

Título Comunicaciones por Fibra Óptica. Tendencias y Avances recientes

Tipo de Producto Ponencia resumen

Autores E.E. Sicre y R. Duchowicz

Código del Proyecto y Título del Proyecto

P14T02 - Desarrollo de sensores por fibra óptica: Análisis de esquemas de multiplexación e implementación de dispositivos para diversas aplicaciones metrológicas
Responsable del Proyecto

Esteban Sicre

Línea

Aplicaciones especiales de Fibra óptica

Área Temática

TIC

Fecha

Septiembre 2014

INTEC

Instituto de Tecnología

UADE



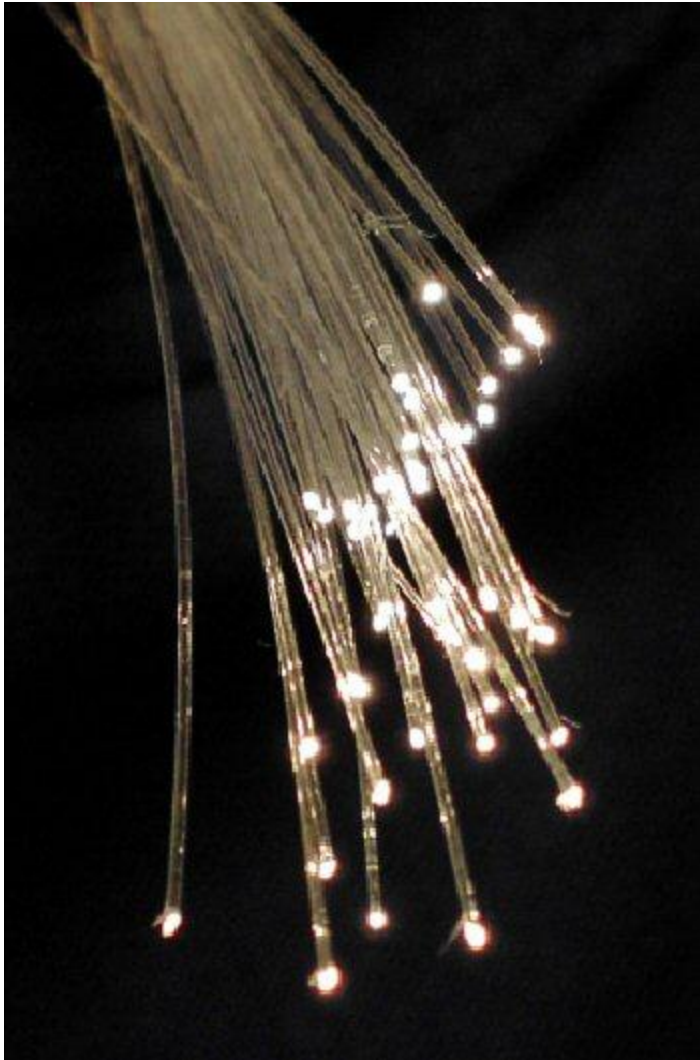
TERCER SIMPOSIO SOBRE REDES
ÓPTICAS
BUENOS AIRES, 18 DE SEPTIEMBRE 2014



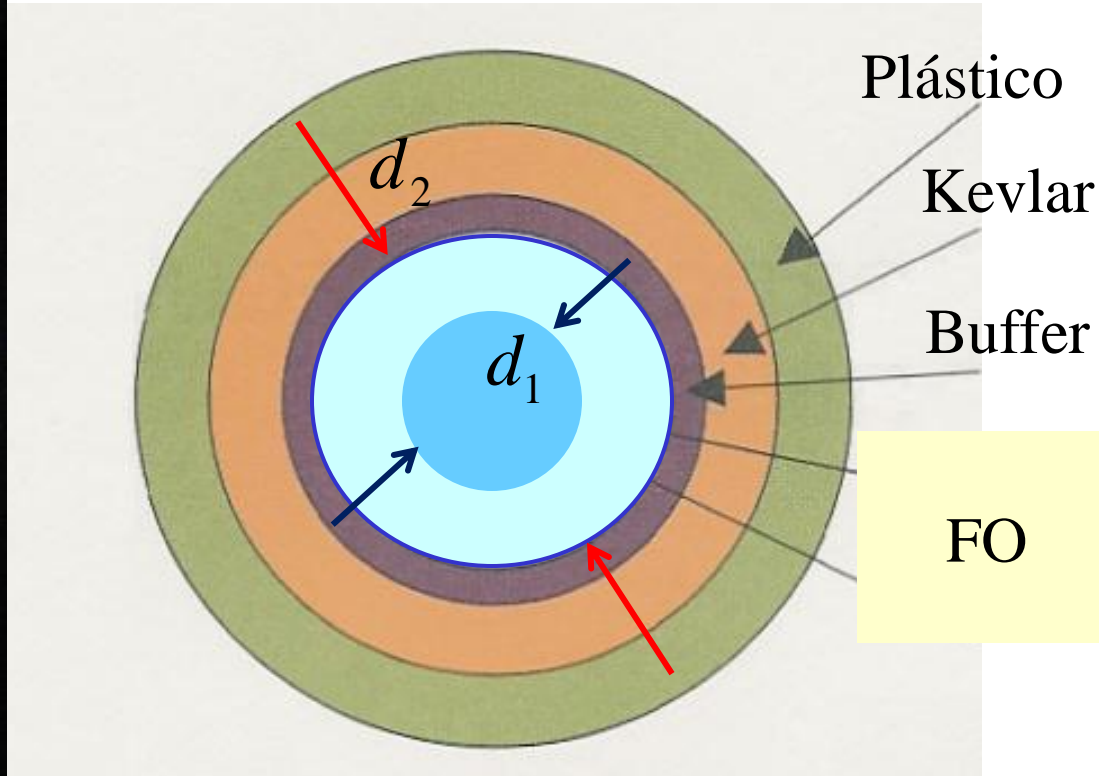
Comunicaciones por fibras ópticas. Tendencias y avances recientes

Enrique E. Sicre (Intec, UADE)

Ricardo Duchowicz (CIOp, CONICET)



- *Estructura básica de un cable de fibra óptica:*



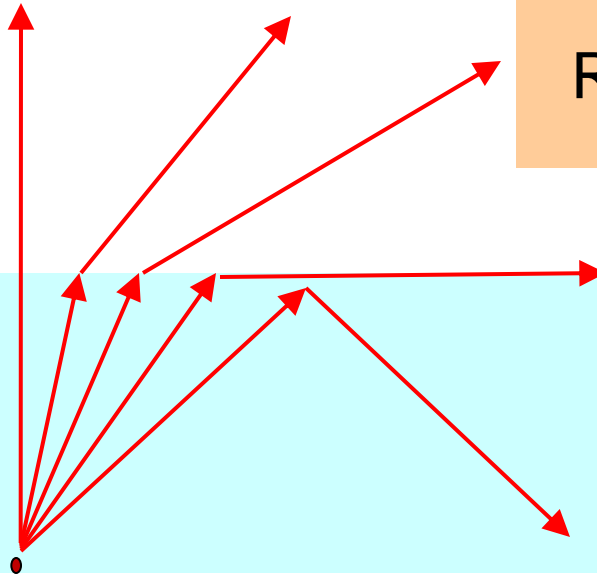
Diámetro de las FO $\longrightarrow d_2 = 125 \mu m = 0,125 mm$ (cubierta)

$d_1 = 62,5 \mu m$ (núcleo, FO MM) $d_2 = 8-9 \mu m$ (núcleo, FO SM)

Medio menos denso
(ejemplo: aire)

Medio más denso
(ejemplo: agua)

