

Curso de Fibra Óptica

Capítulo 1 – Conceptos, diseño y materiales

José Manuel Laín ~ jmlain@telnet-ri.es
Versión 2 ~ Julio 2008

*Diseñamos primero,
fabricamos después*



Introducción a los sistemas de fibra óptica



Torre del Telégrafo Óptico de Mathé

- Un sistema de comunicaciones ópticas es una forma de transmitir información cuyo **soporte básico es la luz**.
- El primer paso para entender el funcionamiento de las fibras ópticas, es dar un repaso a los parámetros más relevantes de la luz.
- La tecnología de fibras ópticas comprende a su vez otros aspectos como la conectorización, empalmes, cables de fibra, dispositivos pasivos, etc. El objetivo es dar una perspectiva de todos estos aspectos relacionados con las fibras ópticas.



“La información viaja en forma de luz a lo largo de dicho sistema”

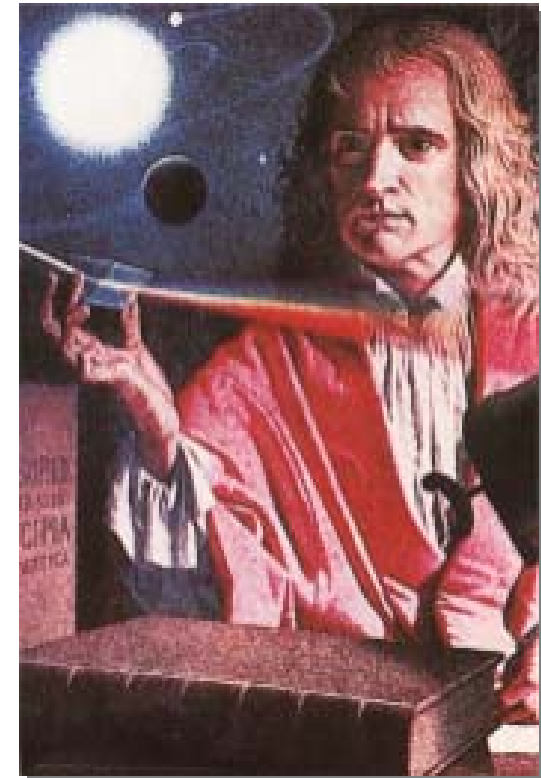
*Diseñamos primero,
fabricamos después*

Naturaleza y composición de la luz (I)

Verano de 1665. Una terrible peste asola la región de Londres. La Universidad de Cambridge se ve obligada a cerrar sus aulas y enviar a estudiantes y profesores a sus casas. Uno de estos estudiantes es un joven de 22 años, Isaac Newton, que va a pasar en su pueblo natal, Woolsthorpe, dos años de vacaciones forzosas. Las vacaciones más fructíferas de la historia de la ciencia.

A lo largo de estos meses Newton va a concebir, experimentar y desarrollar sus geniales ideas sobre la naturaleza de la luz, la gravitación universal y sobre el método de fluxiones.

A principios de 1666, valiéndose de un prisma y un agujero en la contraventana de su habitación va a demostrar que la luz del sol es una mezcla de colores.



Isaac Newton (1643 -1727)

*Diseñamos primero,
fabricamos después*

Naturaleza y composición de la luz (II)

- La naturaleza de la luz ha sido estudiada desde hace años por muchos científicos tan notables como Newton y Max Plank, siendo interpretada de diversas maneras:
 - Como compuesta por corpúsculos que viajaban por el espacio en línea recta (**teoría corpuscular** - Newton - 1670).
 - Como ondas similares a las del sonido que requerían un medio para transportarse (el Éter- **teoría Ondulatoria** - Huygens - 1678, Young y Fresnel).
 - Como ondas electromagnéticas , al encontrar sus características similares a las ondas de radio (**teoría electromagnética** - Maxwell - 1860).
 - Como **paquetes de energía** llamados cuantos (Plank).
 - Finalmente Broglie en 1924 unifica la teoría electromagnética y la de los cuantos (que provienen de la ondulatoria y corpuscular) demostrando la doble naturaleza de la luz.



