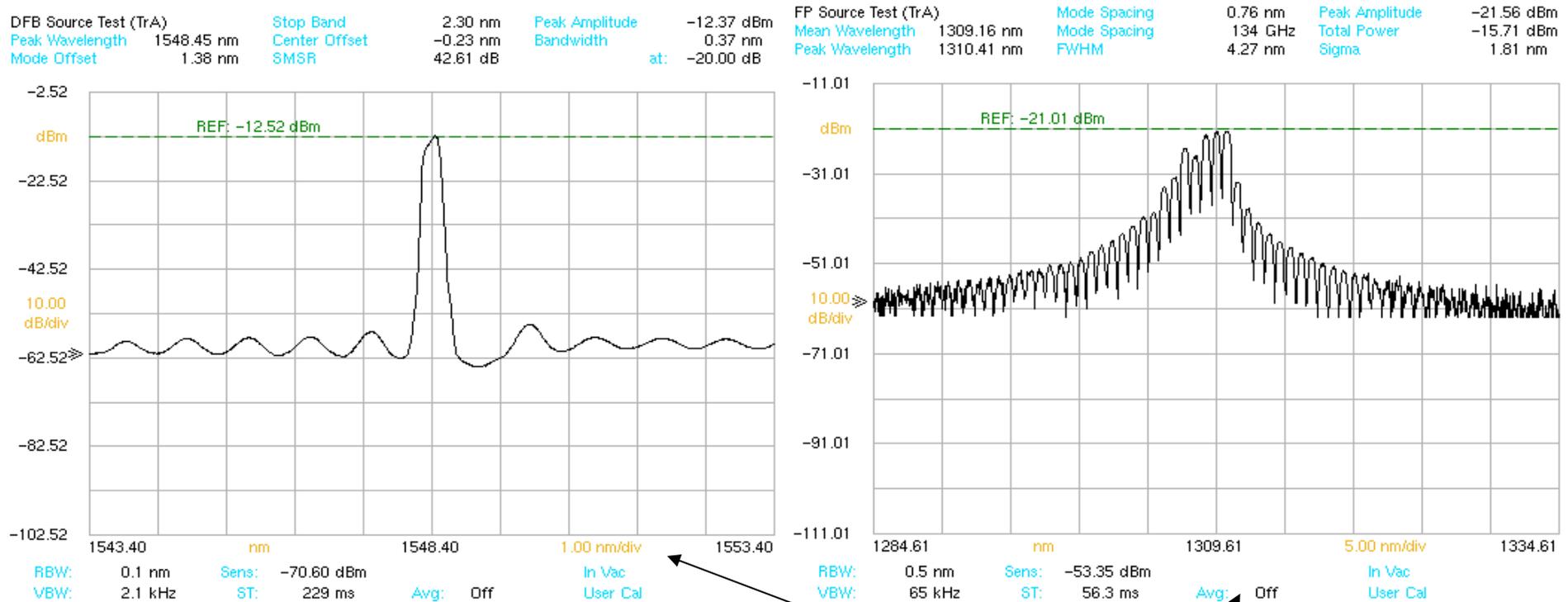
Otras configuraciones de monocromador en un OSA



Monocromador doble: mejor resolución y mayor rango dinámico que un monocromador simple. Però la sensibilidad es menor porque se suman las pérdida de inserción de dos monocromadores simples y el acoplo entre monocromadores no es sencillo

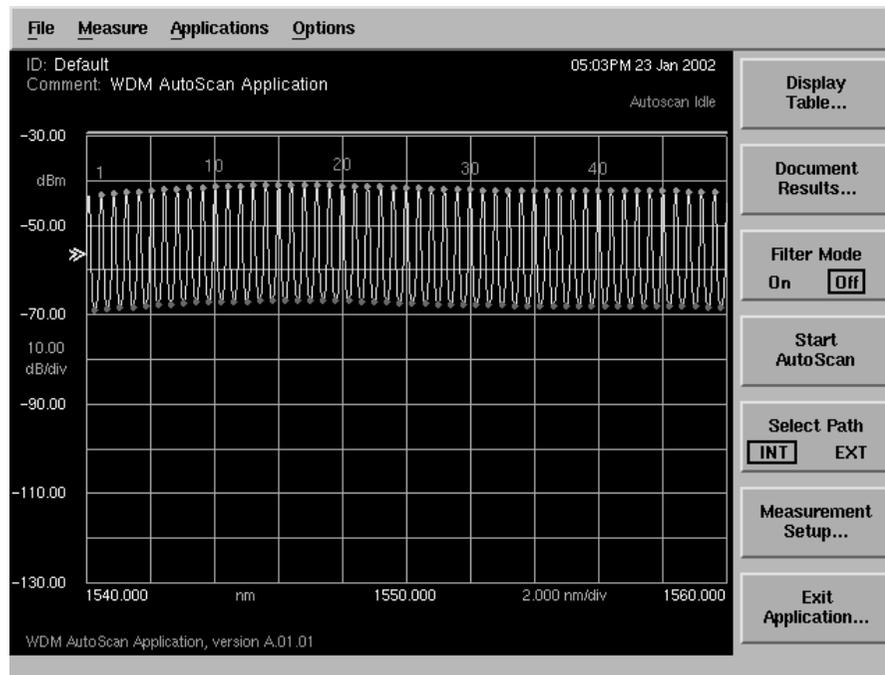
Monocromador de doble paso: mejor resolución que los monocromadores simples. Rango dinámico similar a un monocromador doble. Similar tamaño y sensibilidad que un monocromador simple