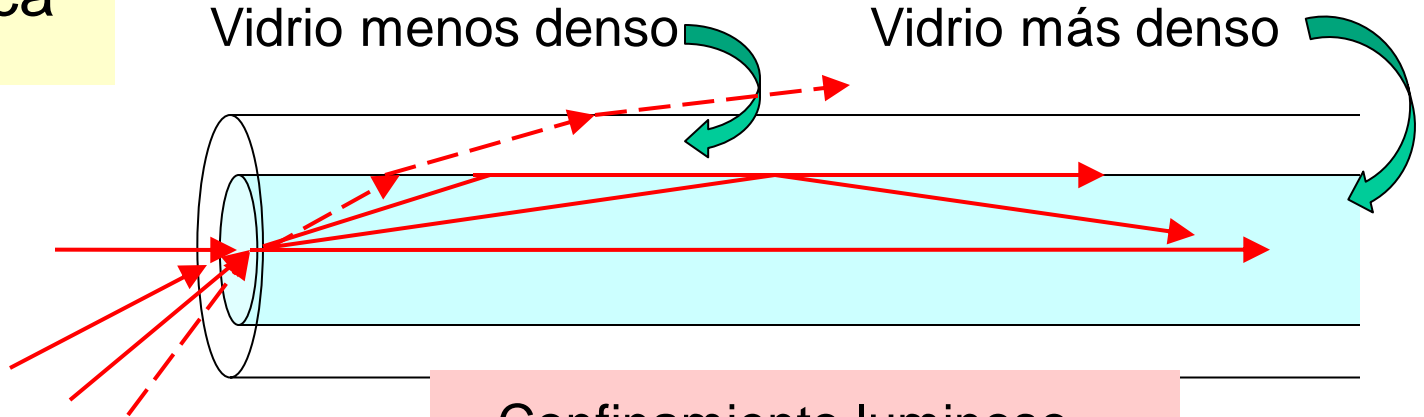
Refracción



Fibra óptica

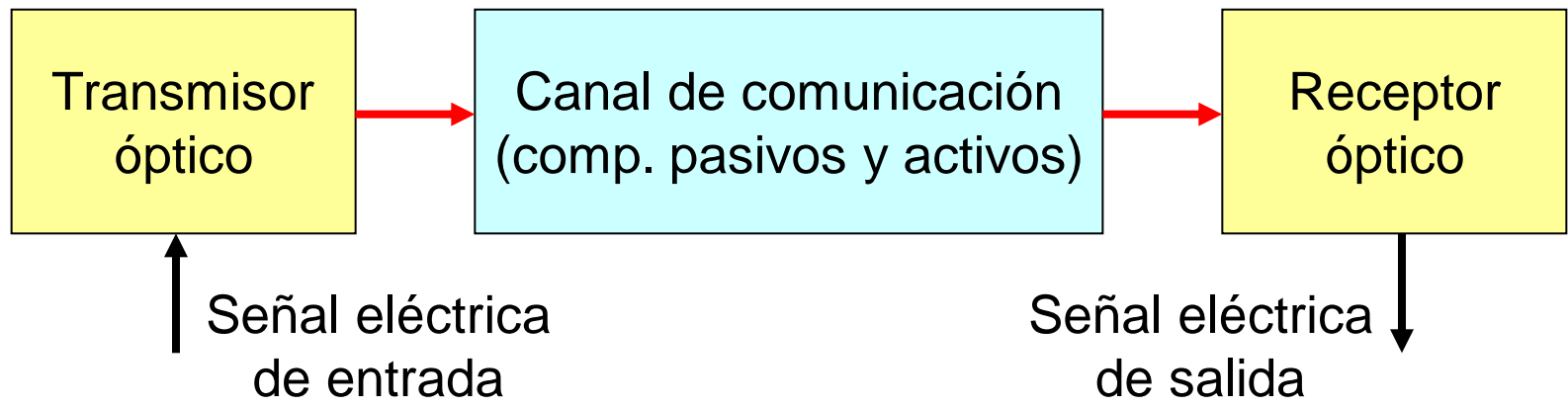
Vidrio menos denso

Vidrio más denso



Confinamiento luminoso

■ Esquema general de un sistema de comunicaciones:

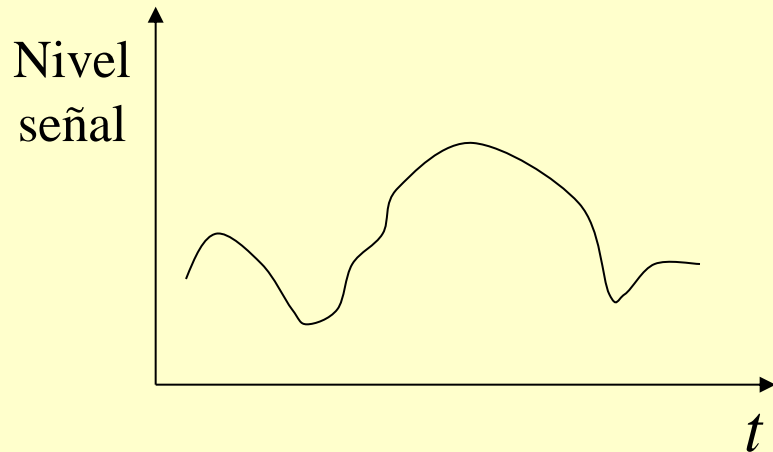


- Canal
 - Aire o Vacío
 - Medio dieléctrico guiado → Fibra óptica

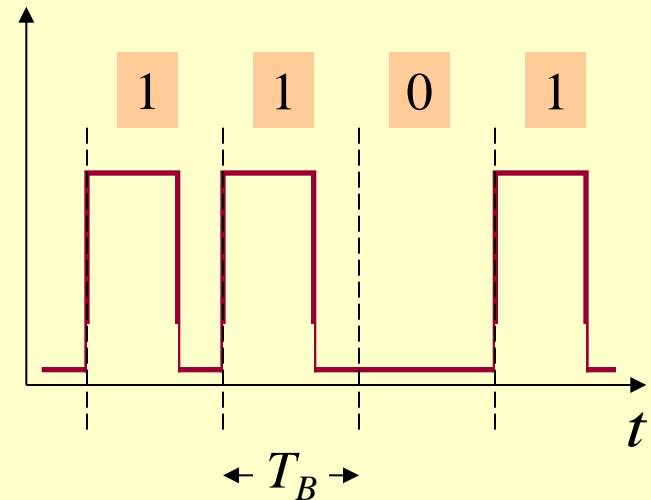
■ Tipo de señales:

✓ Información a transmitir \longrightarrow Señal eléctrica

Analógica

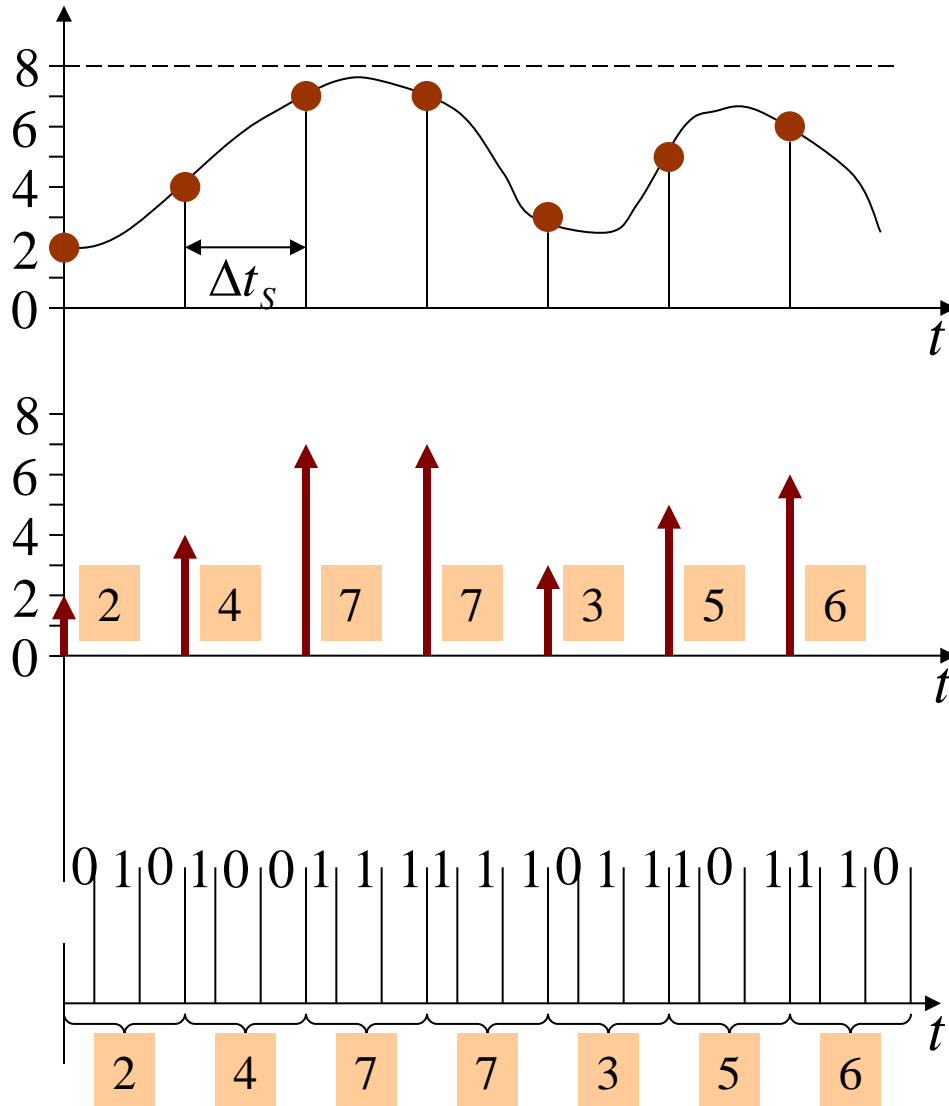


Digital (preferida por ser mucho más insensible al ruido!)



✓ Cantidad de información transmitida (Tasa): $B = 1/T_B$

➤ Conversión analógica-a-digital:



