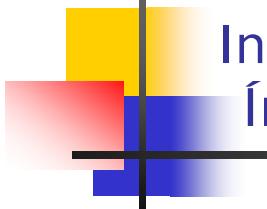


BLOQUE	TÍTULO
<i>Tema 0</i>	Introducción a las Comunicaciones Ópticas
<i>BLOQUE I</i>	La transmisión de información por enlaces básicos de comunicación por fibra óptica
<i>I.1.-</i>	Generación de la portadora: fuentes de luz
<i>I.2.-</i>	Modulación de la portadora óptica con la información
<i>I.3.-</i>	Multiplexación de varias fuentes de información
<i>I.4.-</i>	Transmisión de información por la fibra óptica
<i>I.5.-</i>	La detección de la información: receptores ópticos
<i>I.6.-</i>	Componentes activos y pasivos

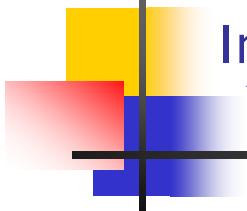


BLOQUE	<i>I.4 Transmisión de información por fibra óptica</i>
<i>Objetivos</i>	<p>Se pretende que el alumno:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sepa cuáles son los parámetros que caracterizan a una fibra óptica. • Entienda las ventajas y limitaciones de este tipo de guía. • Conozca las ventanas de transmisión y sepa por qué se utiliza cada una. • Identifique los factores que influyen en la dispersión y cómo afecta la fuente empleada. • Comprenda la no-linealidad del sistema y explique la diferencia en este sentido entre sistemas eléctricos y ópticos. • Sepa cuáles son los efectos no-lineales más perjudiciales. • Sea capaz de enumerar los distintos tipos de fibras ópticas y elegir la idónea para cada tipo de aplicación. • Pueda describir los procesos en la industria de manufactura y cableado de f.o. • Diferencie los conectores empleados para la conexión de f.o. y sepa cómo se hace y cómo se caracteriza una unión de fibras.
<i>Duración</i>	10 horas
<i>Programa</i> 	<p>Tema I.4.1: Características y atenuación en fibras ópticas Tema I.4.2: Propagación lineal de señales por la fibra óptica Atenuación, dispersión</p> <p>Tema I.4.3: Propagación no lineal de señales por fibra óptica SPM, XPM, FWM, SBS, SRS</p> <p>Tema I.4.4: Amplificación y compensación de dispersión</p> <p>Tema I.4.5: Aspectos comerciales y tecnológicos Fabricación, cableado, conexiones, oferta comercial</p> <p>Resumen y conclusiones</p>



- Introducción
- Tipos de fibras comerciales
- Fabricación de la fibra óptica
- Cableado de fibras
- Conexiones entre fibras
- Resumen y conclusiones





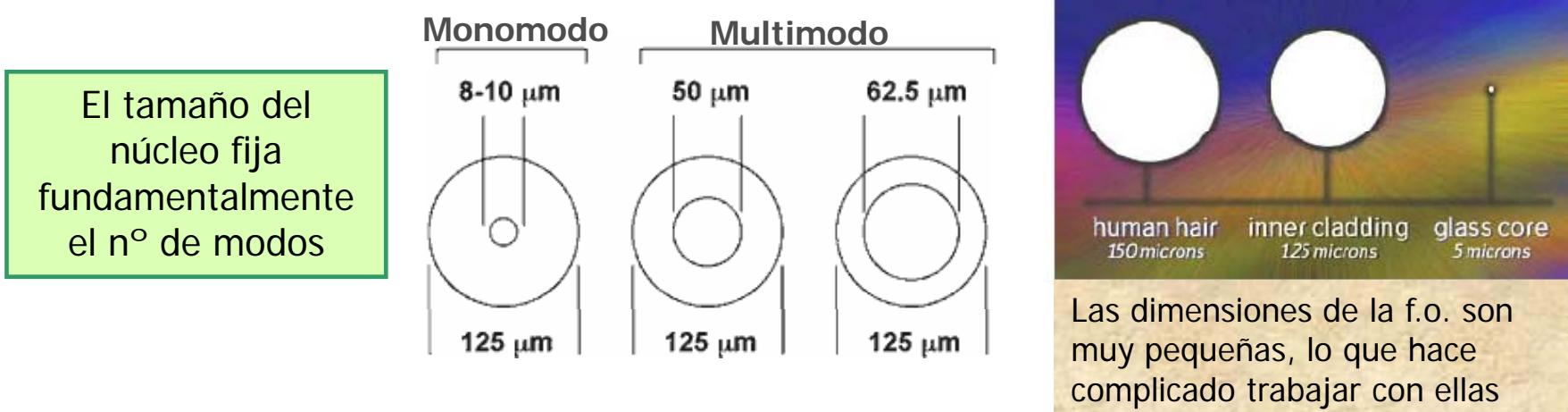
■ Introducción

- Tipos de fibras comerciales
- Fabricación de la fibra óptica
- Cableado de fibras
- Conexiones entre fibras
- Resumen y conclusiones



Los parámetros físicos fundamentales son las **dimensiones** y el **índice de refracción**

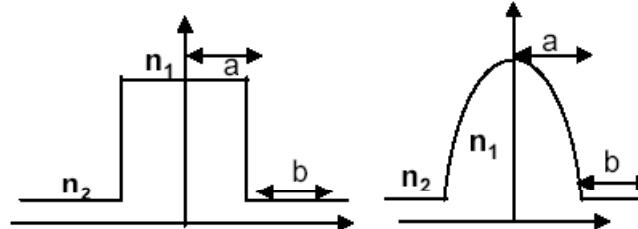
Para fibras de sílice el tamaño de la cubierta es fijo, con un diámetro de 125 micras y el índice de refracción en toda la cubierta constante. Es en el núcleo donde están las diferencias.



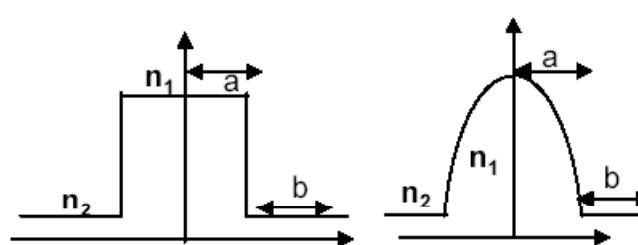
El índice de refracción dentro del interior del núcleo no siempre es constante. Su variación con la posición se llama perfil de índice de la fibra y fija básicamente la constante de propagación

Perfiles de índice de refracción

Salto de índice



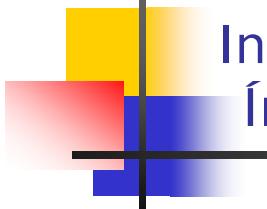
Gradiente de índice



Distancia radial

Valores típicos para los índices de refracción

$$\begin{aligned} n_{\text{núcleo(máx)}} &= 1.461 \\ n_{\text{cubierta}} &= 1.460 \end{aligned}$$



- Introducción

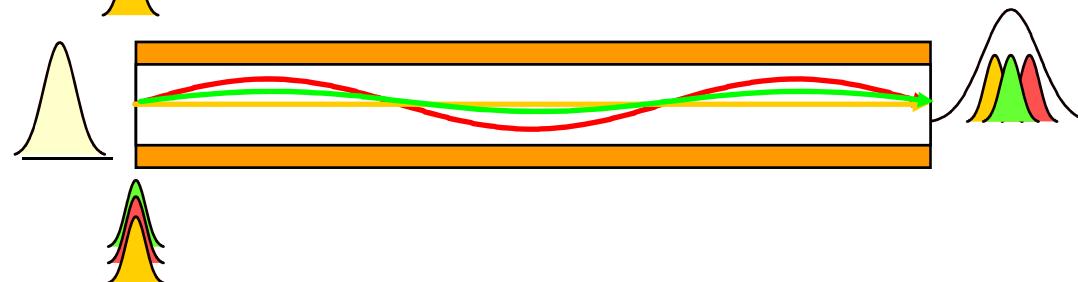
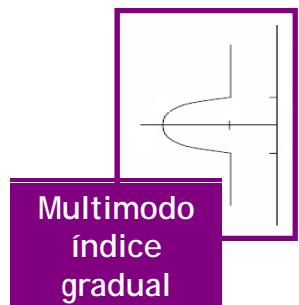
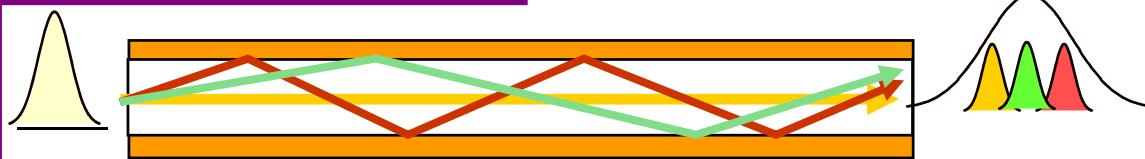
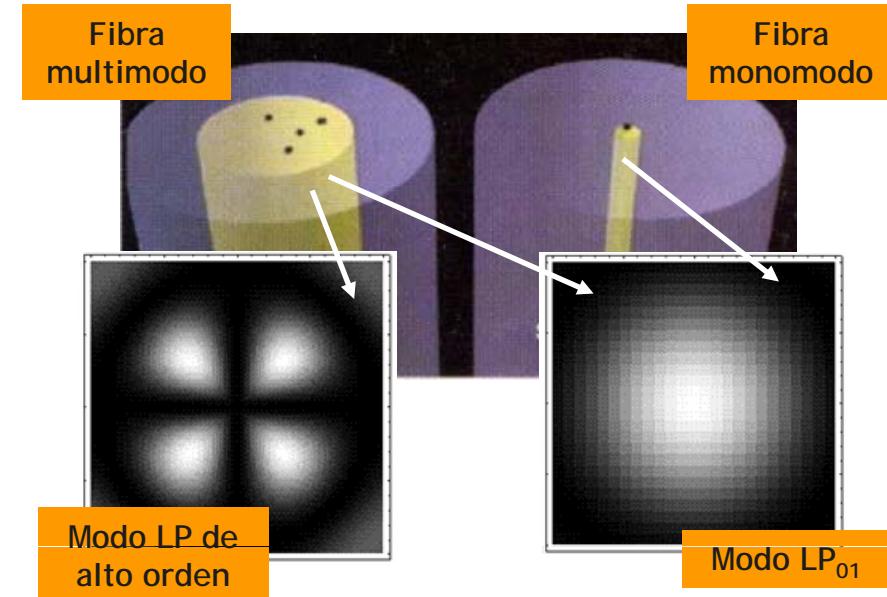
- Tipos de fibras comerciales

- Fabricación de la fibra óptica
 - Cableado de fibras
 - Conexiones entre fibras
 - Resumen y conclusiones



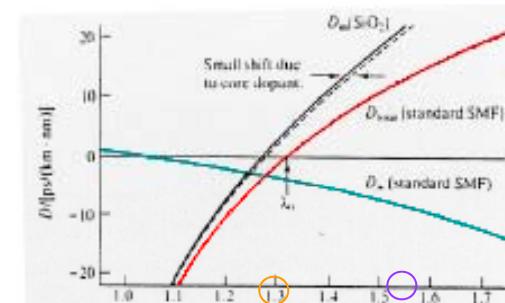
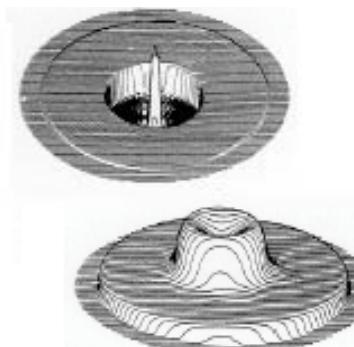
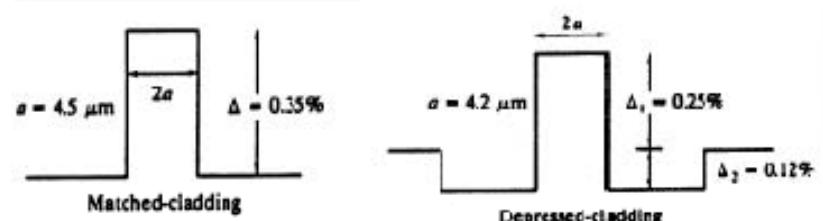
Tipos de fibras comerciales

- Fibra de Plástico
- Fibra de Sílice Multimodo
 - índice gradual
 - salto índice
- Fibra de Sílice Monomodo
 - salto de índice
 - dispersión aplanada
 - dispersión desplazada
 - dispersión no-nula
- Otras fibras
 - Dispersión negativa, DCF
 - Mantenedoras de polarización
 - Dopadas para EDFA,...