“Desde un punto de vista físico, la luz puede ser tratado como una onda electromagnética o como un fotón. Esto es la famosa teoría dual onda-partícula de la física moderna”

*Diseñamos primero,
fabricamos después*

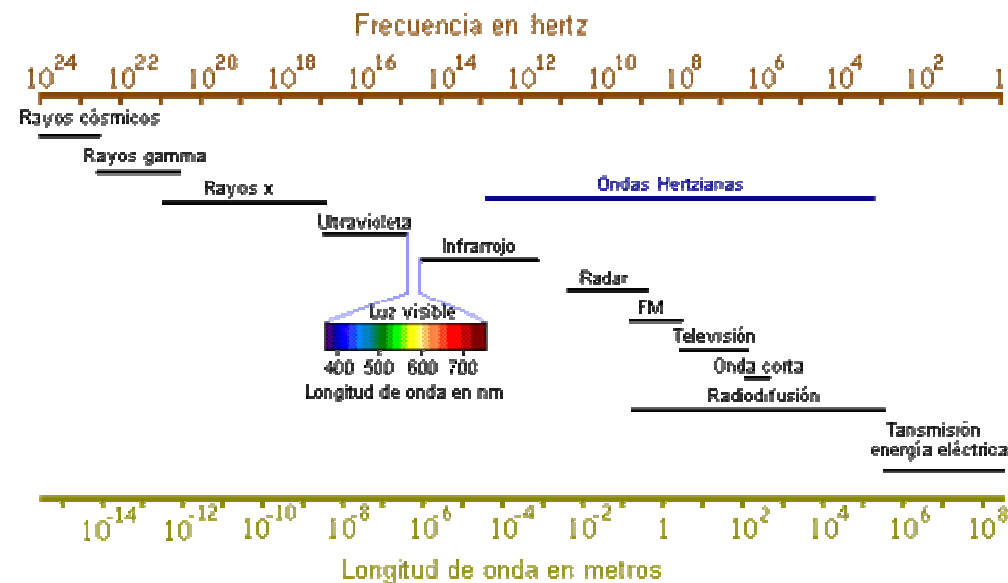


- 1844** José María Mathé dirige las obras del trazado del telégrafo óptico Madrid-Irún, 52 torres cubren esta línea. El primer telegrama se transmitió el día 2 de octubre de 1846
- 1870** Experimentos de John Tyndall en transmisión de luz por trayectorias curvilíneas (cilindros llenos de agua)
- 1880** Alexander Graham Bell inventa el Photophone
- 1910** Primeros ensayos con guía ondas ópticas de Hondros y Derbye
- 1953** Aparece el termino fibra óptica de la mano Kapany
- 1957** Cable coaxial submarino TAT-1 con capacidad para 36 canales de voz
- 1957** Aplicación practica de guía ondas en medicina: la Fibroscopia
- 1960** Desarrollo del primer LASER por Theodore Maiman
- 1962** Los primeros láseres de semiconductores funcionan en varios laboratorios del mundo
- 1966** Kao y Hockhman sugieren el empleo de la fibra óptica en las la comunicaciones, para ello serán necesarias nuevas técnicas de fabricación y purificación del cristal
- 1970** Cable coaxial submarino TAT-5, 845 canales de voz
- 1970** Corning produce la primera fibra con grado de comunicación, con una atenuación de 20dB/Km

- 1974** Investigadores franceses del CNET proponen el uso de técnicas holográficas para su empleo en conmutación óptica
- 1975** AT&T hace la primera demostración pública de una transmisión óptica de datos pudiendo soportar hasta 50.000 canales de voz. Sitúa repetidores cada 11 kilómetros
- 1979** Manuel Villarig, como Director de I+D de Cables de Comunicaciones, promueve la primera instalación experimental de fibra óptica de España. Esta se realiza entre dos centros de Telefónica.
- 1983** Bell System es capaz de transportar 500.000 canales de voz por una fibra situando repetidores cada 100 kilómetros
- 1983** Cable coaxial submarino TAT-7, 4200 canales de voz
- 1986** Investigadores de Telcordia hacen la primera demostración práctica de DWDM. Sobre una fibra de 57 Km transmitió 18 longitudes de onda a más de 2 Gbits por lambda
- 1987** Investigadores británicos de la universidad de Southampton desarrollan el primer el primer amplificador óptico EDFA
- 1988** Primer cable submarino de fibra óptica TAT-8. Soporta hasta 40.000 canales de voz
- '90** Constante desarrollo de la tecnología de guíaondas, micro-óptica, semiconductores láser, solitón, DWDM y conmutación óptica

Espectro electromagnético

- La luz forma parte del espectro electromagnético, lo mismo que las señales de radio, televisión o rayos X (Es por ello que pueden usarse, al igual que se usan las ondas de radio para la transmisión de información).
- Cada uno de estos tipos de onda comprende un intervalo definido por una magnitud característica que puede ser la longitud de onda (λ) o la frecuencia (f).