Señal analógica

Señal muestreada

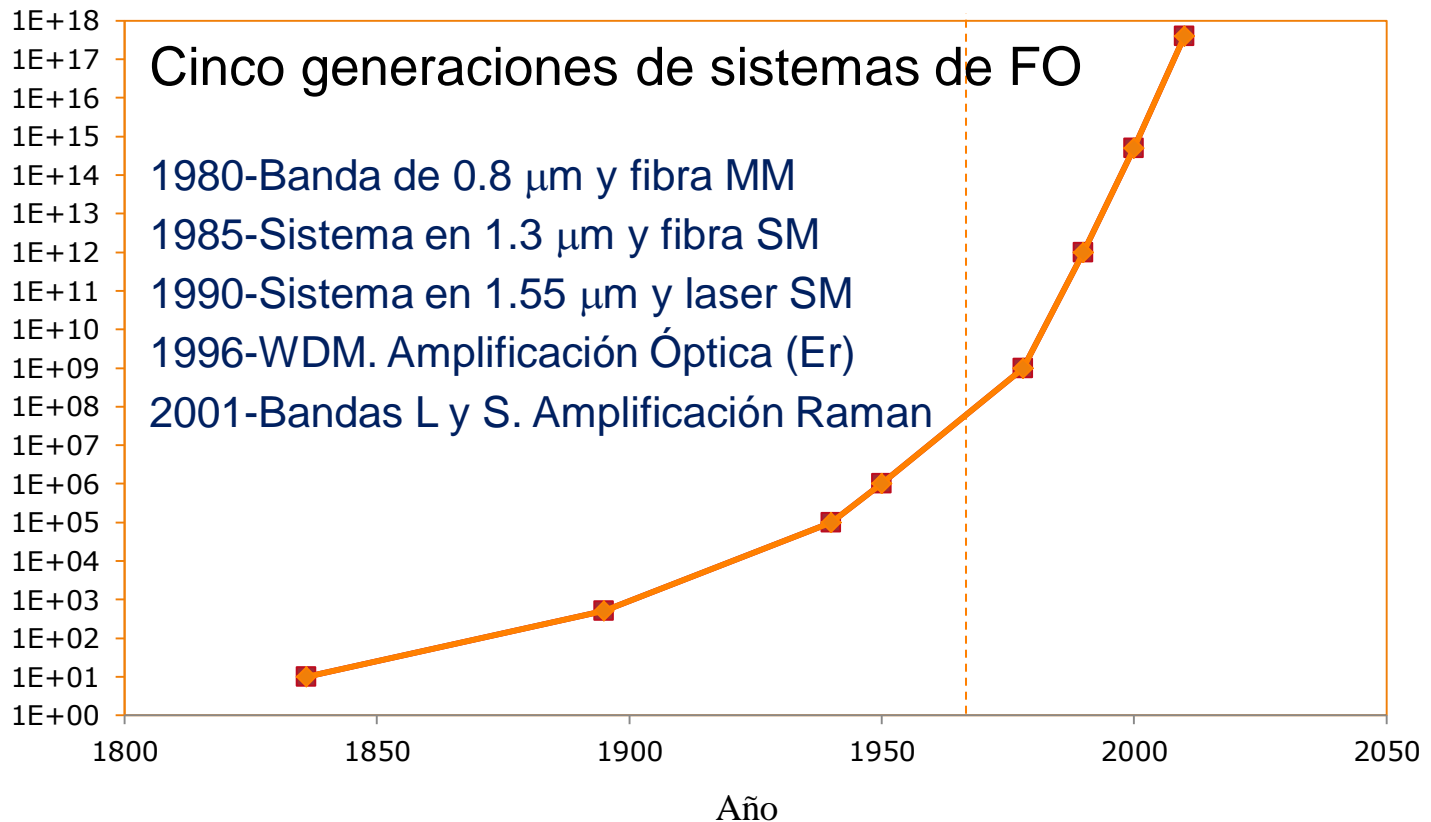
Señal binarizada

$$S_k = b_1 2^2 + b_2 2^1 + b_3 2^0$$

Evolución histórica de los sistemas de comunicaciones

Curva de crecimiento exponencial

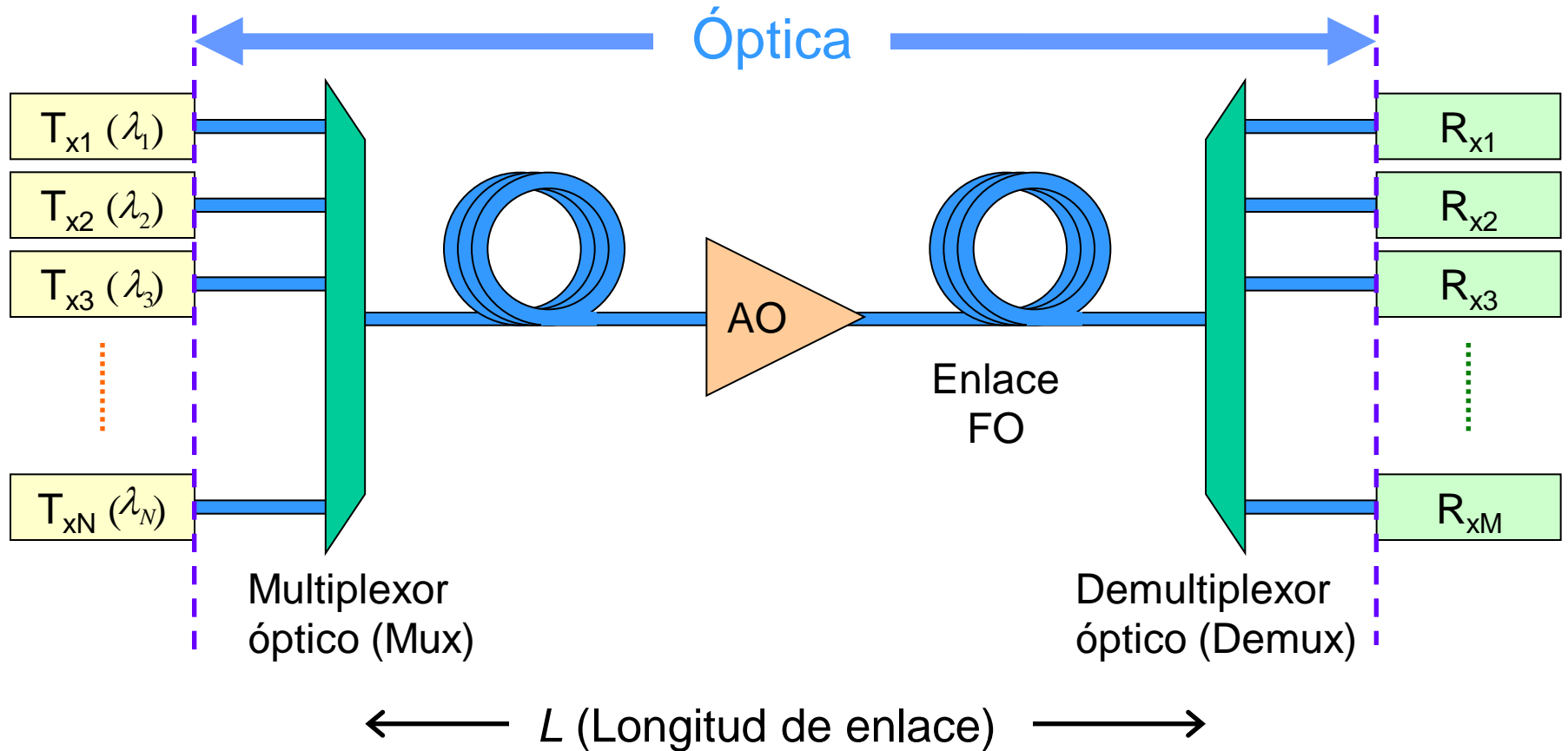
Capacidad (b/s*km)



Comunicaciones ópticas a 40G, 100G y más (400G...)

- Factores limitantes sobre la capacidad de enlaces ópticos actuales
- Enlaces DWDM funcionando con STM-64 ($B = 10 \text{ Gb/s}$). Limitaciones y correcciones
- Upgrade a STM-256 (40G). Nuevos factores limitantes y su impacto en el rediseño del enlace
- Upgrade a 100G
- Algunas aplicaciones relacionadas con las líneas de investigación

- Esquema de un enlace óptico en configuración WDM (como parte de una red WAN)