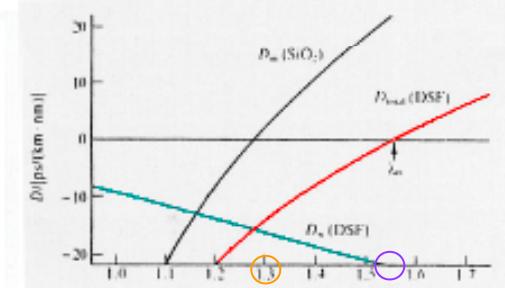
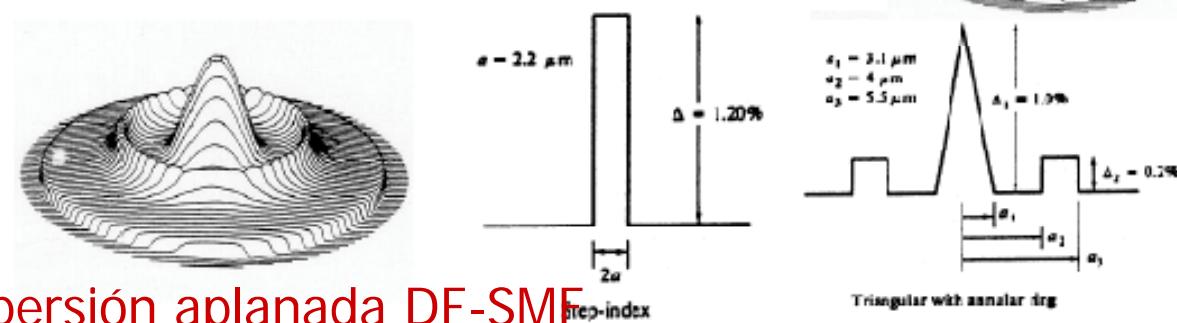


DISPERSIÓN: Control de D con perfil de índice

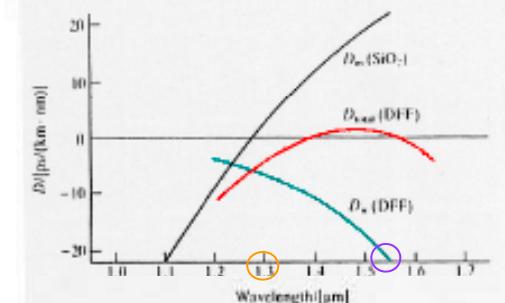
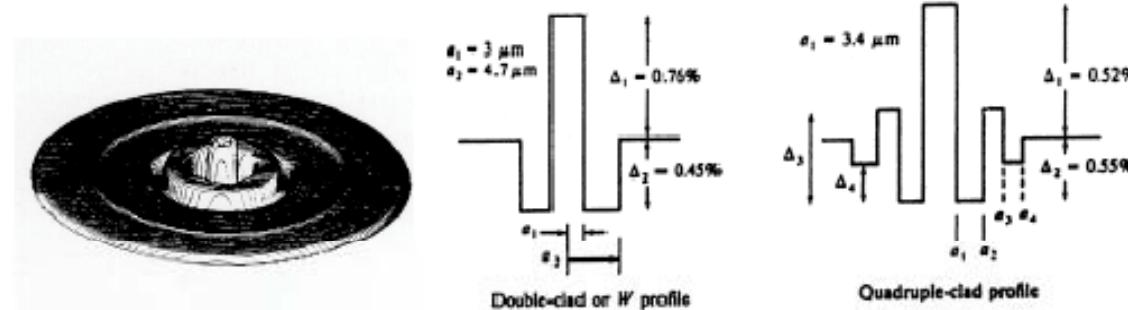
Estándar S-SMF



Dispersión desplazada DS-SMF



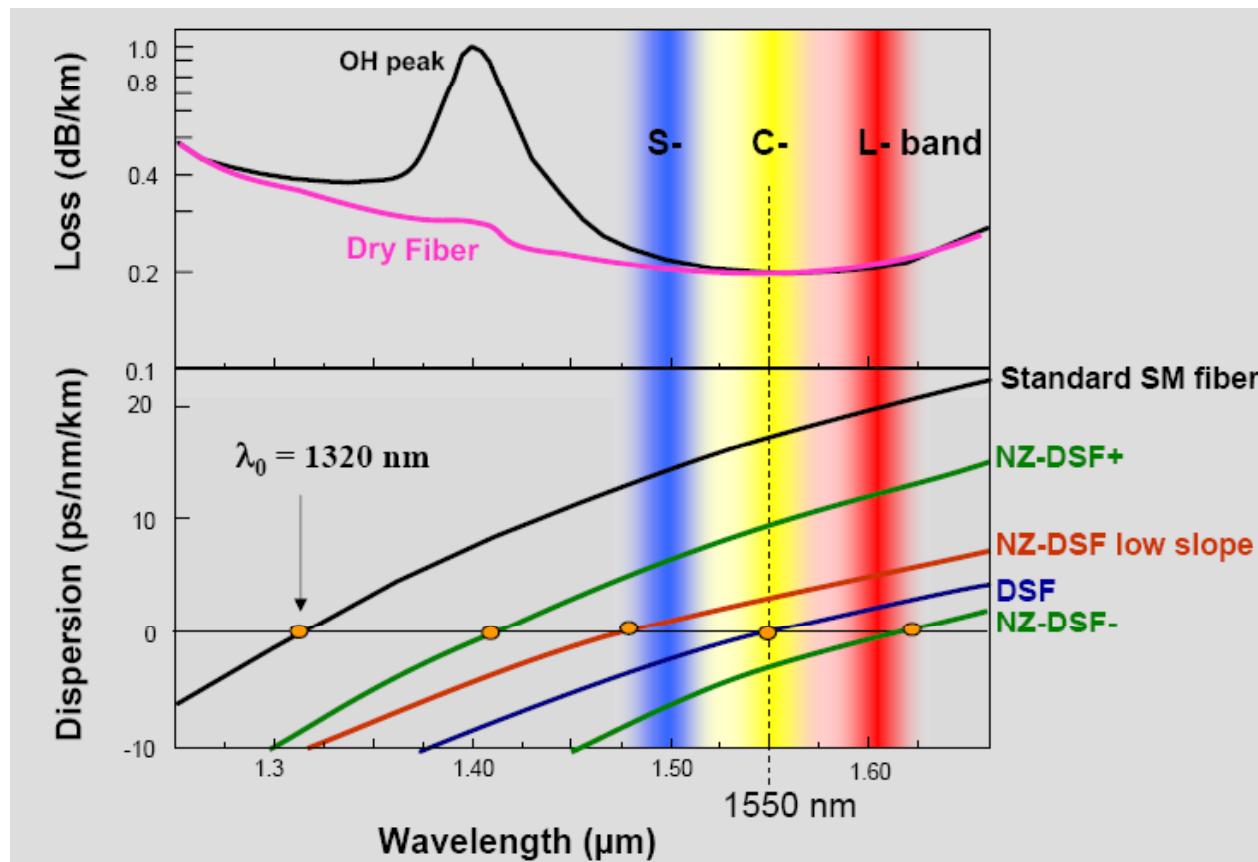
Dispersión aplanaada DF-SMF



2^a ventana
(1.3 μm) 3^a ventana
(1.55 μm)

DISPERSIÓN: Tipos de fibras según el valor D

Existen **cuatro tipos fundamentales** de fibra instaladas como medio de transmisión en los sistemas de comunicaciones ópticas, **todas con atenuaciones entre 0.2 y 0.21 dB/km** en tercera ventana. Las diferencias fundamentales residen en la **Dispersión Cromática** de las mismas.



S-SMF: 1er tipo de fibra que aparece; el 85% de la fibra instalada. Problemas debido a su **alta dispersión** a partir de 10Gb/s.

DSF: Se concibe para eliminar el problema de la alta dispersión. Buena opción para sist. de una sola portadora; en WDM presenta importantes **efectos no lineales** como FWM (*Four Wave Mixing*) por su baja dispersión.

NZDSF \pm : Non-Zero Dispersion Shifted Fiber. Baja dispersión pero no nula. Se reduce el efecto del FWM

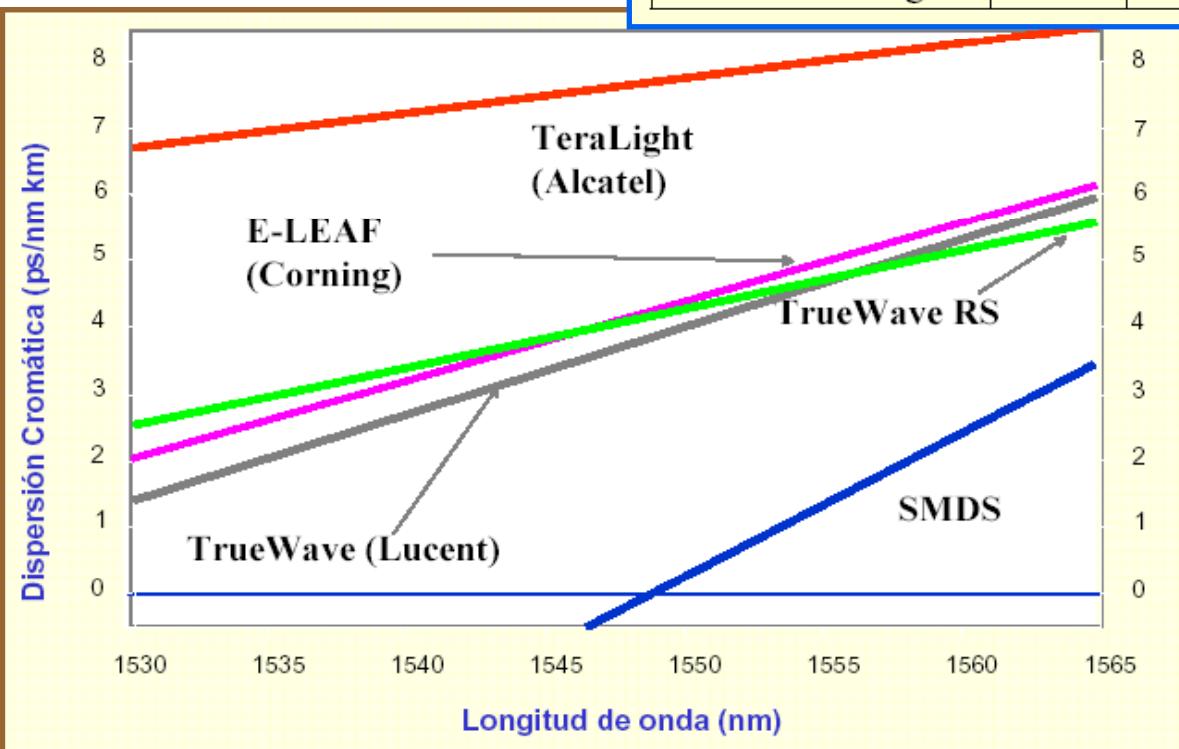
Estos tipos de fibra están estandarizados por la ITU (International Telecommunication Union). Los fabricantes siguen estos estándares, aunque cada uno pone un nombre diferente a sus fibras e intentan buscar algunas mejoras (como la ausencia del pico de absorción por humedad, altas áreas efectivas,...) para diferenciarse y responder a diferentes necesidades.