*Diseñamos primero,
fabricamos después*

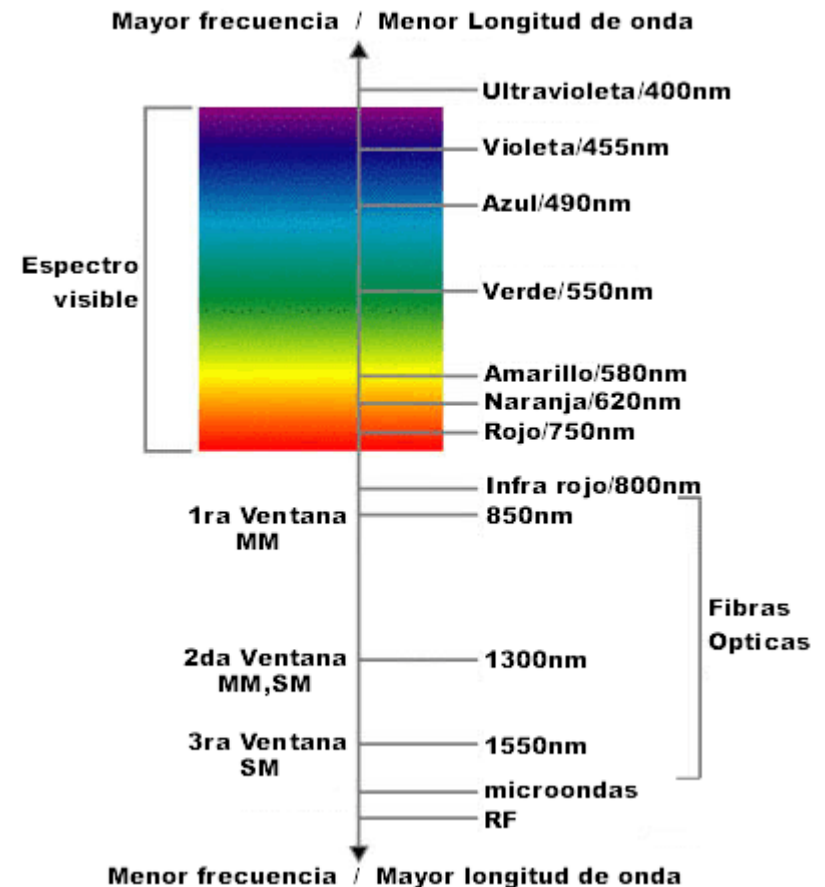
Frecuencia y Longitud de Onda

- Para describir las ondas pueden utilizarse indistintamente cualesquiera de las dos magnitudes. Por razones históricas en los sistemas de comunicaciones convencionales, vía radio o cable, suele utilizarse la frecuencia, mientras que en el campo de las comunicaciones ópticas se utiliza la longitud de onda.

$$\lambda = c/f$$

- Las comunicaciones ópticas utilizan ciertas porciones del espectro electromagnético, las cuales se denominan ventanas y corresponden a las siguientes longitudes de onda (λ), expresadas en nanómetros.

λ = Letra griega lamda

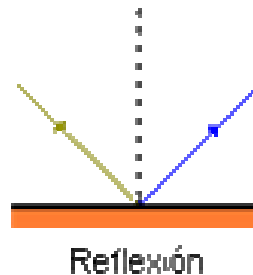


*Diseñamos primero,
fabricamos después*

Propiedades de la luz (I)

- Cuando la luz encuentra un obstáculo en su camino choca contra la superficie de este y una parte es reflejada. Si el cuerpo es opaco el resto de la luz será absorbida. Si es transparente una parte será absorbida como en el caso anterior y el resto atravesará el cuerpo. Así pues, tenemos tres posibilidades:

- **La reflexión** es un fenómeno que se produce cuando la luz choca contra la superficie de separación de dos medios diferentes y esta es reflejada. Cambio de dirección y sentido (Cuando nadas bajo el agua, a menudo no puedes ver el cielo, la luz es reflejada hacia abajo por la superficie del agua).

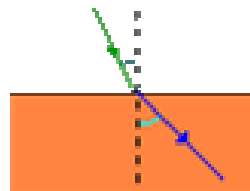


*Diseñamos primero,
fabricamos después*



Propiedades de la luz (II)

- **La absorción** es un proceso muy ligado al color. Cuando la luz blanca choca con un objeto una parte de los colores que la componen son absorbidos por la superficie y el resto son reflejados. Las componentes reflejadas son las que determinan el color que percibimos. Si las refleja todas es blanco y si las absorbe todas es negro. Queda claro, entonces, que el color con que percibimos un objeto depende del tipo de luz que le enviamos y de los colores que este sea capaz de reflejar.
- **La refracción** se produce cuando un rayo de luz es desviado de su trayectoria al atravesar una superficie de separación entre medios diferentes. Esto se debe a que la velocidad de propagación de la luz en cada uno de ellos es diferente. por eso vemos una cuchara como doblada cuando está en un vaso de agua, la dirección de donde nos viene la luz en la parte que está al aire no es la misma que la que está metida en el agua).