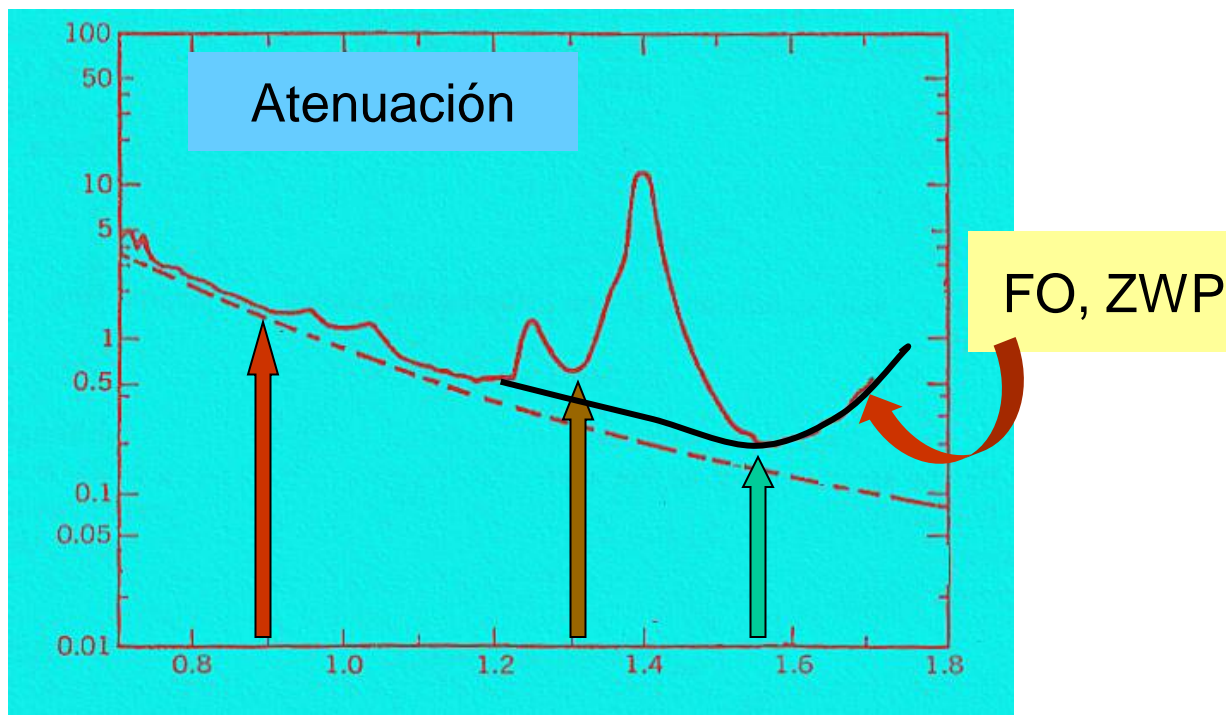


- Maximizar: B
- Maximizar: L
- Minimizar: BER



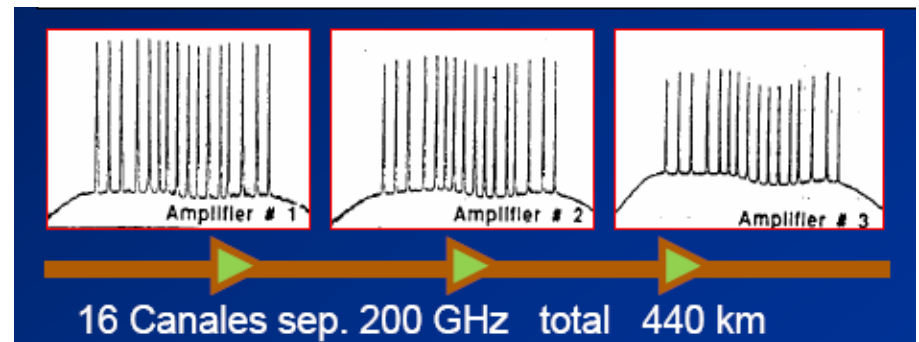
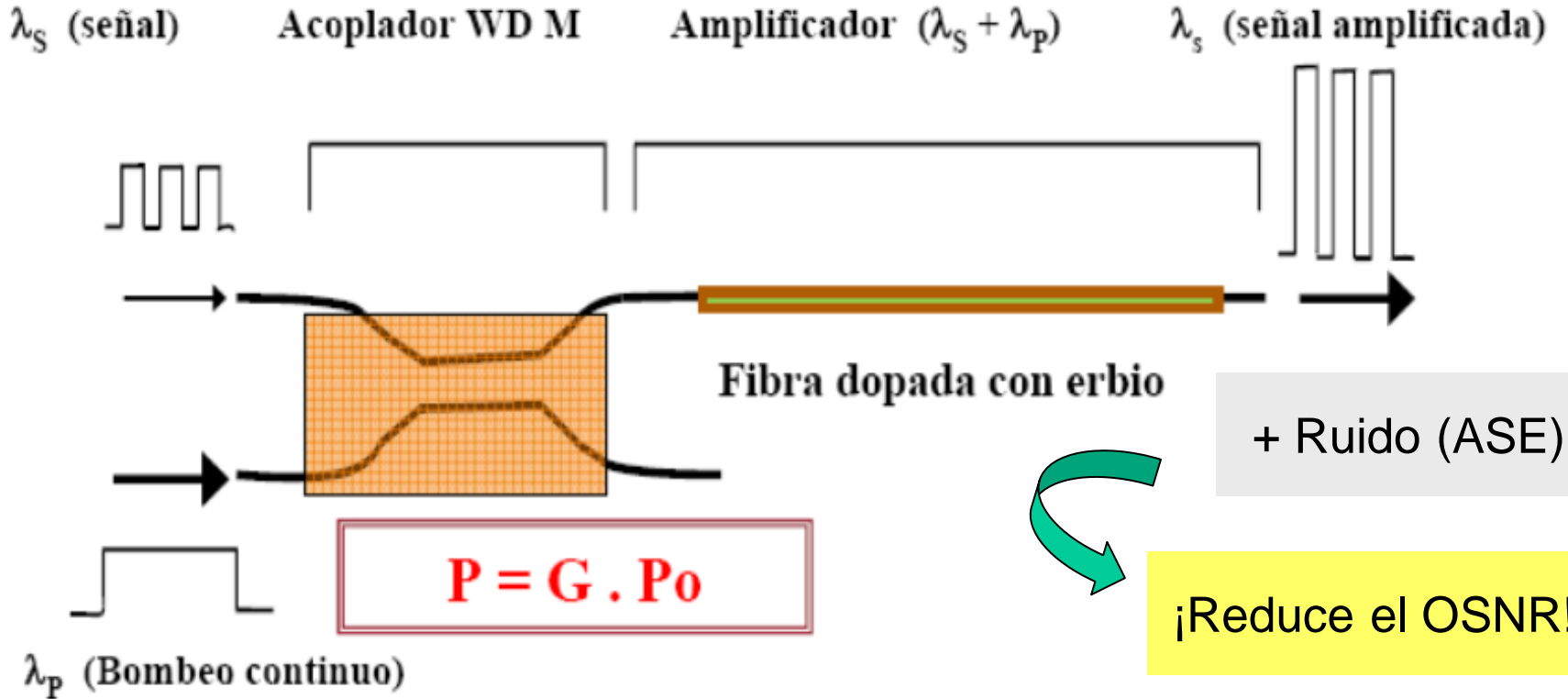
¡Surgen diversos factores limitantes que impactan en el diseño del enlace!

1. Limitaciones introducidas por el canal de comunicación



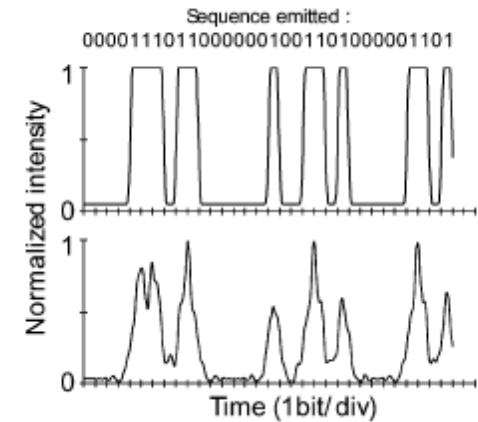
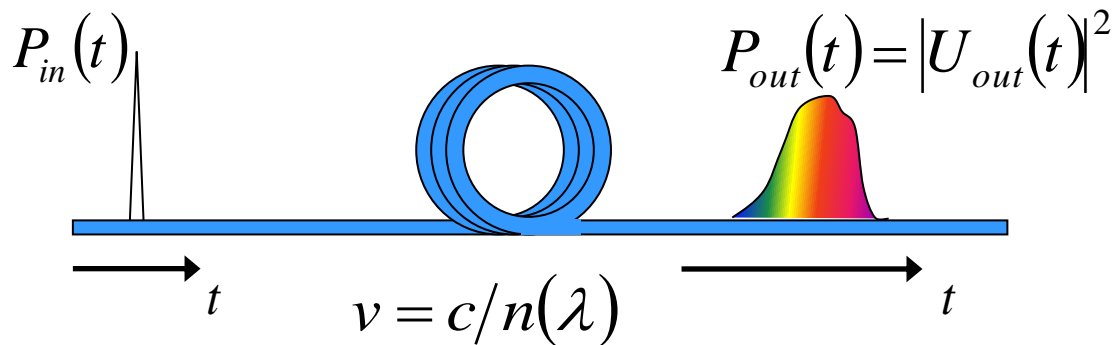
Atenuación de la FO: $\sim 0,2$ dB/Km (1520-1580nm)

$L = 100$ km \Rightarrow $\rho = 20$ dB (1550 nm) \Rightarrow $P_{out} = P_{in} / 100$



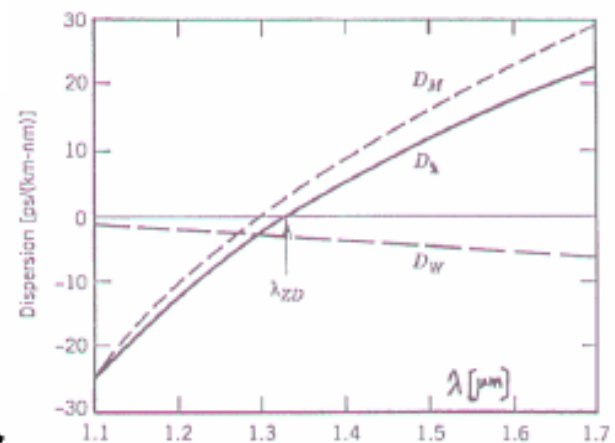
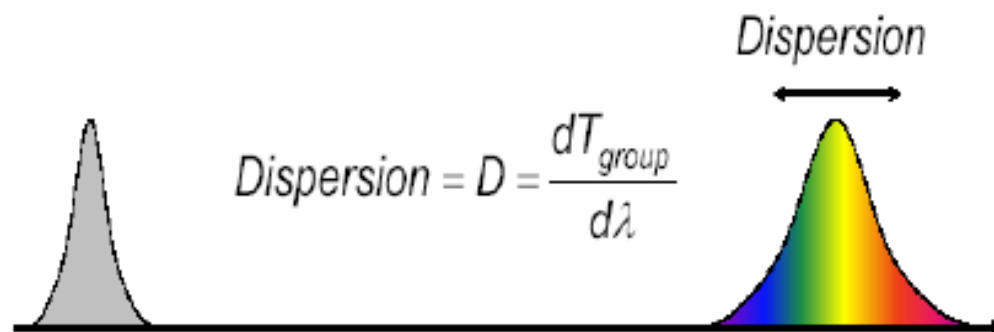
2. Limitaciones introducidas por el canal de comunicación

- ✓ Dispersión cromática de la FO: 18 ps/Km.nm (SSFO)