Código ITU	Tipo	Comentarios
G·652	No desplazada	<i>Fibra estándar de dispersión no desplazada</i> , es decir, que presenta el cero de dispersión en segunda ventana. Puede utilizarse en segunda ventana (con peor atenuación) o en tercera ventana (con peor dispersión). Es la FO más clásica de las tres.
G·653	DSF	<i>Fibra de dispersión desplazada</i> (Dispersion-shifted fiber). Optimizada a 1550 nm. En teoría, presenta los mejores valores de dispersión y atenuación a 1550 nm. En la práctica, al tener dispersión cero a la longitud de onda de emisión, se incrementa un fenómeno llamado mezclado de cuatro ondas (FWM), que degrada la transmisión, y dificulta la multiplexación WDM.
G·655	NZDSF	<i>Non-zero dispersion-shifted fiber</i> . Es una FO con la dispersión desplazada, pero evitando que el cero de dispersión caiga dentro de la banda de transmisión. Así con una penalización en dispersión (que se puede corregir con FO de dispersión negativa) se evita el FWM.

El estándar **G·654** es la llamada fibra de corte desplazado (cut-off shifted fibre). Se busca minimizar la atenuación, haciendo el núcleo con poco dopado (sílice pura). Es cara, se usa sólo en enlaces submarinos

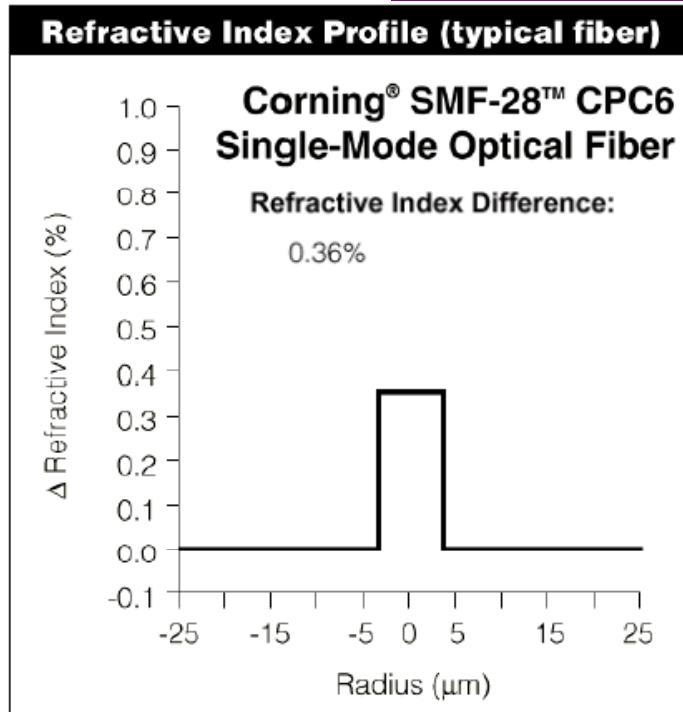
Características
de algunas f.o.
comerciales

Fiber Type and Trade Name	A_{eff} (μm^2)	λ_{ZD} (nm)	D (C band) ps/(km-nm)	Slope S ps/(km-nm 2)
Corning SMF-28	80	1302–1322	16 to 19	0.090
Lucent AllWave	80	1300–1322	17 to 20	0.088
Alcatel ColorLock	80	1300–1320	16 to 19	0.090
Corning Vascade	101	1300–1310	18 to 20	0.060
TrueWave-RS	50	1470–1490	2.6 to 6	0.050
Corning LEAF	72	1490–1500	2 to 6	0.060
TrueWave-XL	72	1570–1580	-1.4 to -4.6	0.112
Alcatel TeraLight	65	1440–1450	5.5 to 10	0.058



Algunas fibras
NZ-DSF
comerciales

Ejemplo típico de fibra óptica monomodo estándar

Especificaciones *Corning***Core Diameter:**8.3 μm **Numerical Aperture:**

0.13

NA was measured at the one percent power angle
of a one-dimensional far-field scan at 1310 nm.

- **Cable Cutoff Wavelength (λ_{ccf})**

 $\lambda_{ccf} < 1260 \text{ nm}$

Fibra monomodo a partir de 1260 nm

- **Mode-Field Diameter**

8.80 to 9.80 μm at 1310 nm9.50 to 11.50 μm at 1550 nm

• Dispersion

Zero Dispersion Wavelength (λ_0): $1301.5 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1321.5 \text{ nm}$ Zero Dispersion Slope (S_0): $\leq 0.092 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$

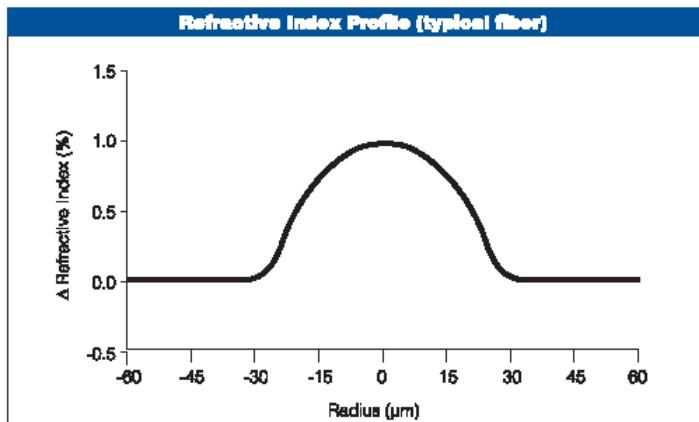
$$\text{Dispersion} = D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right] \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km}),$$

Fiber Polarization Mode Dispersion (PMD)	
	Value (ps/ $\sqrt{\text{km}}$)
PMD Link Value	$\leq 0.1^*$
Maximum Individual Fiber	≤ 0.2

*Complies with IEC SC 86A/WG1, Method 1, September 1997

Ejemplo típico de fibra óptica multimodo de índice gradual

Especificaciones *Corning*



Glass Geometry

- Cladding Diameter: $125.0 \pm 2.0 \mu\text{m}$
- Core-Clad Concentricity: $< 3.0 \mu\text{m}$
- Cladding Non-Circularity: $< 2.0\%$
- Core Non-Circularity: $\leq 5\%$

Non-Circularity is defined as:

$$\left[1 - \frac{\text{Min. Cladding Diameter}}{\text{Max. Cladding Diameter}} \right] \times 100$$

Coating Geometry

- Coating Diameter: $245 \pm 5 \mu\text{m}$
- Coating-Cladding Concentricity: $< 12 \mu\text{m}$

Attenuation

$\leq 2.5/0.8 \text{ dB/km} @ 850/1300 \text{ nm}$

Chromatic Dispersion

- Zero Dispersion Wavelength (λ_0): $1300 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1320 \text{ nm}$
- Zero Dispersion Slope (S_0):

$$\text{Dispersion} = D(\lambda) := \frac{S_0}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right] \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$$

For $750 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1450 \text{ nm}$, λ = Operating Wavelength

$$\leq 0.101 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$$

Core Diameter

- $50.0 \pm 3.0 \mu\text{m}$

Numerical Aperture

- 0.200 ± 0.015

Performance Characterizations

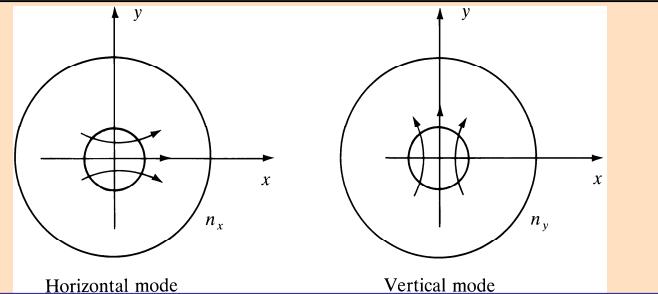
~~Characterized parameters are typical values.~~

Effective Group Index of Refraction (N_{eff})

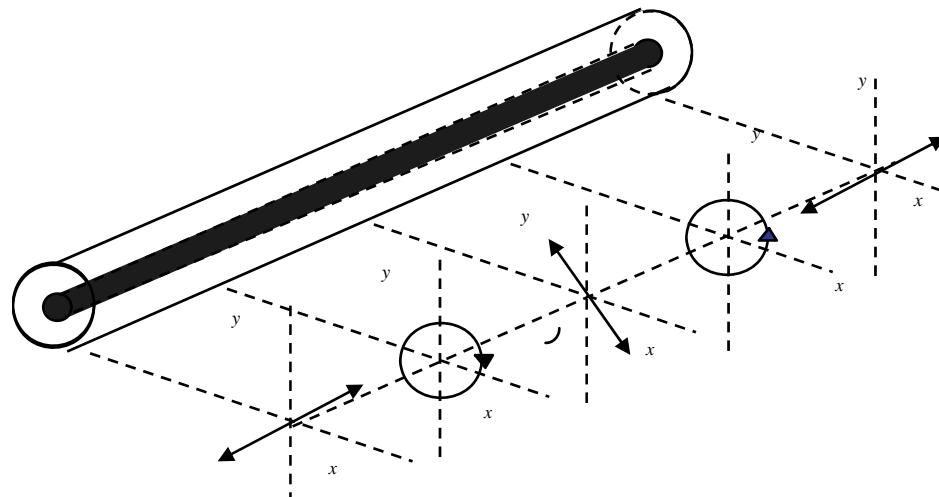
- 1.490 at 850 nm
- 1.486 at 1300 nm

N_{eff} was empirically derived to the third decimal place using a specific commercially available OTDR.

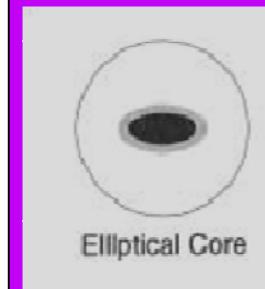
Incluso en la SMF pueden propagarse dos modos, o más bien, se propaga el modo fundamental tanto polarizado vertical como horizontalmente



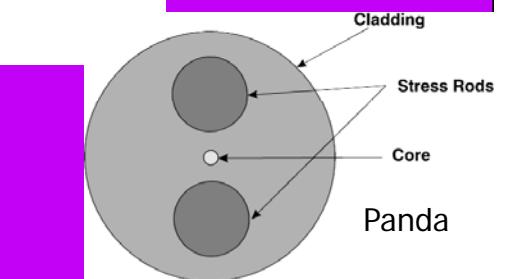
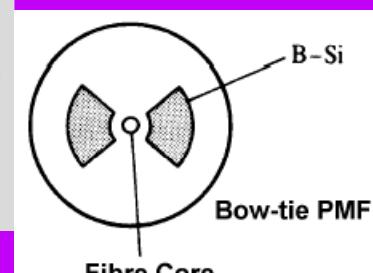
Se conoce con el nombre de **birrefringencia** al hecho de que el índice efectivo para la pol. vertical y para la pol horizontal sea diferente. Esto supone diferentes velocidades de propagación para estos modos y por tanto dispersión-dispersión por modo de polarización- y cambio en el SOP con la propagación