Refracción

*Diseñamos primero,
fabricamos después*



Índice de Refracción

- Dependiendo de la velocidad con que se propague la luz en un medio o material, se le asigna un Índice de Refracción "n", un número deducido de dividir la velocidad de la luz en el vacío entre la velocidad de la luz en dicho medio.

$$n = \frac{c}{v}$$

donde:

c = es la velocidad de la luz (3.000.000.000 m/s) en el aire

v = es la velocidad de la luz en un material específico.

n = índice de refracción

- Los efectos de reflexión y refracción que se dan en la frontera entre dos medios dependen de sus Índices de Refracción (ley de refracción de Snell).

$$n_1 \cdot \text{sen} \theta_1 = n_2 \cdot \text{sen} \theta_2$$

donde:

n1 = índice de refracción del material 1 (adimensional)

n2 = índice de refracción del material 2 (adimensional)

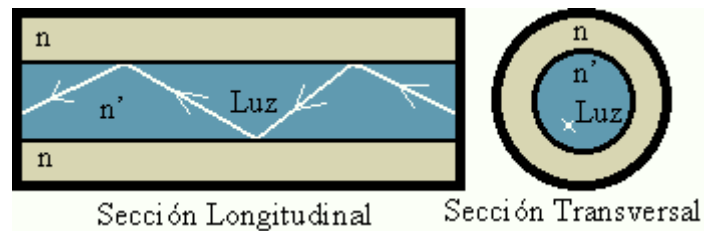
θ_1 = es el ángulo de incidencia (grados)

θ_2 = es el ángulo de refracción (grados)

*Diseñamos primero,
fabricamos después*

Reflexión interna total: El principio de operación de la fibra

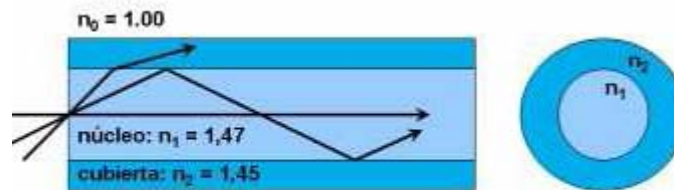
- Dados dos medios con índices n y n' , si el haz de luz incide con un ángulo mayor que un cierto ángulo límite (que se determina con la anterior ecuación) el haz siempre se reflejara en la superficie de separación entre ambos medios. De esta forma se puede guiar la luz de forma controlada. Se produce el efecto denominado de **Reflexión Total**



“En las comunicaciones ópticas, las ondas de luz se transmiten por un medio específico llamado fibra óptica”

Fibras ópticas

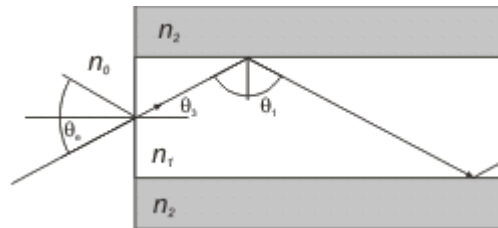
- Son conductos de vidrio u otro material transparente, capaz de concentrar, guiar y transmitir la luz con muy pocas pérdidas.
- La fibra óptica está compuesta por dos capas de vidrio, cada una con distinto índice de refracción. El índice de refracción del núcleo es mayor que el del revestimiento, razón por la cual, y debido a la diferencia de índices de refracción, la luz introducida al interior de la fibra se mantiene y propaga a través del núcleo.



“La condición más importante para que la fibra óptica pueda confinar la luz en el núcleo y guiarla es $n_1 > n_2$ ”

Ángulo de aceptación

- Las ondas luminosas deben entrar en la fibra dentro de cierto ángulo, llamado **ángulo de aceptación**. Cualquier onda que entre según un ángulo mayor a través del revestimiento. Este ángulo está definido por la **apertura numérica NA**. El concepto de apertura numérica es ampliamente utilizado para describir la potencia colectora de luz de fibra y para calcular la eficiencia de acople fuente/fibra y esta definido por:



$$NA = \sin \alpha_{\text{máx}} = \sqrt{n_c^2 - n_r^2}$$

- Donde $\alpha_{\text{máx}}$, representa el máximo ángulo de aceptación. Como se puede apreciar de la expresión anterior, la apertura numérica es función de los índices de refracción de los materiales de la fibra.