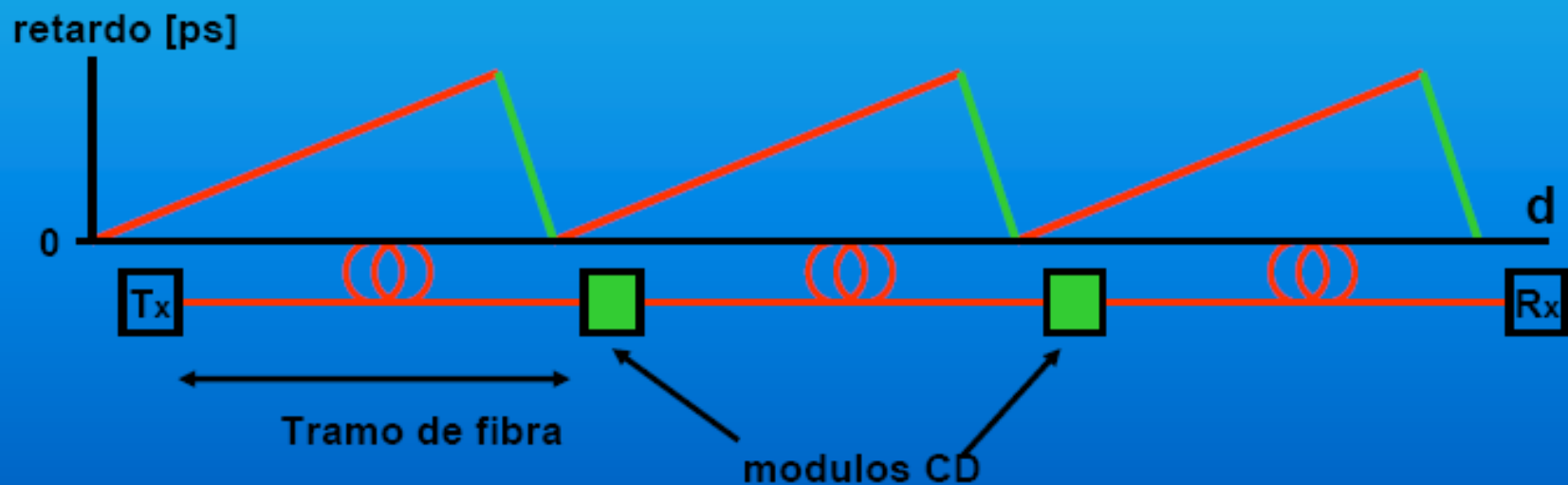


Dispersión

Cromática (SM)

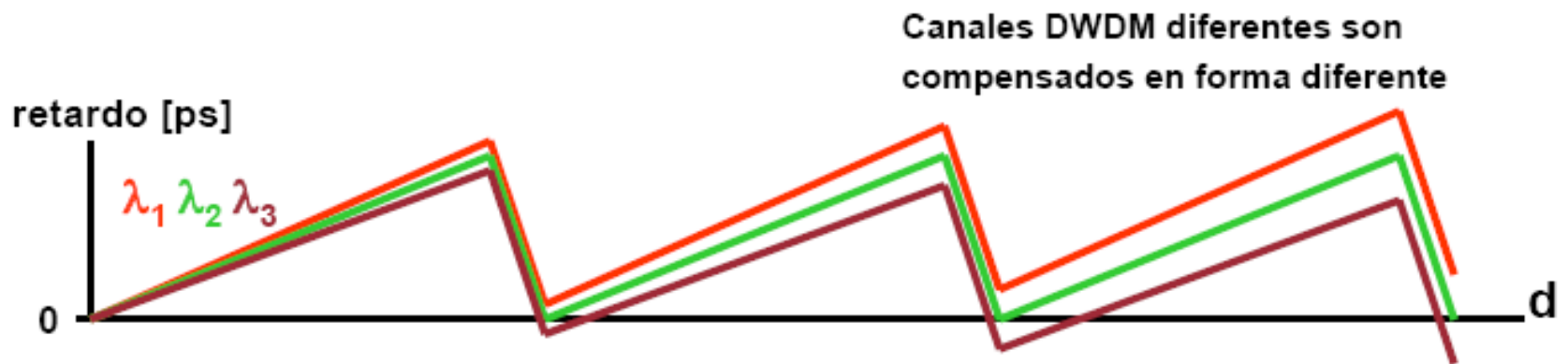


Compensación de Dispersión



■ Compensación de la dispersión cromática en DWDM

Los módulos compensadores solo pueden compensar en forma exacta una longitud de onda

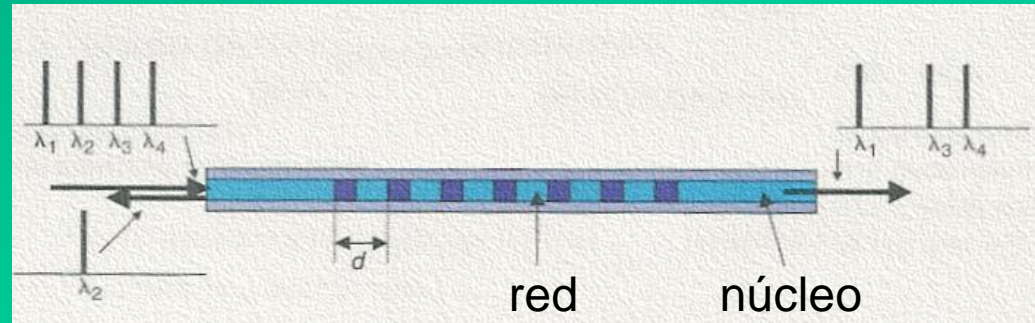


El diseño de un sistema DWDM requiere el conocimiento del “mapa” de dispersión cromática (en especial para tramos largos)

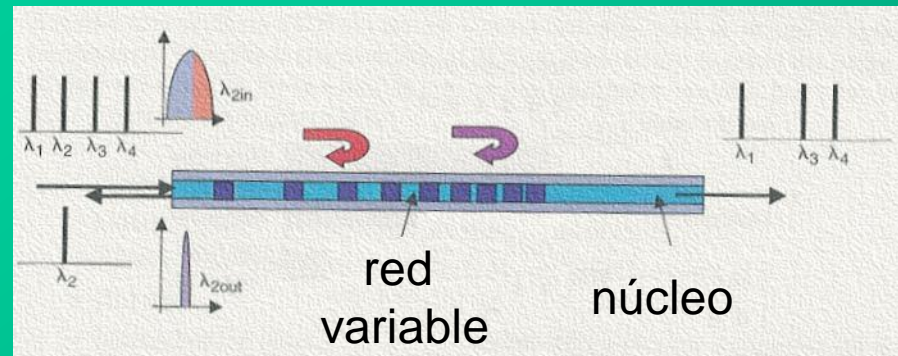
- Dispositivo posible para compensar la DC:

Red de Bragg

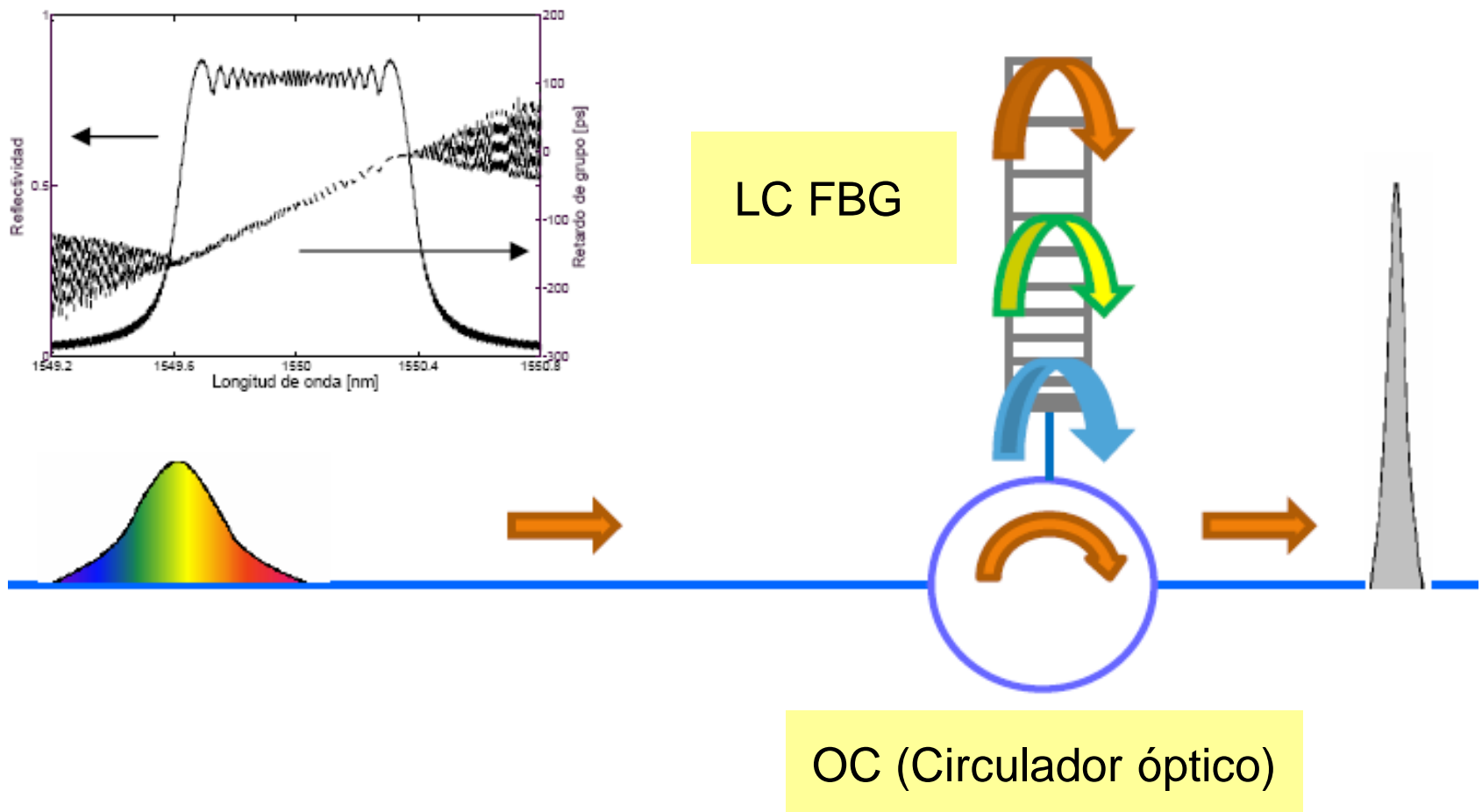
$$\lambda_B = 2\bar{n}d$$



Red de Bragg
con "chirp"