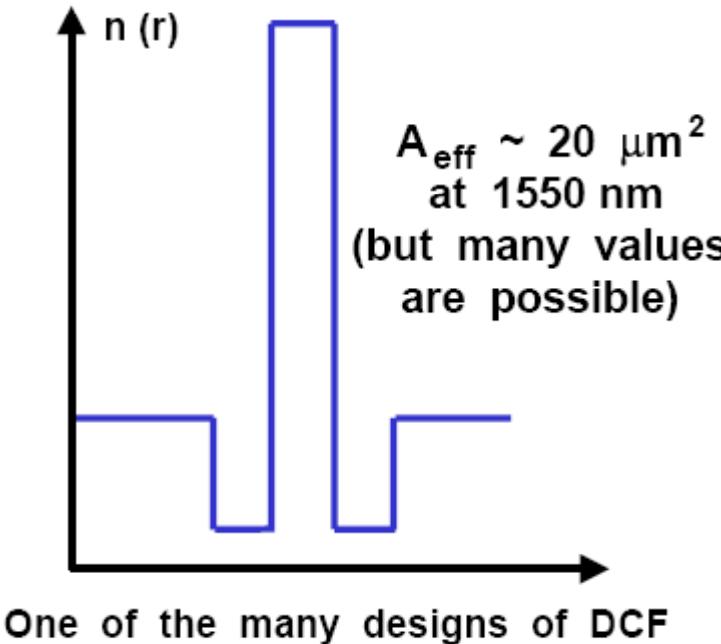


Fibras mantenedoras de polarización



Elliptical Core



Fibra compensadora de la dispersión: DCF: *dispersion compensating fibre*

Valores (no está estandarizada, puede variar)

$$D_{\text{DCF}} = -100 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$$

$$S_{\text{DCF}} = -0.3 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$$

Inconvenientes:

Mayor coef. de no linealidad, menor área efectiva

Mayores pérdidas (0.5 dB/km)

Pérdidas en empalmes con fibra normal

El objetivo sería conseguir

$$D_{\text{DCF}} L_{\text{DCF}} = D_{G.652} L_{G.652}$$

$$S_{\text{DCF}} L_{\text{DCF}} = S_{G.652} L_{G.652}$$

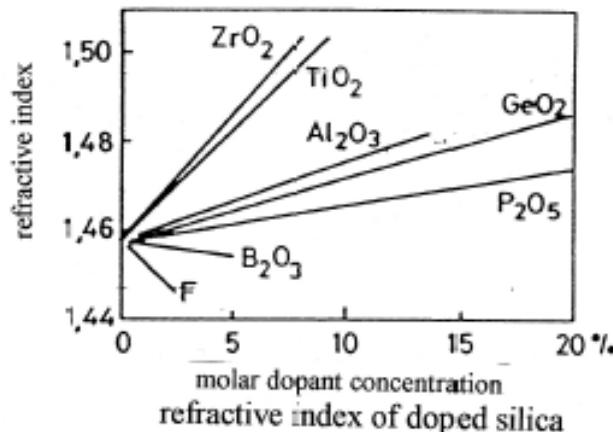
Pero no se suele conseguir completamente



- Introducción
- Tipos de fibras comerciales
- Fabricación de la fibra óptica
- Cableado de fibras
- Conexiones entre fibras
- Resumen y conclusiones



La mayoría de las fibras son de vidrio. Es decir, la cubierta está hecha de sílice y es el núcleo el que incluye otros materiales para poder modificar el índice de refracción



Control del índice
de refracción

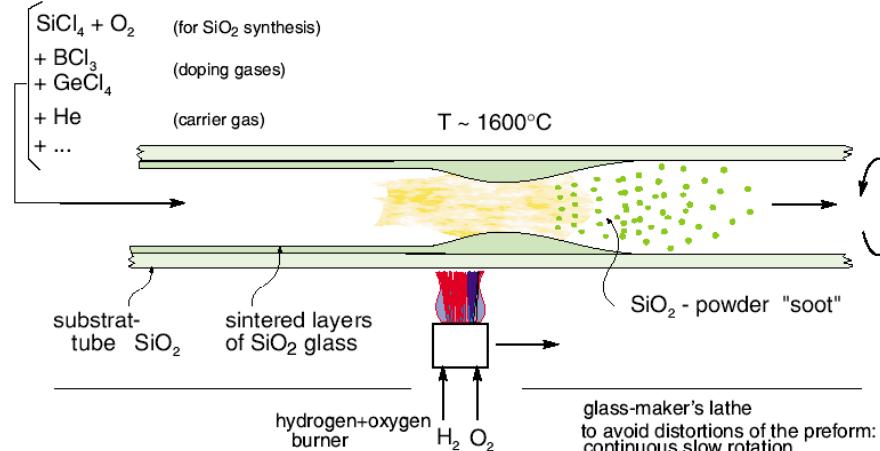
El proceso de fabricación de una fibra óptica tiene 3 fases

Fabricación de la preforma

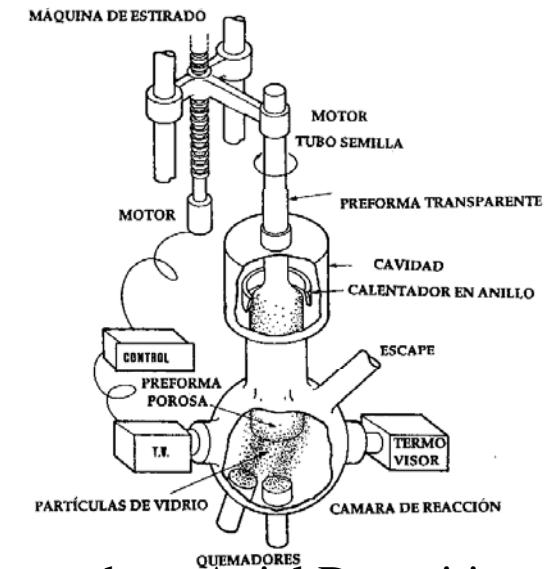
Colapsado de la preforma

Estirado de la preforma y primeros recubrimientos

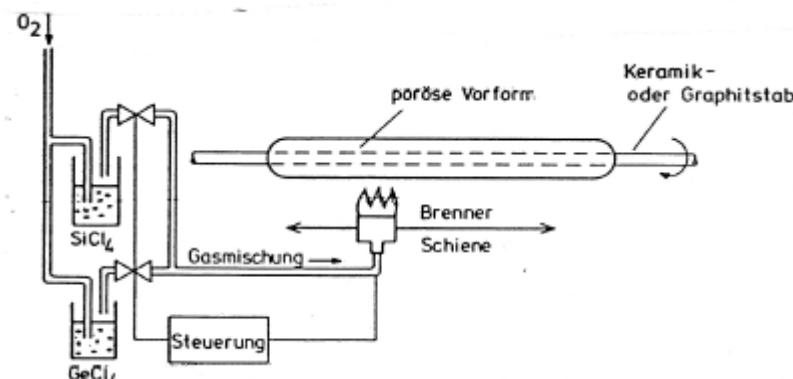
FABRICACIÓN DE LA PREFORMA



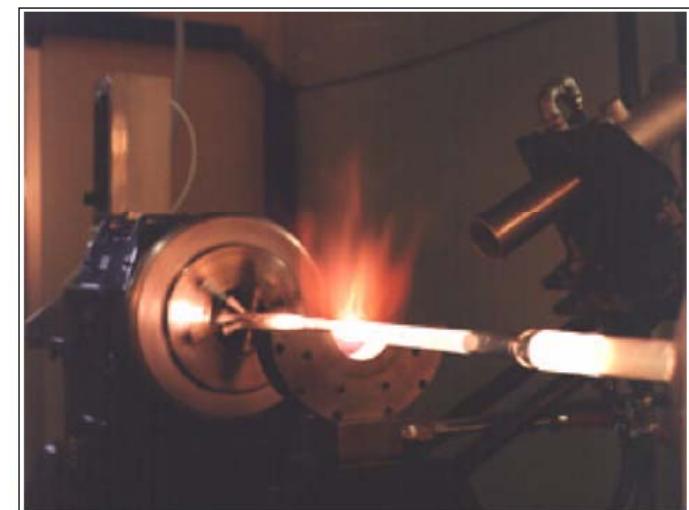
MCVD: Modified Chemical Vapour Deposition
(Lucent/AT&T)



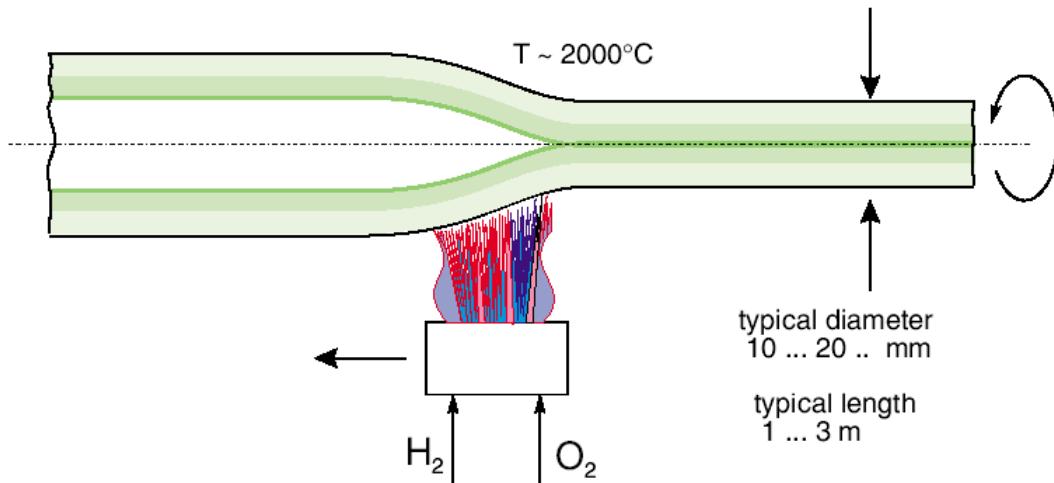
VAD: Vapour phase Axial Deposition
(Sumitomo)



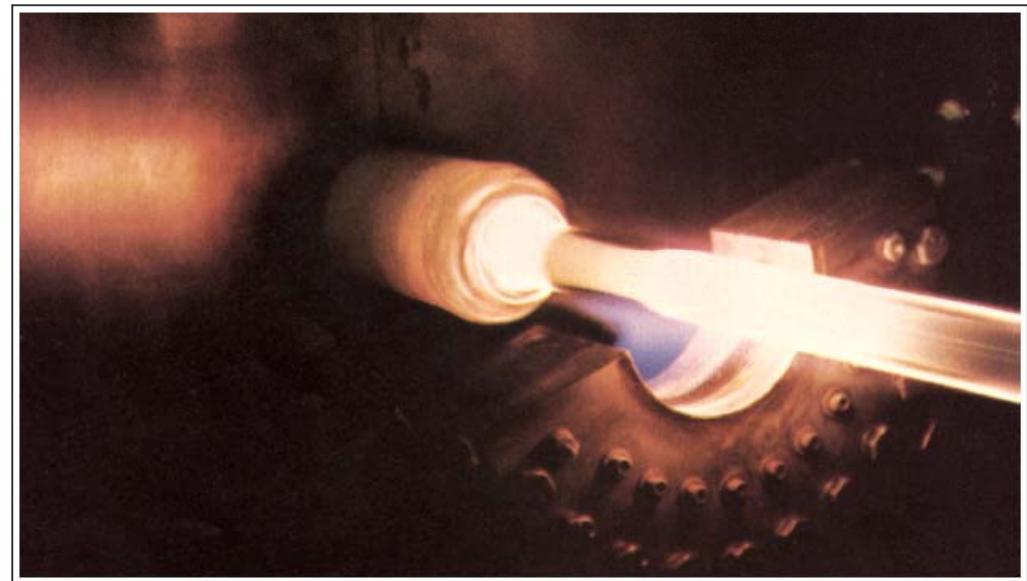
OVD: Outside Vapour phase Deposition
(Corning)