*Diseñamos primero,
fabricamos después*

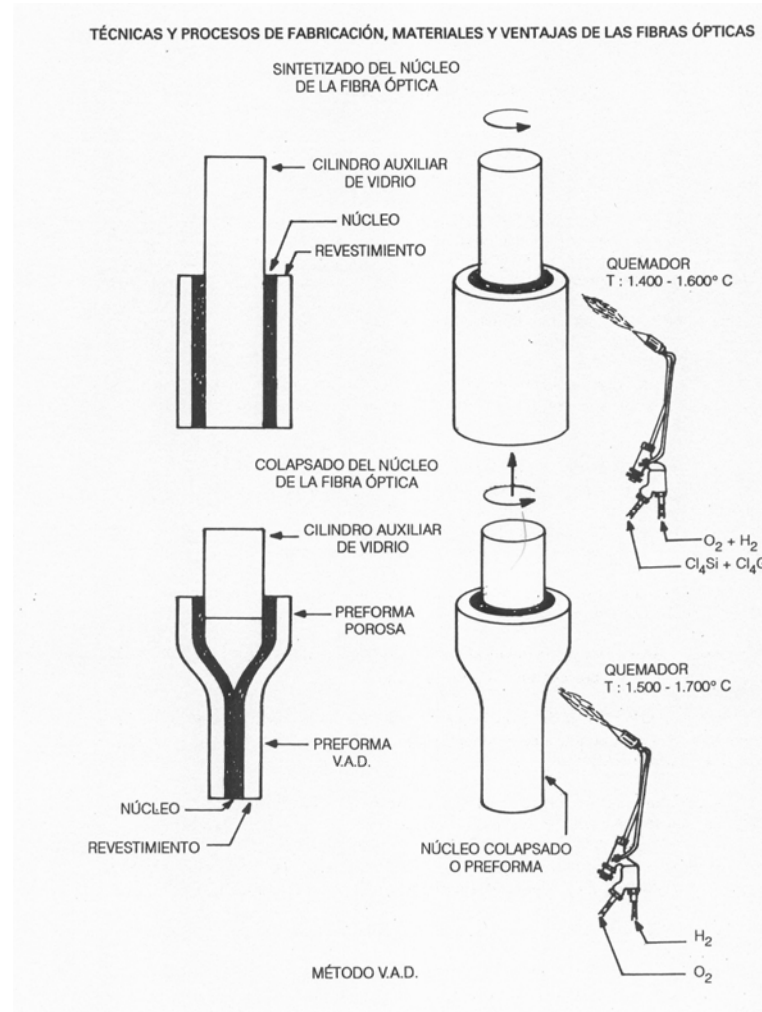
Proceso de fabricación

- Los principales materiales utilizados son el silicio de alta pureza y el vidrio compuesto (plástico). Entre estos materiales, el silicio de alto grado se considera generalmente el material más adecuado para fibras óptica.
 - El vidrio de sílice utilizado en las fibras ópticas es tan puro que puede verse a través de un bloque de dicho vidrio de un kilómetro de espesor. En los vidrios ordinarios, sin embargo, no se aprecia nada tras un bloque de un metro de espesor.
 - El silicio (Si), es el segundo elemento más común en la tierra después del oxígeno. No existe en estado libre, sino que se encuentra en forma de dióxido de silicio y silicatos. El dióxido de silicio es el componente principal de la arena (SiO_2).
- A esta base de silicio se añaden boro, germanio, fósforo y aluminio, para controlar los índices de refracción del núcleo y del revestimiento