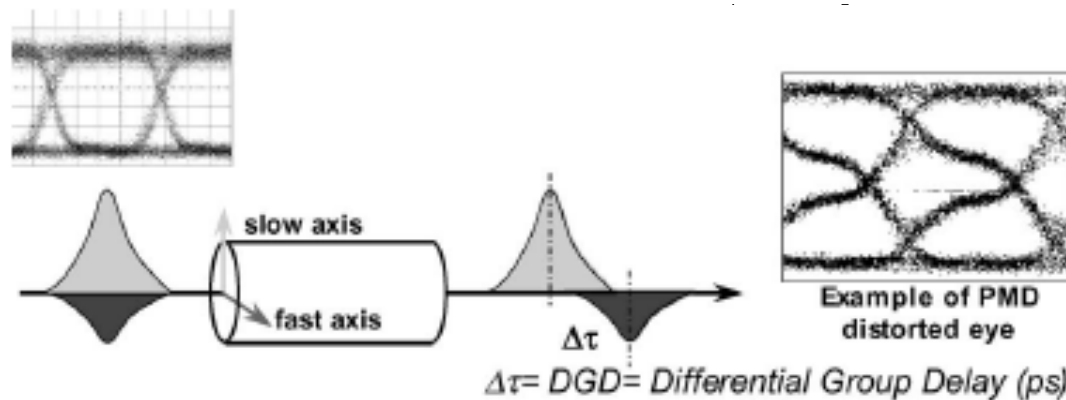
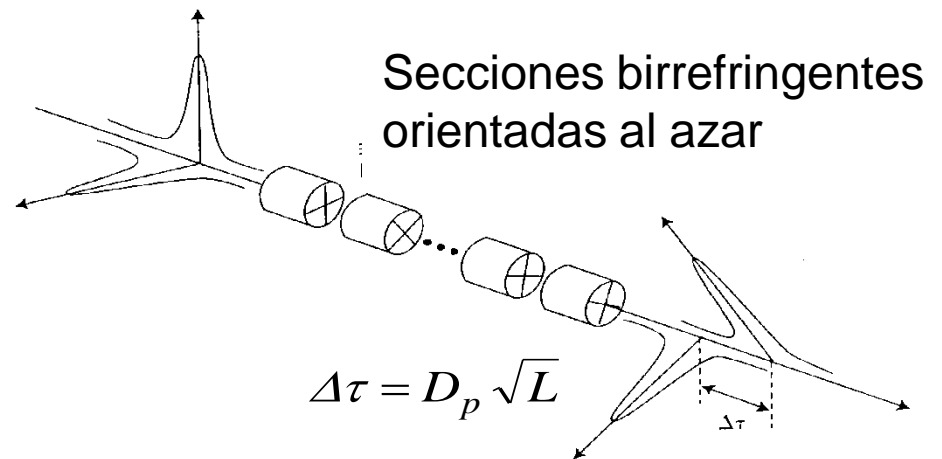
- Compensador de la dispersión cromática usando una FO grabada en el núcleo con una red de Bragg con “chirp”



3. Limitaciones introducidas por el canal de comunicación

- ✓ Dispersión de polarización de la FO: 10 a 0,05 ps / (Km)^{1/2}

- ✓ Origen: Dos modos con polarización ortogonales viajando a distinta velocidad
- ✓ Es importante luego de compensar la dispersión cromática ($B \geq 10$ Gb/s)



4. Limitaciones introducidas por el canal de comunicación

Efectos no-lineales en la propagación de pulsos en FO

$$n = n(P)$$



¡Limita el nivel de potencia óptica acoplada!

Longitud no-lineal



$$P = 1mW$$

$$L_{NL} \cong 500Km$$



$$P = 100mW$$

$$L_{NL} \cong 5Km$$

➤ Efecto Kerr en la FO: $n(P; \lambda) = n_0 + n_2 P / A_{ef}$

■ Efectos no-lineales en las FO

○ Auto-modulación de fase (SPM)



Modificación de la fase del pulso debida a su propia potencia

○ Modulación de fase cruzada (XPM)



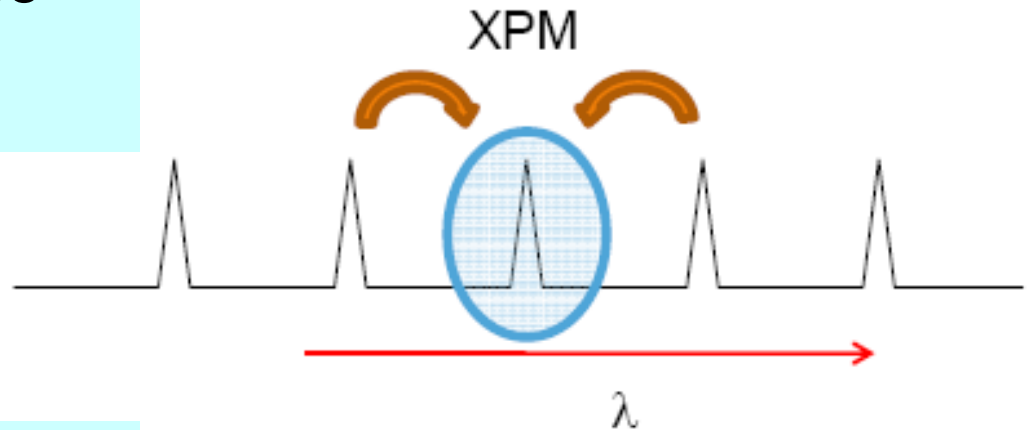
Modificación de la fase del pulso de un canal debida a la potencia de canales vecinos

○ Mezclado de cuatro ondas (FWM)

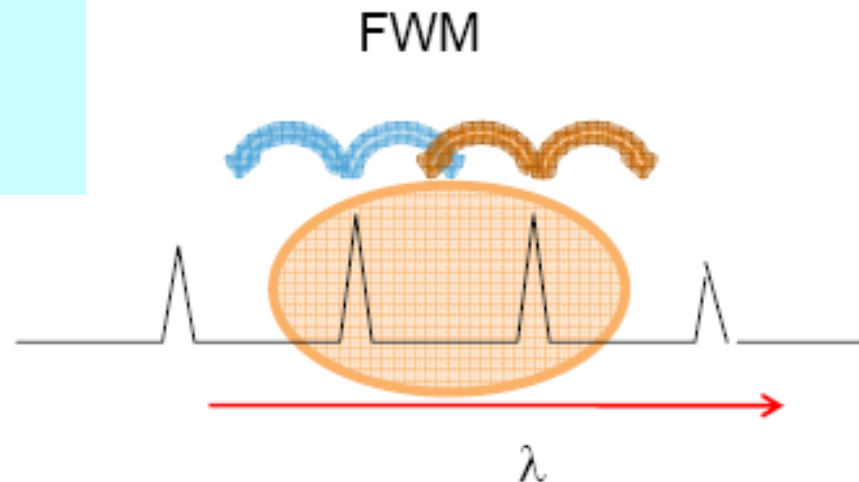


Pulsos de tres canales distintos interactúan transfiriendo potencia a un cuarto canal

Cambios en la fase
(distorsión) de un pulso
debido a SPM y XPM



“Cross-talk” entre canales
y aparición de pulsos
“fantasmas”



Avances en las Comunicaciones



Desarrollo de dispositivos



- Ultra-Broadband RF Amplifier
30 kHz - 43 GHz



Local Oscillator Assembly

Nuevos formatos
de modulación

NRZ
RZ



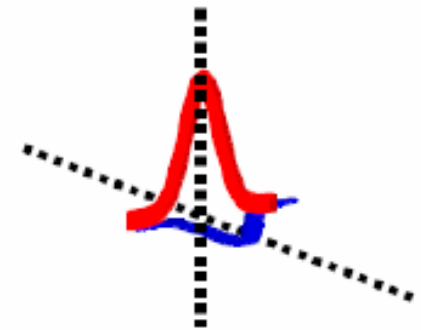
DPSK
QPSK
DQPSK



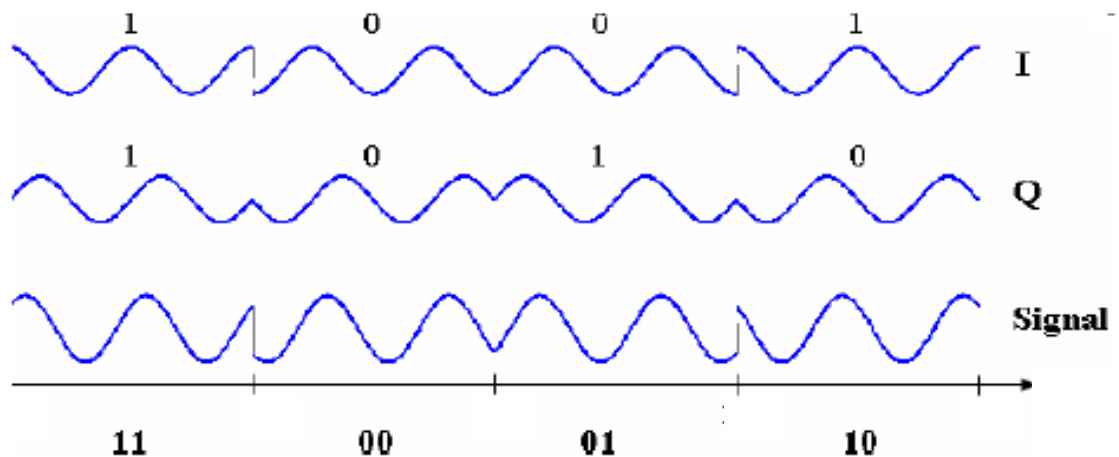
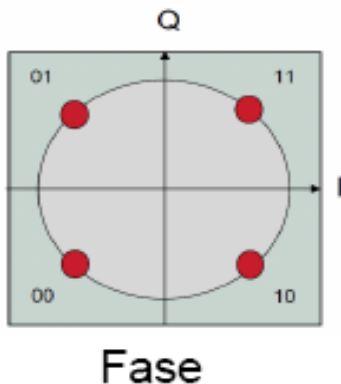
DP-QPSK
DP-
DQPSK
DP-nQAM