COLAPSADO DE LA PREFORMA

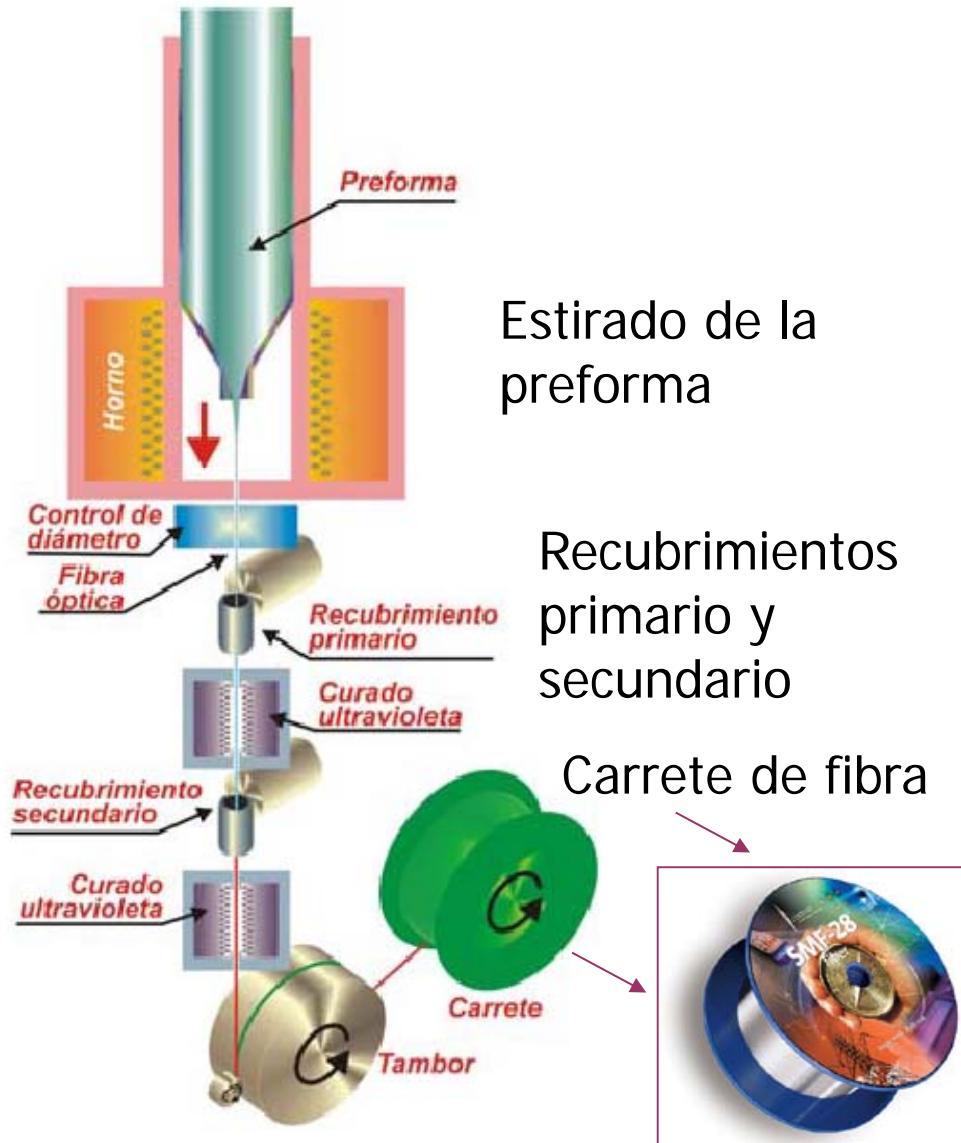


El resultado es la preforma: una réplica a escala de lo que será la fibra óptica



ESTIRADO DE LA PREFORMA Y PRIMEROS RECURBIMIENTOS

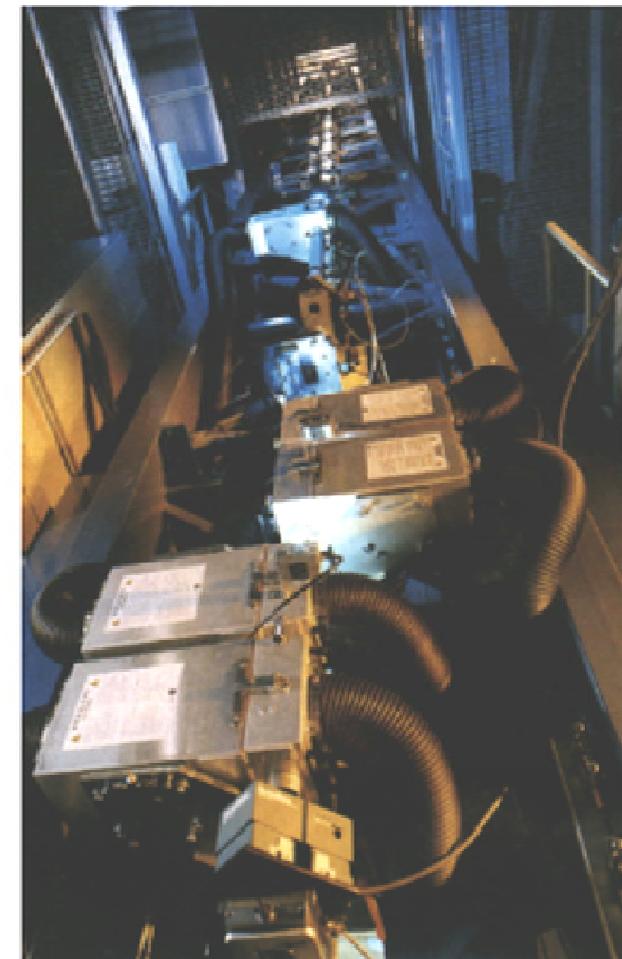
Nokia



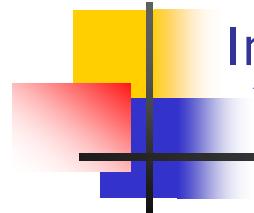
Estirado de la
preforma

Recubrimientos
primario y
secundario

Carrete de fibra



- 25 m high
- Maximum drawing speed 1600 m/min



- Introducción
- Tipos de fibras comerciales
- Fabricación de la fibra óptica
- **Cableado de fibras**
- Conexiones entre fibras
- Resumen y conclusiones



Ing. Telec., CC.OO.: tx. por fo. Cableado de fibras ópticas



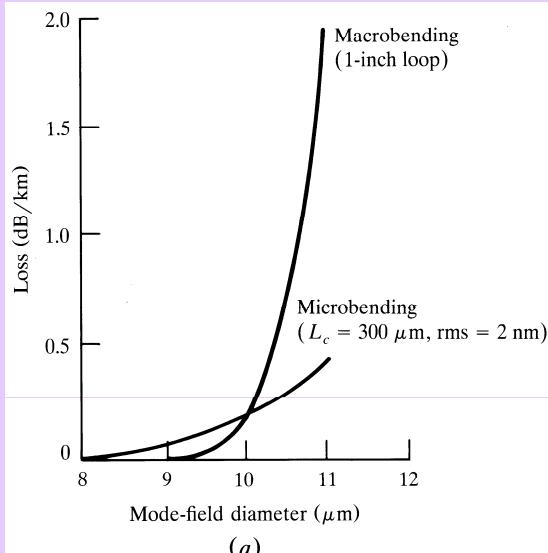
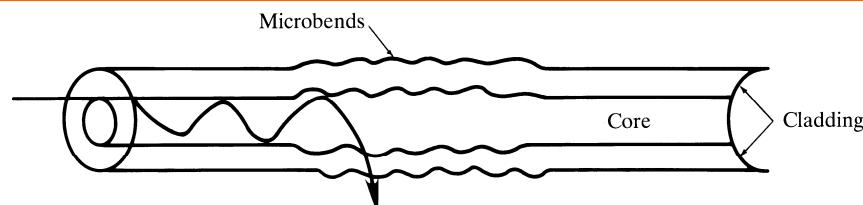
Industria
cableado



Cableado: cómo afecta a la atenuación en una fibra óptica de sílice

Las pérdidas por macro-curvaturas se evitan respetando lo indicado por el fabricante de cables en las especificaciones

Las pérdidas por micro-curvaturas se deben también a una mala manipulación (torsión, estiramiento, etc.) o cableado

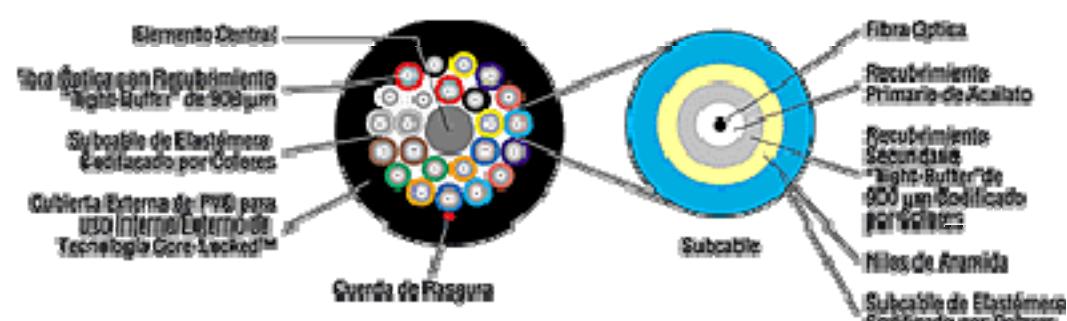
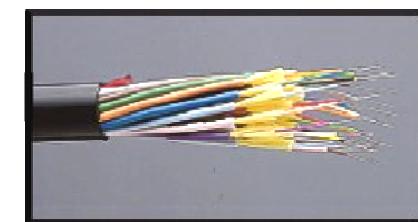
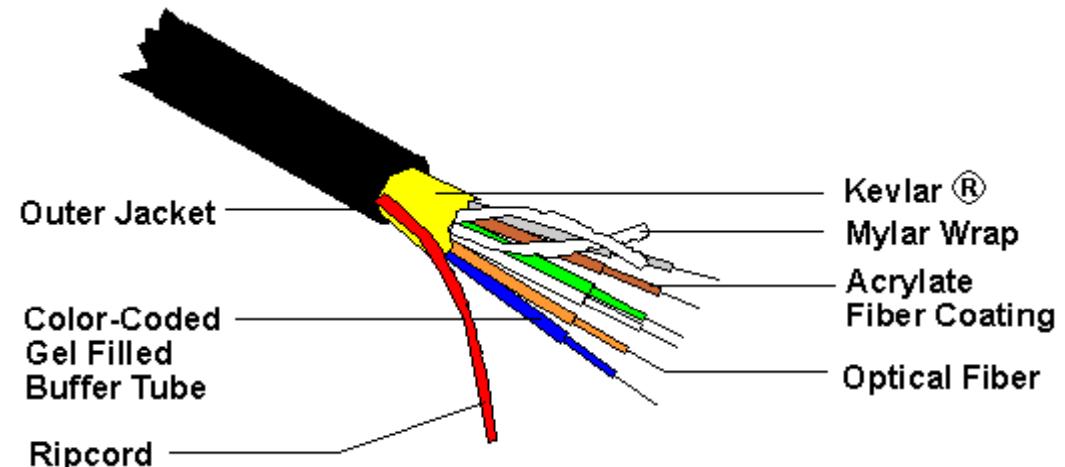
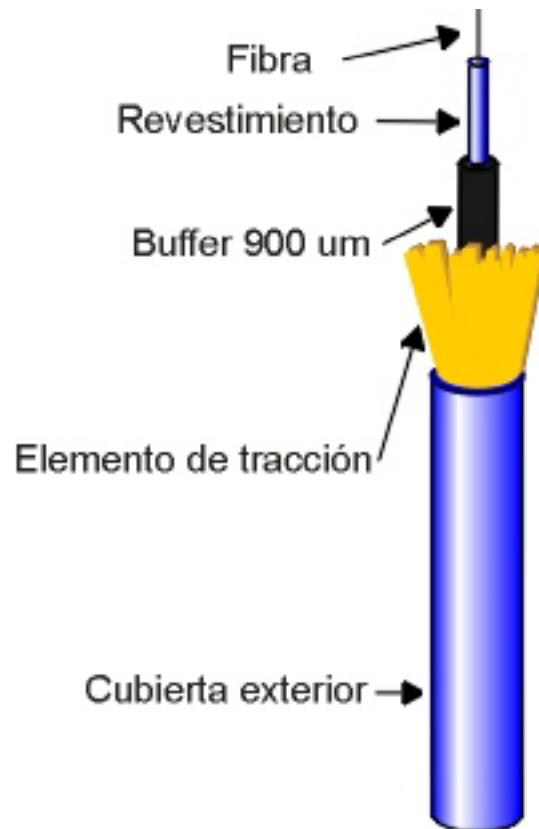