*Diseñamos primero,
fabricamos después*

Proceso de fabricación: Método VAD

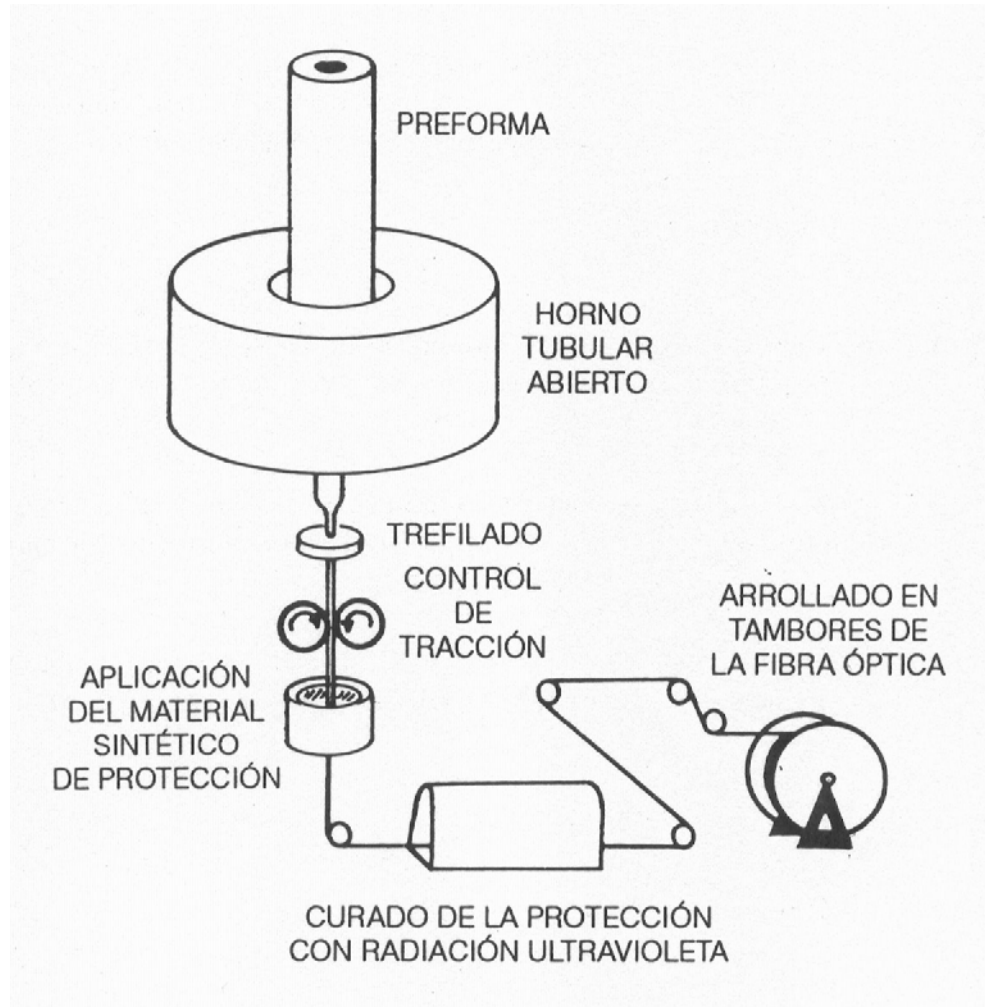


*Diseñamos primero,
fabricamos después*

Proceso de fabricación: Estirado de la fibra (I)

- En este proceso se fija el diámetro exterior de la fibra
- Se somete a la preforma a una temperatura de 2000°C en un horno tubular para el reblandecimiento del cuarzo
- Factores decisivos:
 - Uniformidad en la tensión de tracción que origina el estiramiento de la fibra $> 1\%$ (Proof test: 100 Kpsi)
 - Ausencia de turbulencias en el horno
 - Ausencia de cuerpos extraños
- Se le aplica una capa de material sintético de protección que la preserva mecánicamente y evita la formación de microcurvaturas (acrilato 250 μm)

Proceso de fabricación: Estirado de la fibra (II)



Tipos de fibra óptica



- Cable de fibra por su composición hay tres tipos disponibles actualmente:
 - **Núcleo de plástico y cubierta plástica**
(POF, Plastic Optical Fiber)
 - **Núcleo de vidrio con cubierta de plástico**
(PCS, Plastic Clad Silica)
 - **Núcleo de vidrio y cubierta de vidrio**
(SCS, Silica Clad Silica)



“En el mundo de las telecomunicaciones, las fibras del tipo SCS son las más valoradas debido a que ofrecen un valor más bajo de atenuación y una mayor capacidad de transmisión”

*Diseñamos primero,
fabricamos después*

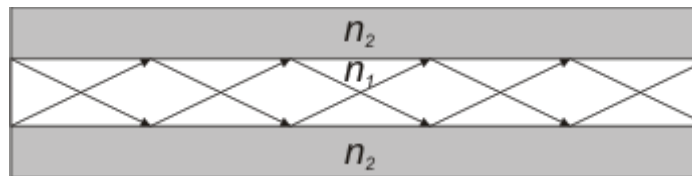
Clasificación de las fibras ópticas



- Las fibras ópticas utilizadas actualmente en el área de las telecomunicaciones se clasifican fundamentalmente en dos grupos según el modo de propagación:
 - **Fibras Multimodo**
 - **Fibras Monomodo**
- La fibra óptica también se clasifica en función del perfil de índice de refracción (variación índice conforme nos movemos en la sección transversal de la fibra óptica). Siendo dos los tipos:
 - **Salto de índice**
 - **Índice gradual**

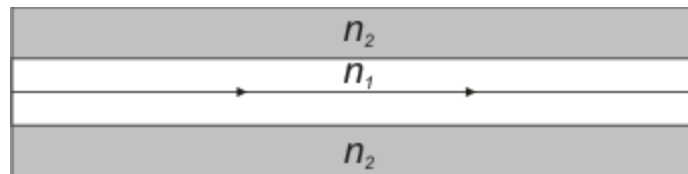
Según el modo de propagación

- **Fibras ópticas Multimodo.** Son aquellas que pueden guiar y transmitir varios rayos de luz por sucesivas reflexiones, (modos de propagación).