Aplicaciones del OSA: caracterización de fuentes de luz



Rutina de caracterización de fuentes DFB, FP y LED -> Arranca la rutina, pregunta el tipo de fuente que se quiere caracterizar, hace preguntas mínimas, ajusta los parámetros del OSA (sensibilidad, resolución) y muestra los principales parámetros de la respuesta en longitud de onda de la fuente

Aplicaciones del OSA: caracterización de sistemas WDM

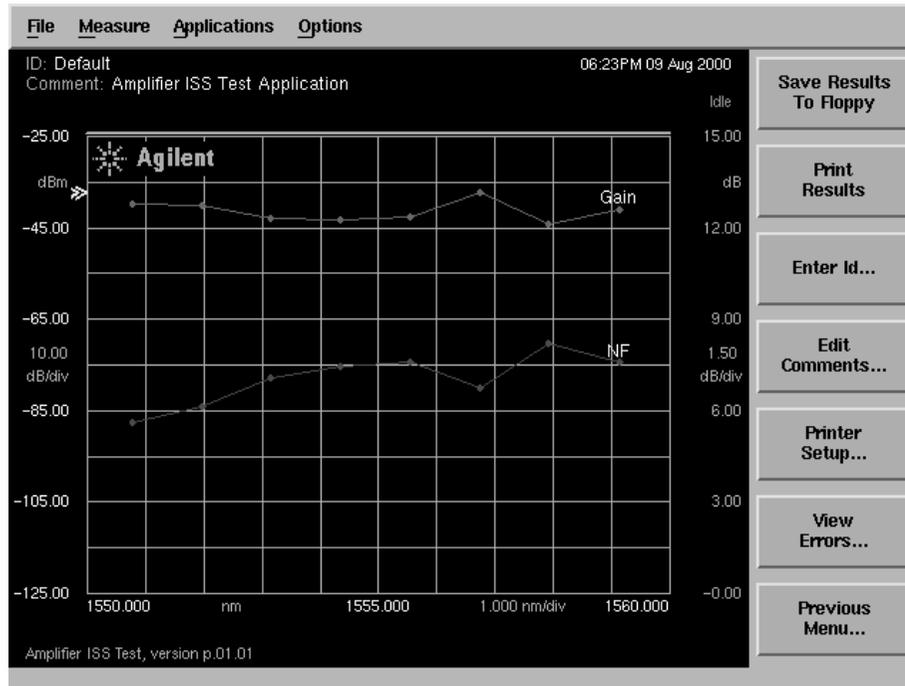


Channel #	Wavelength (nm)	Power (dBm)	OSNR (dB)
48	1559.225	-42.55	24.42
49	1559.625	-42.64	24.46
Min Power			
1		-43.12	
Max Power			
16		-41.04	
Min OSNR			
48			24.42
Max OSNR			
16			24.52
Span Tilt (dB/nm)			
		-0.034	
Span Tilt (dB)			
			-0.65
Peak-Peak Dev			
			2.08

WDM AutoScan Application, version A.01.01

Caracterización de fuentes WDM o de componentes WDM.
Resultados por canal: potencia y OSNR

Aplicaciones del OSA: caracterización de EDFAs



Agilent OSA software interface showing a table of Wavelength, Source Power, Gain, and Noise Figure. The table has 5 columns: Wavelength (nm), Source Power (dBm), Gain (dB), and Noise Figure (dB). The software version is Amplifier ISS Test, version p.01.01.

Wavelength (nm)	Source Power (dBm)	Gain (dB)	Noise Figure (dB)
1554.355	-16.110	12.265	7.457
1555.551	-12.800	12.357	7.602
1556.735	-12.930	13.145	6.763
1557.925	-11.390	12.129	8.200
1559.127	-10.920	12.609	7.581
Source Mean Wvl	Sum of Src Sig Pwr		
1556.828	-5.080		
Amplifier MeanWvl	Sum of Amp Sig Pwr		
1556.828	7.440		

Rutina en dos pasos: primero la fuente (WDM) se conecta directamente a la entrada del OSA. Luego se interpone el EDFA.

La gráfica y la tabla muestra la Ganancia y Figura de Ruido por canal óptico

Aplicaciones del OSA: caracterización de componentes pasivos

- Varias opciones: TL + PM, ASE del EDFA + OSA
- OSA con fuente de luz blanca incorporada es otra opción
- Rutina en dos pasos: primero caracterización de la fuente de luz blanca y luego se interpone el componente pasivo
- Programación de rutinas de lectura automática de parámetros interesantes para el componente pasivo