En ambos casos disminuyen con el confinamiento de la potencia en el núcleo (diámetro del modo)



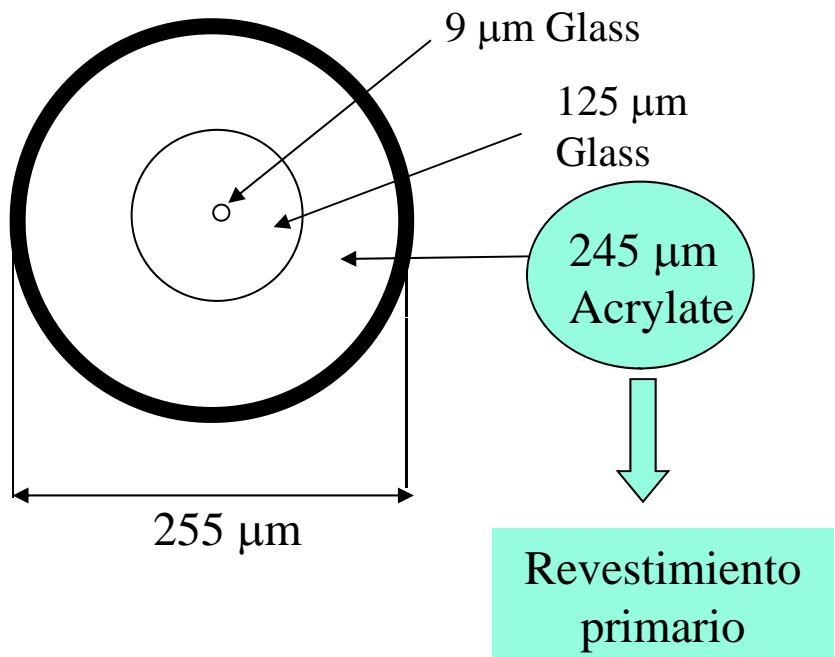
Especificaciones / Specifications

Fibras / Fibres	Simplex	Duplex
Diámetro (mm) Diameter (mm)	3.0	3.0 x 6.5
Peso (Kg/Km) Weight (Kg/Km)	10	20
Tensión máxima de instalación (N) Tensile load short term (N)	500	1000
Tensión máxima permanente (N) Tensile load long term (N)	300	500
Radio de curvatura (mm) Bending radius (mm)	30	40

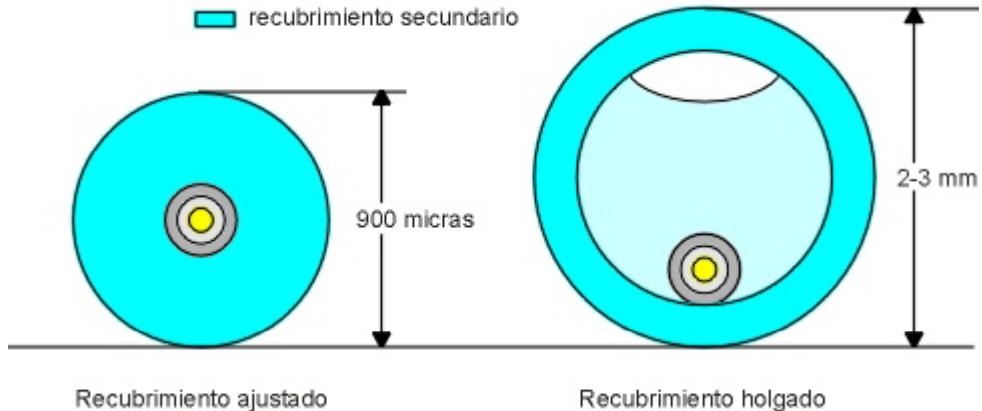


FIBRAS ÓPTICAS: Protecciones primeras

ITU-T G.650



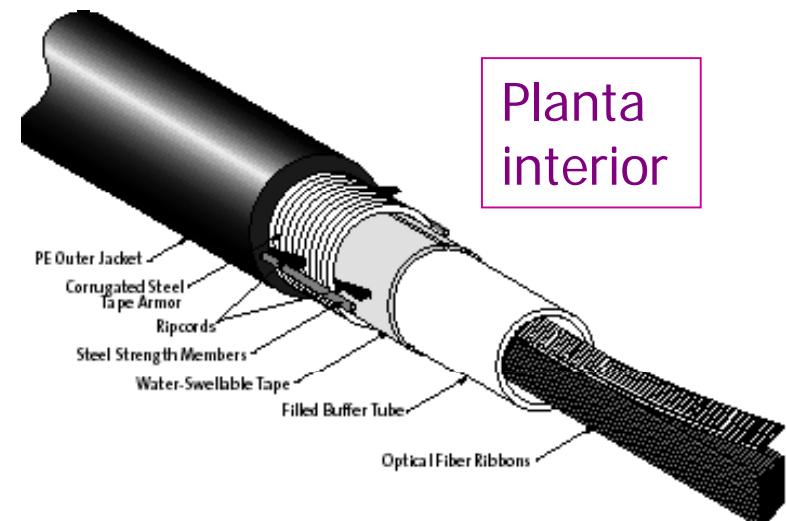
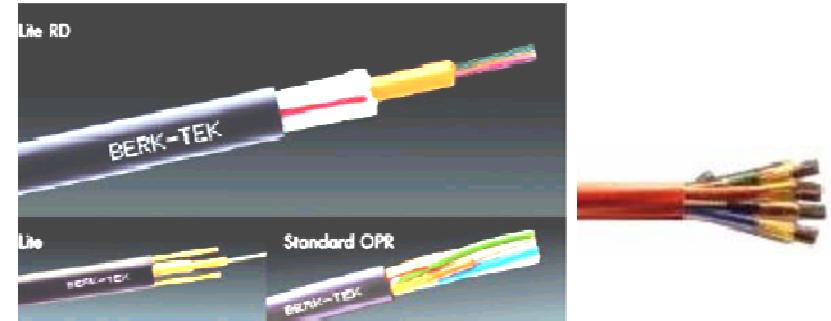
- núcleo
- cladding 125 micras
- recubrimiento primario 250 micras
- gel
- recubrimiento secundario



Exteriores: Holgado-*loose tube* -(humedad: relleno)

Interiores: Ceñido – *tight tube* (tensiones)

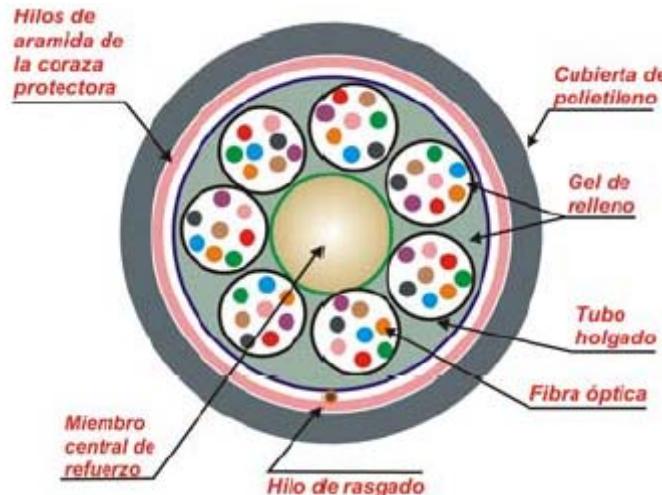
FIBRA ÓPTICA: CABLES



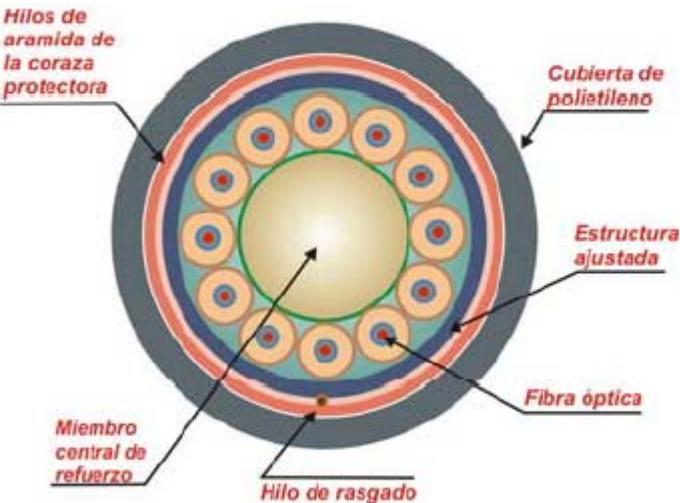
Cable aéreo

FIBRA ÓPTICA: CABLES, ESTRUCTURAS BÁSICAS

Cable de estructura holgada



Cable de estructura ajustada



Apropiado en instalaciones exteriores (aéreas o enterradas)

El gel de relleno puede ser un problema en tramos verticales

Provee aislamiento de las fuerzas de tensión exteriores

Longitud de las fibras mayor que la del cable

Núcleo de refuerzo en acero o kevlar

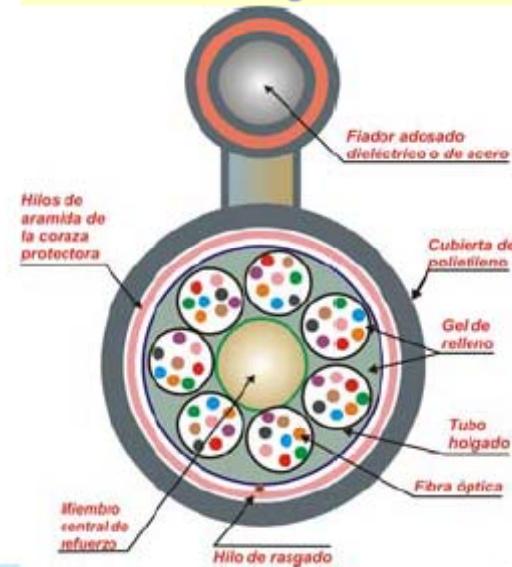
Pensado para instalaciones interiores y tramos verticales prolongados

Más sensible a las curvaturas del cable y a la tracción. Más flexible y admite radios de curvatura más pequeños.