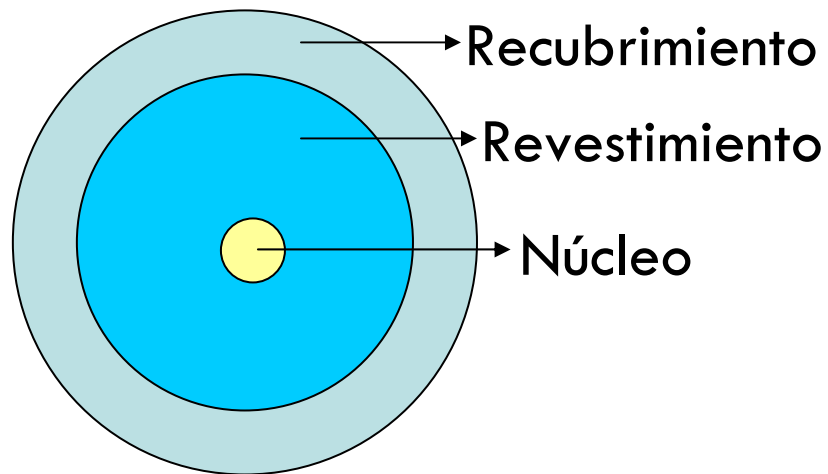
Los modos son formas de ondas admisibles, la palabra *modo* significa trayectoria.

- **Fibras ópticas Monomodo.** Son aquellas que por su especial diseño pueden guiar y transmitir un solo rayo de luz (un modo de propagación).

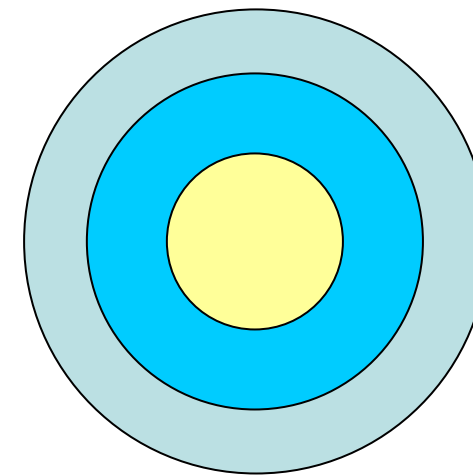


*Diseñamos primero,
fabricamos después*

F.O. Monomodo y Multimodo



MONOMODO



MULTIMODO

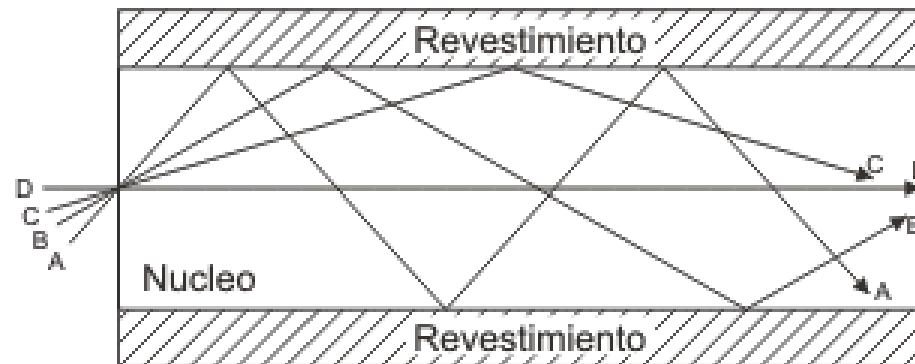
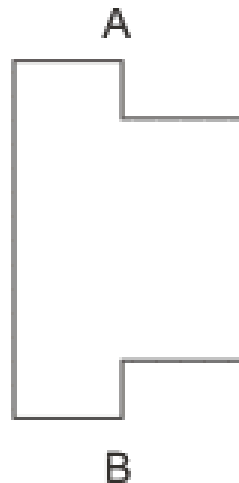
Características de las F.O.

	Monomodo 10/125	Multimodo 50/125	Multimodo 62,5/125
Diámetro del núcleo	9,2 ± 0,4	50 ± 0,3	62,5 ± 0,3
Diámetro del revestimiento	125 +/-1	125 +/-2	125 +/-2
Diámetro del recubrimiento	245 ± 10	245 ± 10	245 ± 10
Error concentricidad núcleo-revest.	1 um	1,5 um	1,5 um
Error circularidad núcleo	≤ 6%	≤ 6%	≤ 6%
Error circularidad revestimiento	≤ 2%	≤ 2%	≤ 2%
Atenuación (dB/Km)	1310 nm ≤ 0,40 1550 nm ≤ 0,25	850 nm ≤ 3 1310 nm ≤ 1	850 nm ≤ 3,2 1310 nm ≤ 1

*Diseñamos primero,
fabricamos después*

Según el perfil de índice de refracción (I)