Modulación DP-QPSK (Dual polarization Quadrature phase-shift keying) más Detección coherente

- ✓ Dos señales ópticas, provenientes del mismo láser, se modulan en forma independiente con polarizaciones ortogonales. Cada señal lleva parte de la información + FEC



- ✓ Reduce velocidad de transmisión y ancho de banda de la señal a la mitad, aliviando también al sistema de detección



Transmisión a 100 Gb/s

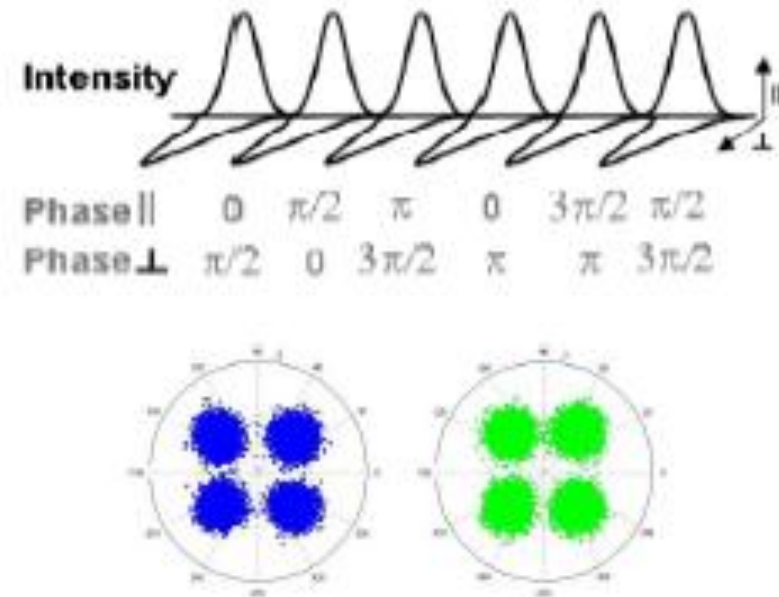
Los efectos severos que ocurren en la propagación (dispersión cromática, PMD y no-linealidades) limitan el “Baud rate”

El uso combinado de

- PDM (polarization-division multiplexing)
- QPSK (Quadri-Phase Shift Keying)

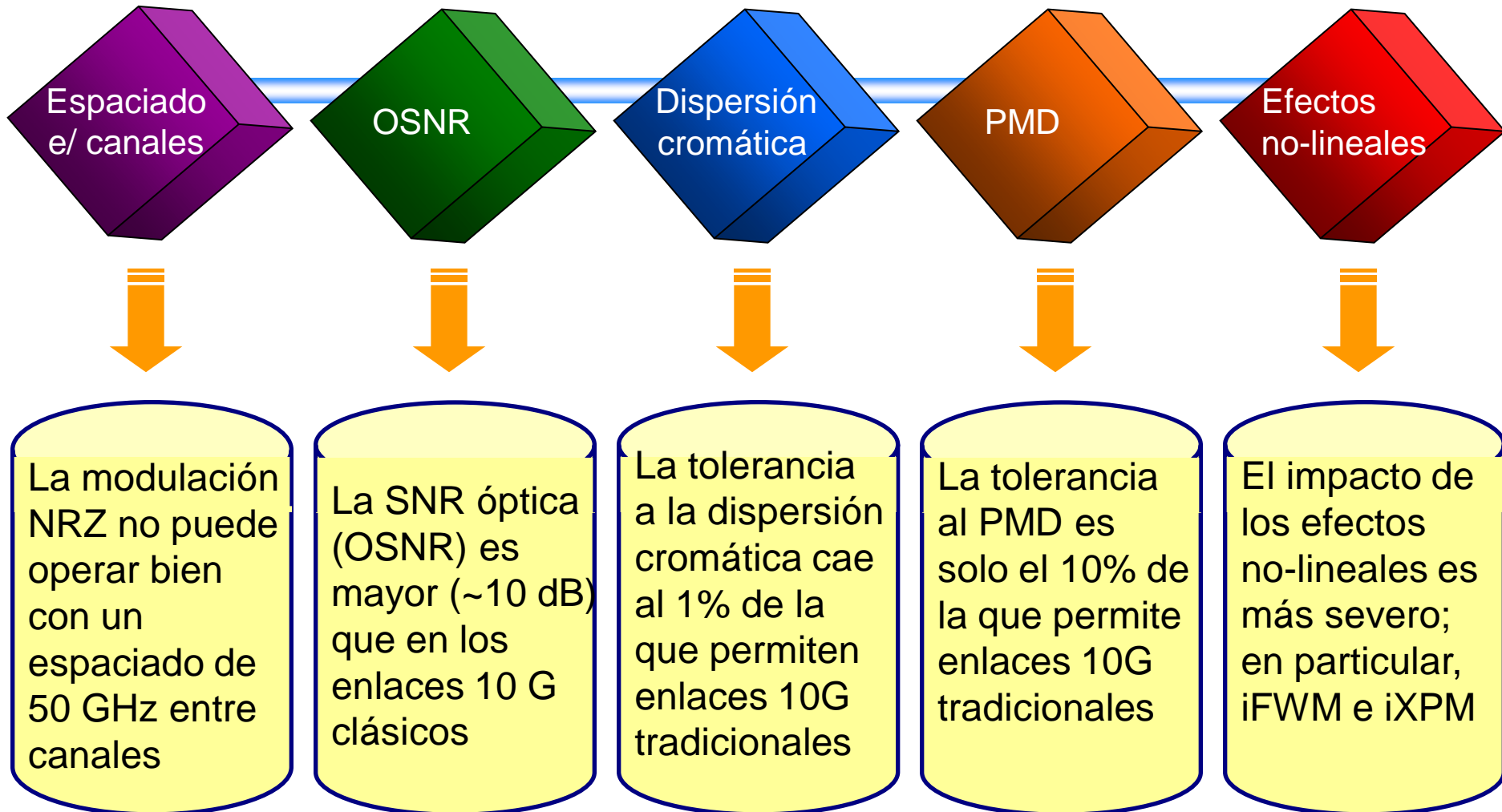
permite disminuir el “Baud rate” de 100 a 25 Gbaud

(cada símbolo transporta 4 bits)



Requiere detección coherente y post-procesamiento digital a fin de compensar los errores lineales

Los desafíos de 100 Gb/s



Porqué y cómo

- Necesidades:
 - Velocidad de transmisión
 - Mejoras en los costos
 - Mejoras en el espacio (integración)
 - Mejoras en la potencia disipada por bit (en comparación a 10 y 40G)
 - Clientes requieren compatibilidad con sistemas DWDM existentes
- Aplicación de nuevas tecnologías:
 - Formatos de modulación avanzados
 - Detección coherente (receptor)
 - Integración fotónica
 - Avances en el desarrollo de FEC's

Líneas de investigación: Algunas aplicaciones

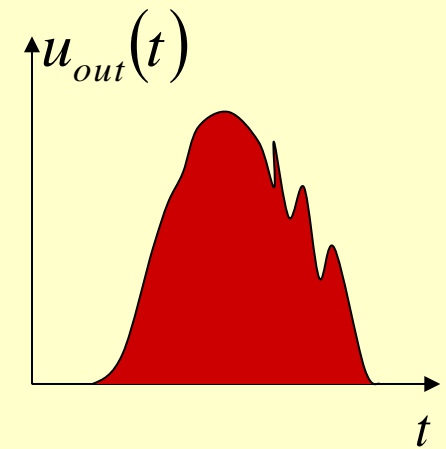
- Análisis de procesamiento de señales en un dominio mixto tiempo-frecuencia
- Generación de trenes periódicos de pulsos con diferentes períodos de repetición
- Compresión de pulsos y reformateo para compensar/mitigar dispersión cromática, no-linealidades, etc.
- Desarrollo de técnicas de encriptación para la transmisión de datos por enlaces de fibra óptica
- Desarrollo de sensores de fibra para mediciones remotas

Enfoque general de las diferentes aplicaciones de procesamiento de pulsos luminosos