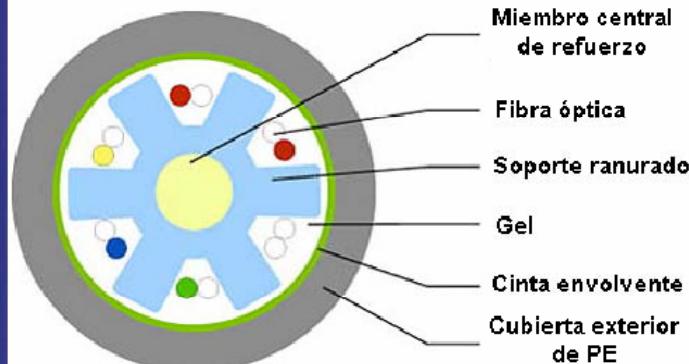
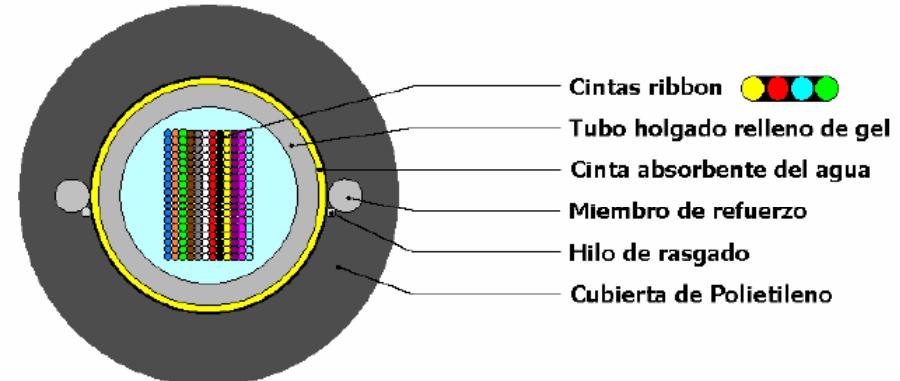
Permite poner directamente el conector sin utilizar pig-tails ni fundas

FIBRA ÓPTICA: CABLES, OTRAS ESTRUCTURAS

Cable de Figura en 8



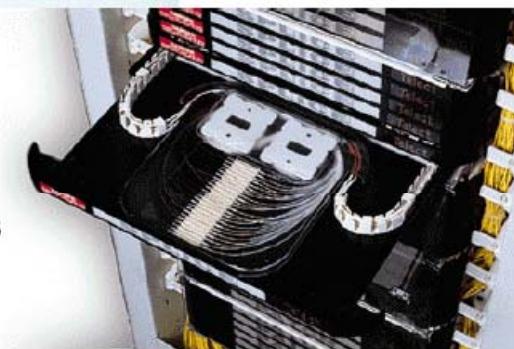
Cables de Cinta

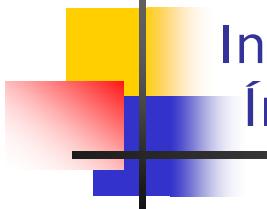


Cable Blindado



FIBRA ÓPTICA: CABLEADO, otros elementos

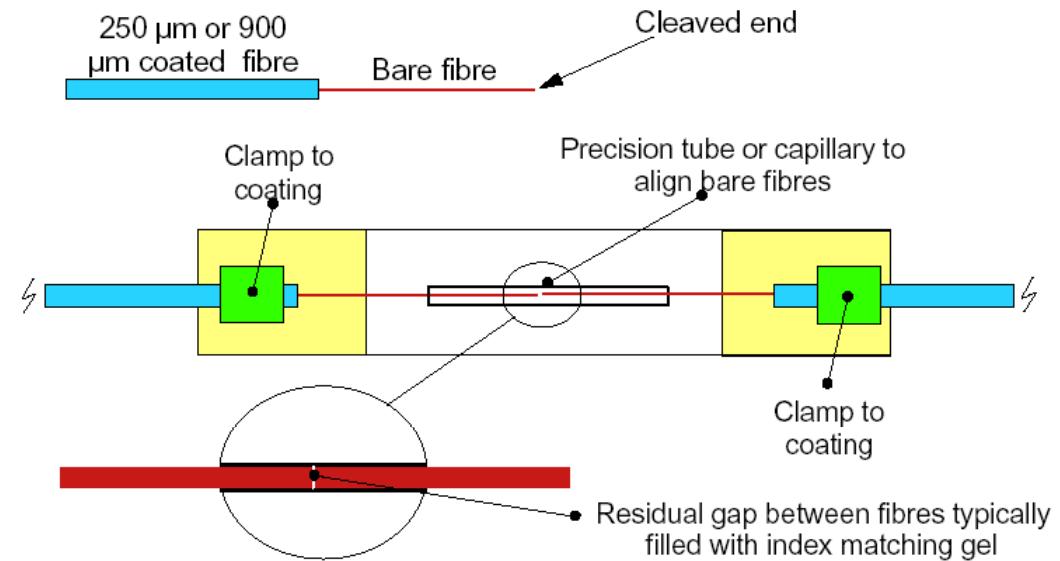
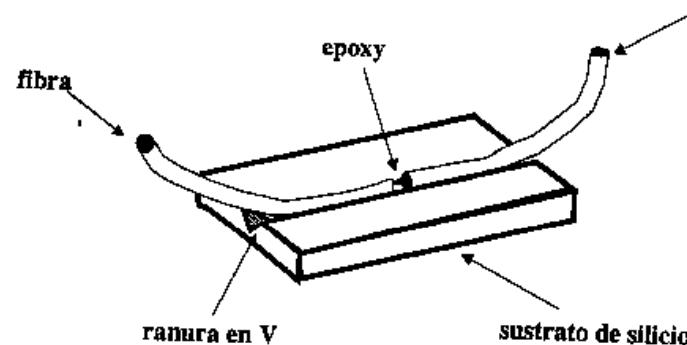




- Introducción
- Tipos de fibras comerciales
- Fabricación de la fibra óptica
- Cableado de fibras
- Conexiones entre fibras
- Resumen y conclusiones

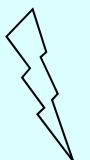


Empalmes mecánicos



Baratos

Removibles

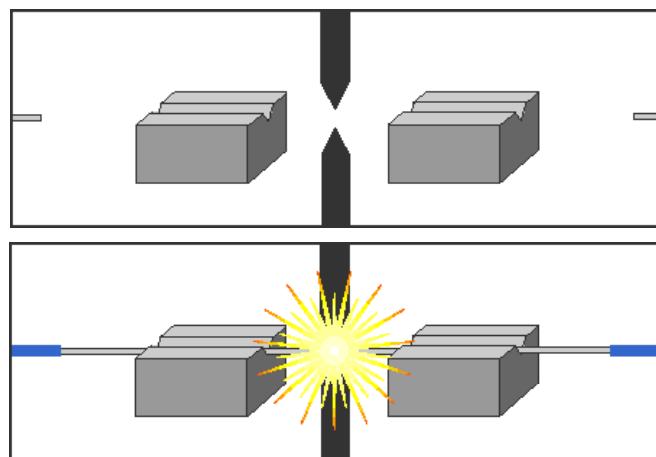
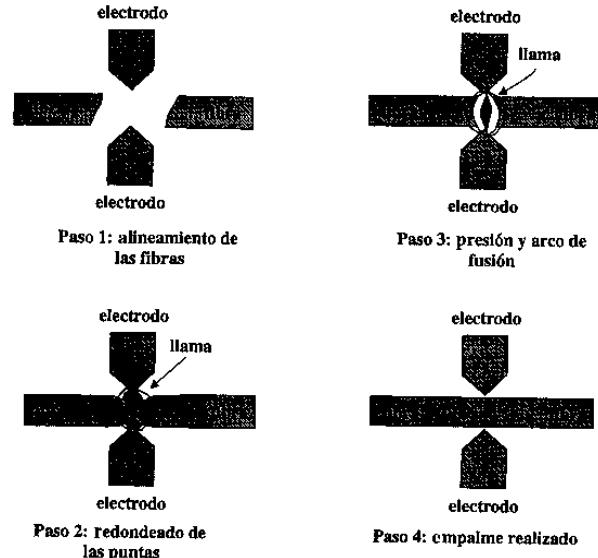


Menos fiabilidad

Más pérdidas



Empalmes por fusión



protección del empalme

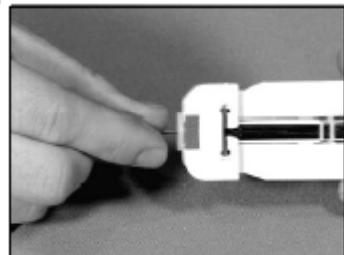
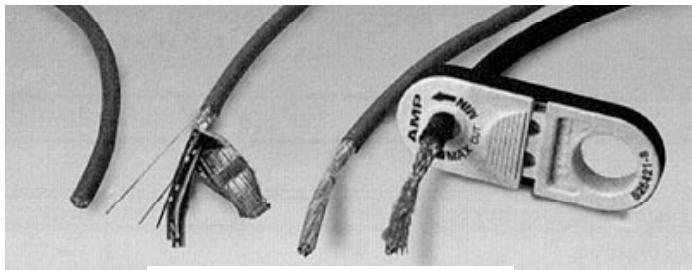
Fusión de los núcleos:
mínimas pérdidas < 0.1 dB



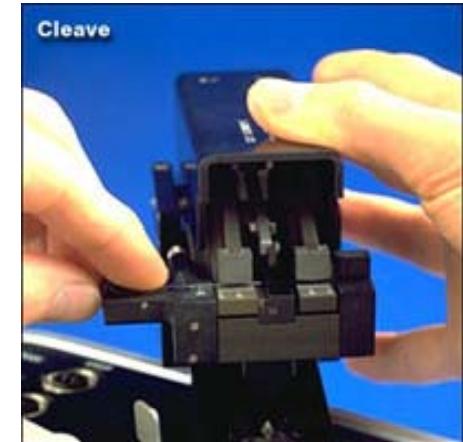
- muy sensibles a tensiones laterales -> necesidad de protegerlos
- se necesita mano de obra y material muy especializado (¡y caro!)
- empalmar cada fibra cuesta un tiempo nada despreciable

EMPALMES, PREPARACIÓN

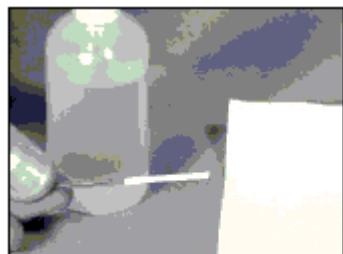
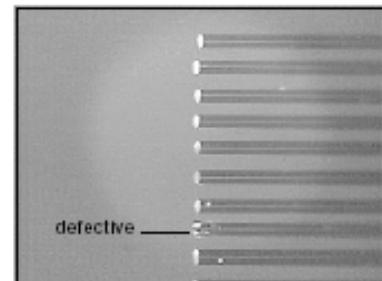
Pelado



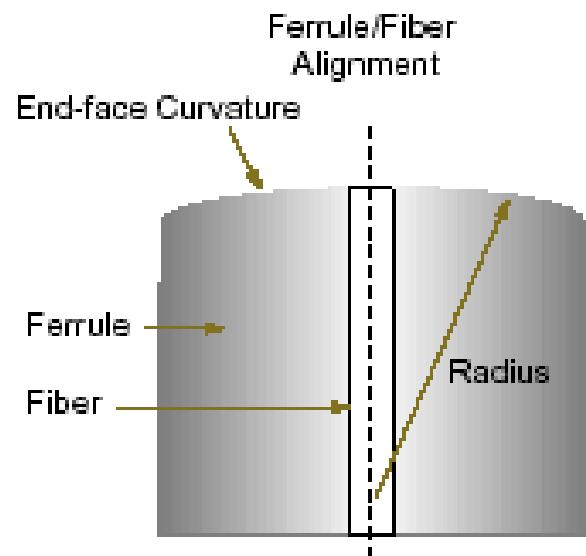
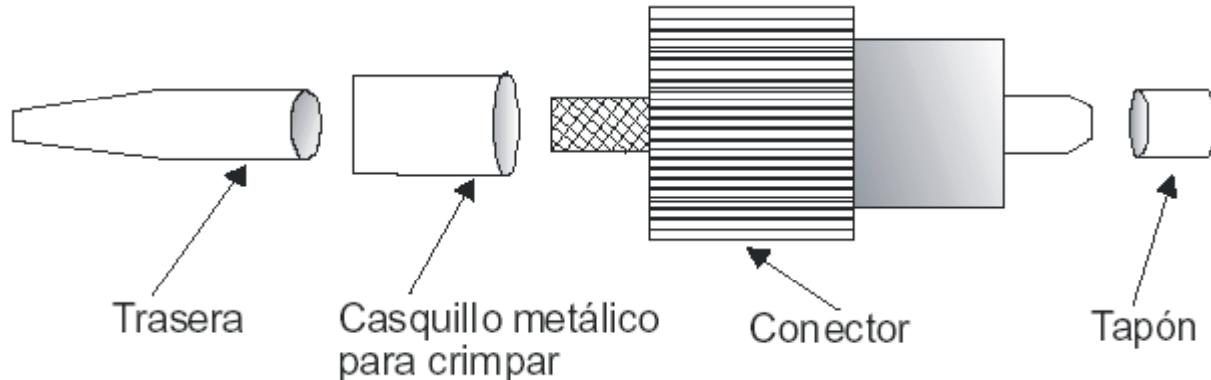
Corte adecuado del extremo



Limpieza e inspección



CONECTORES



Los empalmes se hacen con intención de permanencia

Para conexión de componentes, paneles de parcheo y, en general, uniones no fijas se utilizan los llamados latiguillos, que están acabados en conectores.

La mayor parte de ellos se basa en el uso de férulas (de diferentes materiales, cerámicas, metálicas,...) en las que está introducida la fibra

CONECTORES, TIPOS BÁSICOS según unión entre fibras

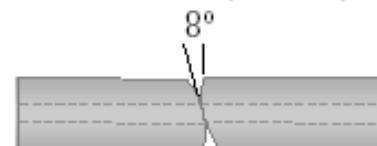
Air Gap



Physical Contact
(PC)



Angled Physical
Contact (APC)



Medium insertion loss:
typ. 0.5 dB

Worst return loss:
< 14 dB (Fresnel)

Common multimode
fiber connector

Lowest insertion loss:
< 0.25 dB

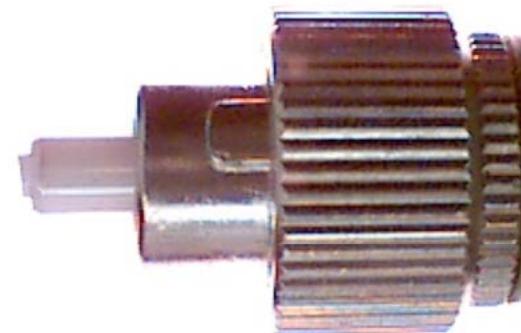
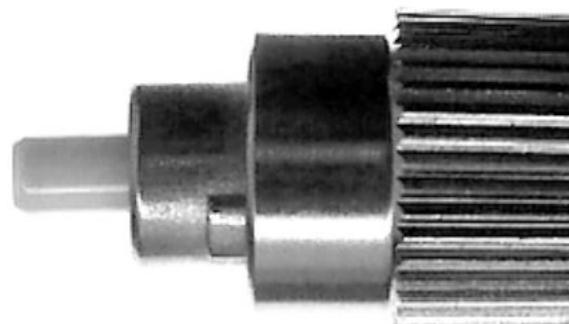
Good return loss:
> 40 dB

Common single-mode
fiber connector

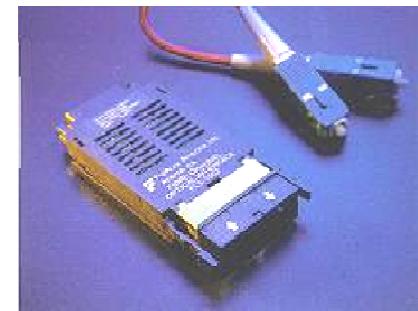
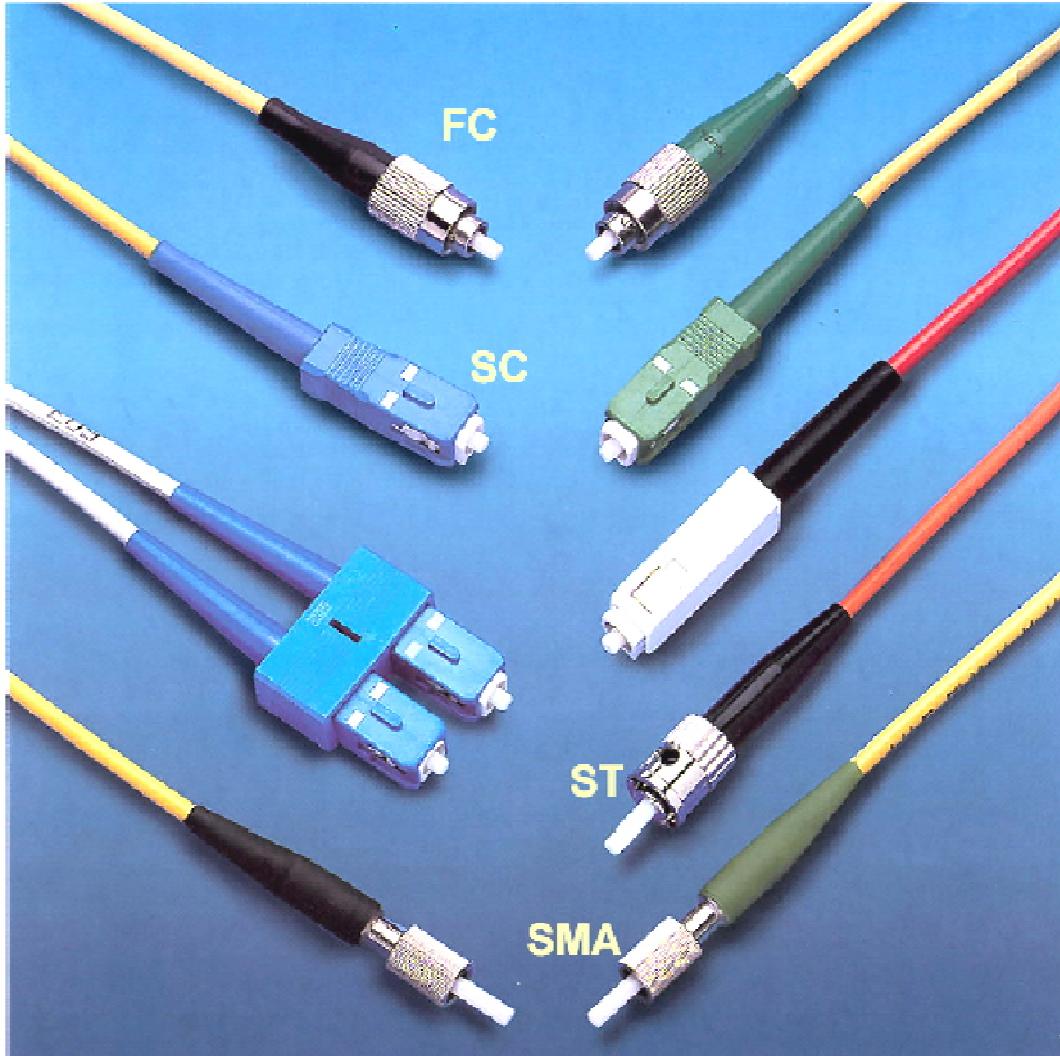
Highest insertion loss:
0.4 to 0.9 dB

Best return loss:
> 60 dB

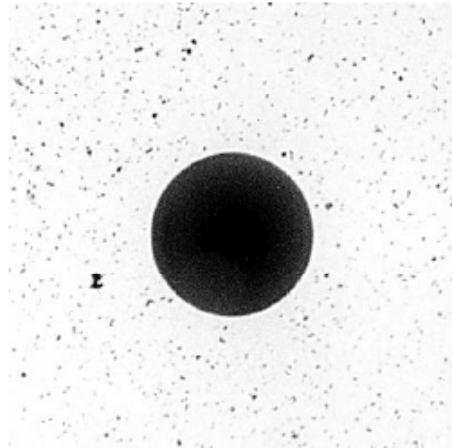
Cable TV, high
performance systems



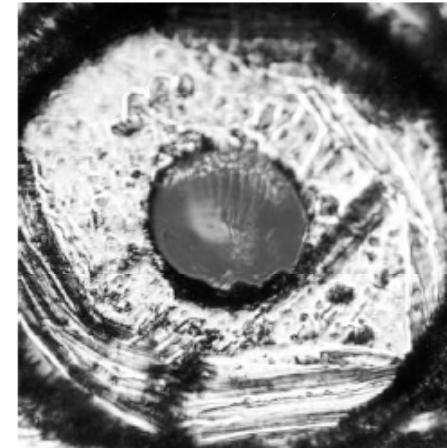
CONECTORES, TIPOS según el sistema mecánico



CONECTORES, importancia de su cuidado y limpieza

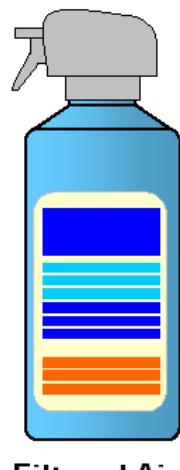


New Connector



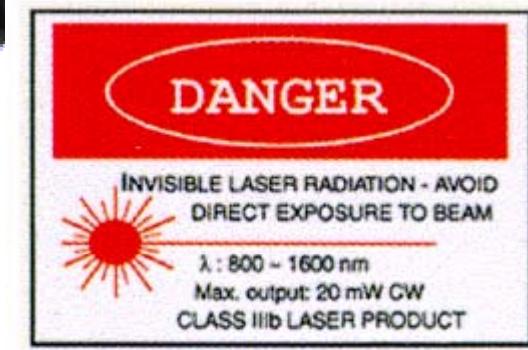
Damaged Connector

Limpieza



Isopropyl Alcohol
Pure Cotton Swabs

Inspección



Filtered Air

CAUSAS DE PÉRDIDAS EN EMPALMES Y CONECTORES

Offset



Angular Misalignment



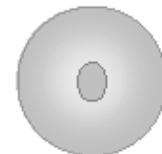
Separation



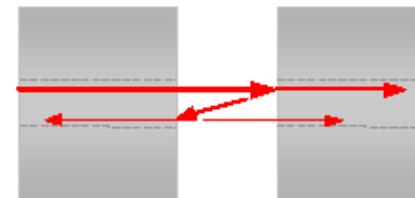
Core Eccentricity



Core Ellipticity



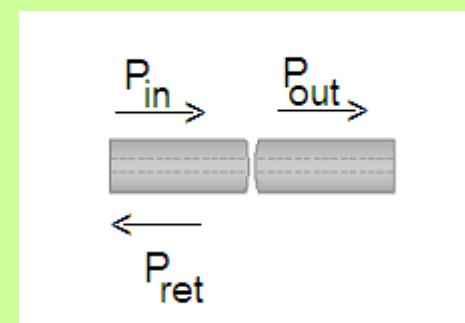
Reflections & Interference

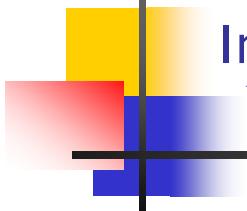


Parámetros característicos

$$\text{Pérdidas de inserción: } IL = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$$

$$\text{Pérdidas de retorno: } RL = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_{ret}}{P_{in}} \right)$$





- Introducción
- Tipos de fibras comerciales
- Fabricación de la fibra óptica
- Cableado de fibras
- Conexiones entre fibras
- Resumen y conclusiones



- ❑ Como se vio en temas anteriores, hay varios tipos de fo. que pueden emplearse en la tx, con diferentes parámetros que las hacen susceptibles de ser usadas en una u otra aplicación
- ❑ Hay estandarizadas (ITU) varias fibras monomodo según el valor de su dispersión. Comercialmente, aún siguiendo los estándares, hay mayor variedad.
- ❑ Se ha estudiado el proceso de fabricación de fibra óptica, que es similar independientemente de sus características
- ❑ Además de las cubiertas básicas hay toda una gama de posibilidades en la construcción de cables de fibras ópticas según cuál vaya a ser su instalación
- ❑ Para unir dos fibras de forma (semi)permanente se utilizan empalmes, fundamentalmente por fusión, aunque también los hay mecánicos
- ❑ Para unir dos fibras de forma no permanente se usan conectores. Los hay también de muy diferentes tipos.
- ❑ Tanto en conectores como en empalmes se producen pérdidas y se puede reflejar parte de la potencia y volver por la fibra por la que venía. Ambos efectos han de ser evitados en lo posible
- ❑ Es fundamental el cuidado en el manejo de las fibras, debido a su reducido tamaño. Este es uno de los motivos (no el único) de la carestía de este medio de tx.