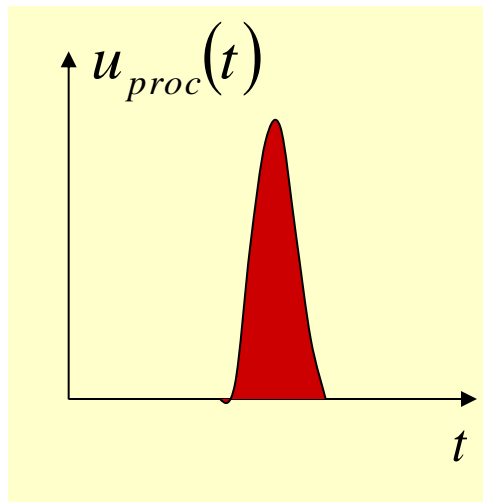
Fuente láser



Canal óptico



Reformateo/
Compresión del pulso

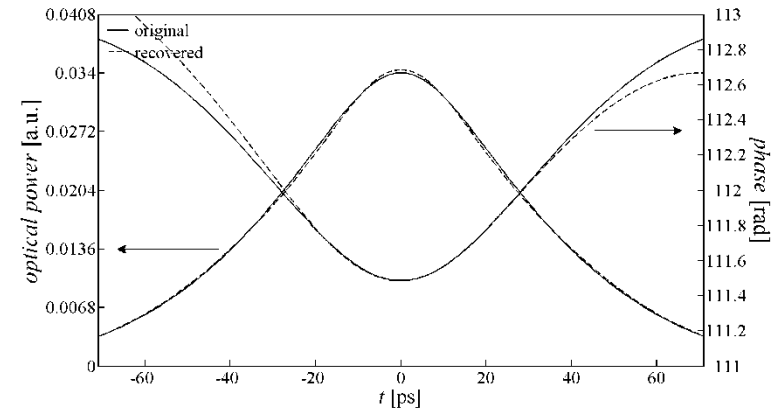
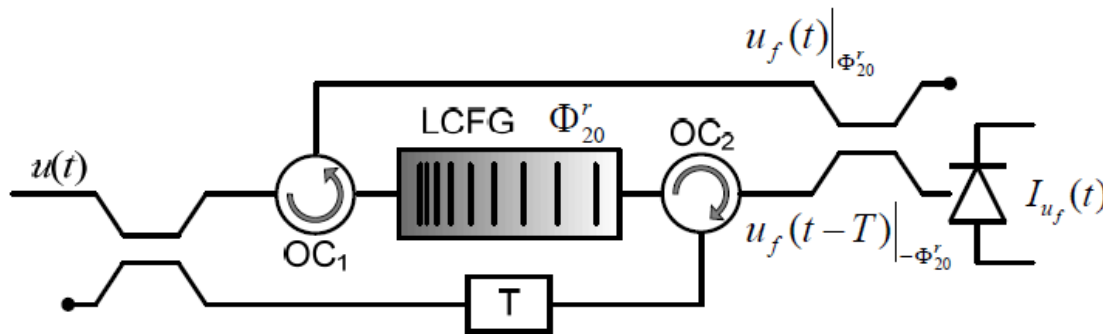


Procesado en un dominio
mixto tiempo-frecuencia



DESARROLLO DE TÉCNICAS DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO

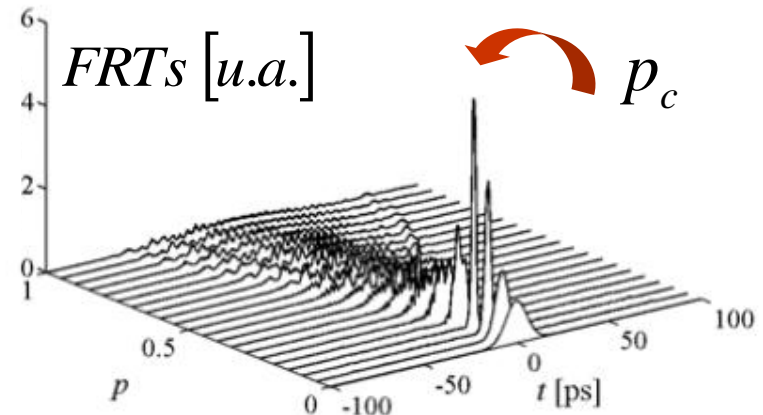
Recuperación y/o caracterización de pulsos ópticos (intensidad y fase)



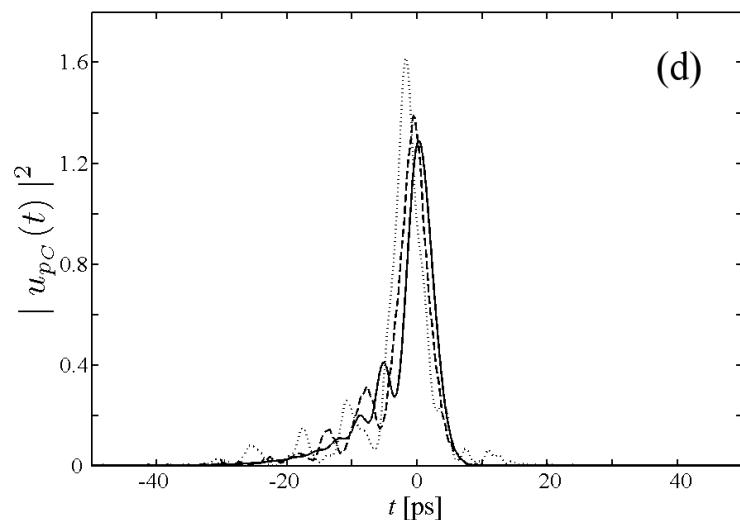
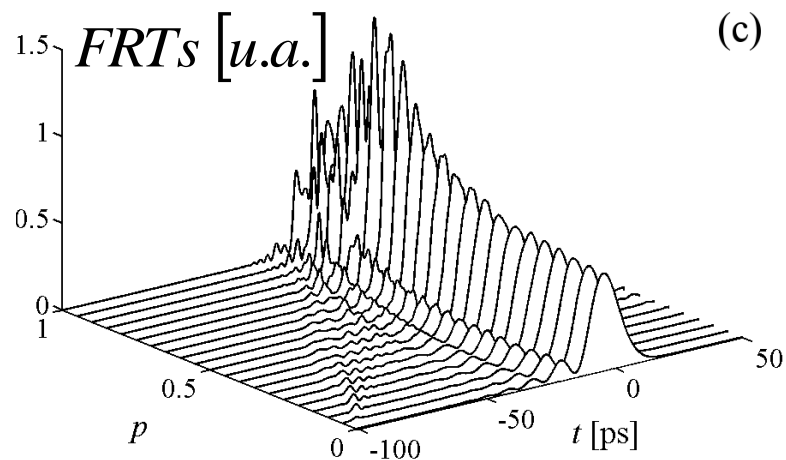
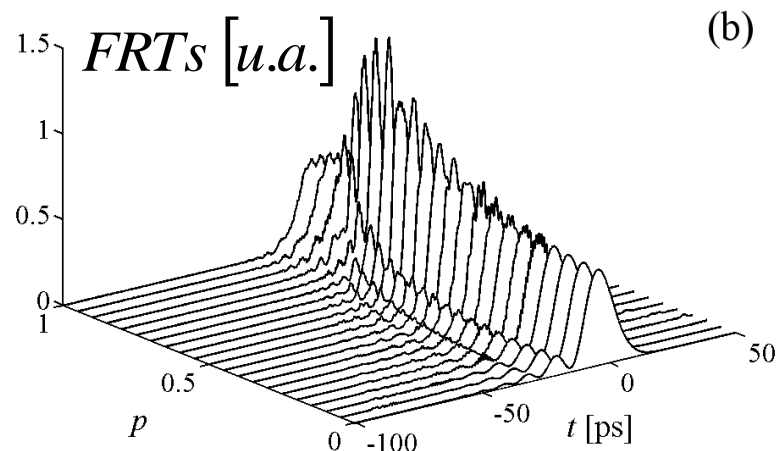
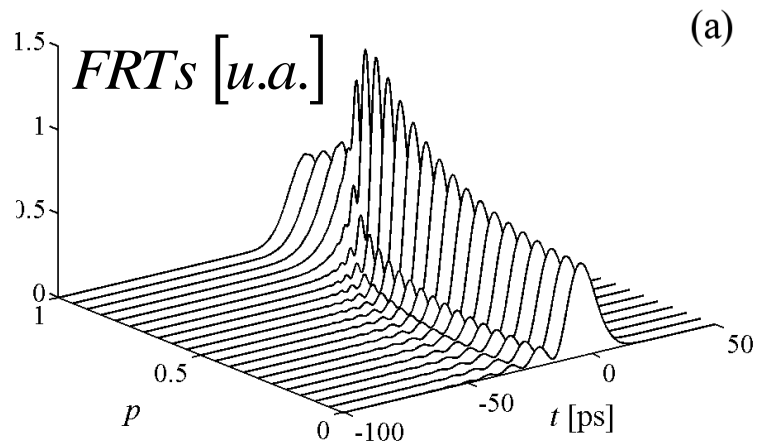
$u(t)$: Pulso afectado principalmente de SPM

Recuperación: $u_0(t)$

Análisis de $u_0(t)$ usando la FRT numérica



- Pulso inicialmente gaussiano transmitido por un enlace de FO, afectado de dispersión cromática de tercer orden y de segundo (residual). (a) FRTs original; (b) FRTs obtenida con el método con SNR (detección) = 26 dB; (c) FRTs obtenida con el método con una SNR = 20 dB



➤ Tren periódico de pulsos:

$$P_{out}(t) = |u_p(t)|^2 = |u_0(t/M_p)|^2$$

$$M_p = \cos(p\pi/2)$$

$$N = 41$$

$$C = 0$$

$$T = 400 \text{ ps}$$

$$FWHM = 33 \text{ ps}$$