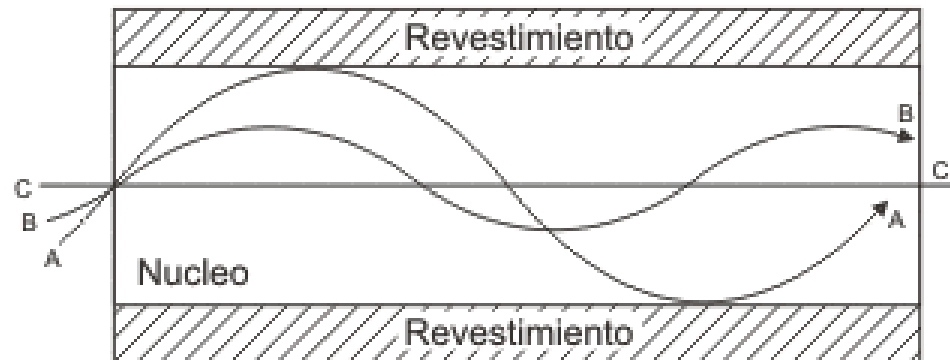
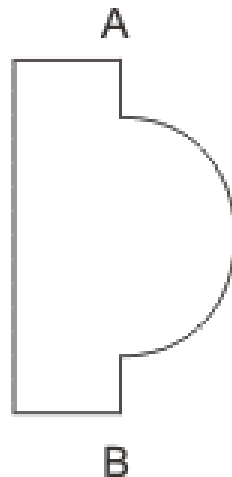
- Fibras de salto de índice (SI)**, son aquellas en las que al movernos sobre el diámetro AB, el índice de refracción toma un valor constante n_2 desde el punto A hasta el punto donde termina el revestimiento y empieza el núcleo. En ese punto se produce un salto con un valor $n_1 > n_2$ donde también es constante a lo largo de todo el núcleo. Este tipo de perfil es utilizado en las fibras monomodo.



*Diseñamos primero,
fabricamos después*

Según el perfil de índice de refracción (II)

- **Fibras de índice gradual (GI).**- El índice de refracción n_2 es constante en el revestimiento, pero en el núcleo varía gradualmente (en forma parabólica) y se tiene un máximo en el centro del núcleo. Este tipo de perfil es utilizado en las fibras multimodo pues disminuye la dispersión de las señales al variar la velocidad para las distintas longitudes de los caminos en el centro y próximos a la frontera.



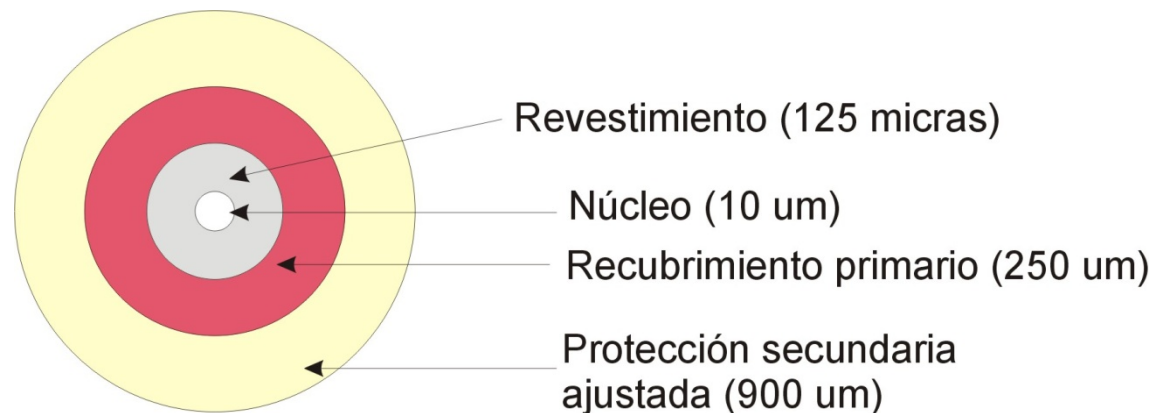
*Diseñamos primero,
fabricamos después*

Ventajas de la Fibra Óptica

- Ancho de banda muy elevado (GHz)
- Baja atenuación-larga distancia
- Inmunidad electromagnética
- Tamaño reducido
- Bajo peso
- Seguridad de la información
- Aislamiento eléctrico
- Rentabilidad
- No hay riesgo de chispas/explosión
- El silicio es uno de los materiales más abundantes de la tierra

*Diseñamos primero,
fabricamos después*

- **Protección ajustada.** Consiste en aplicar una cubierta inicial de material plástico (Poliamida, PVC) directamente sobre el recubrimiento primario de la fibra óptica que recibe el nombre de protección secundaria

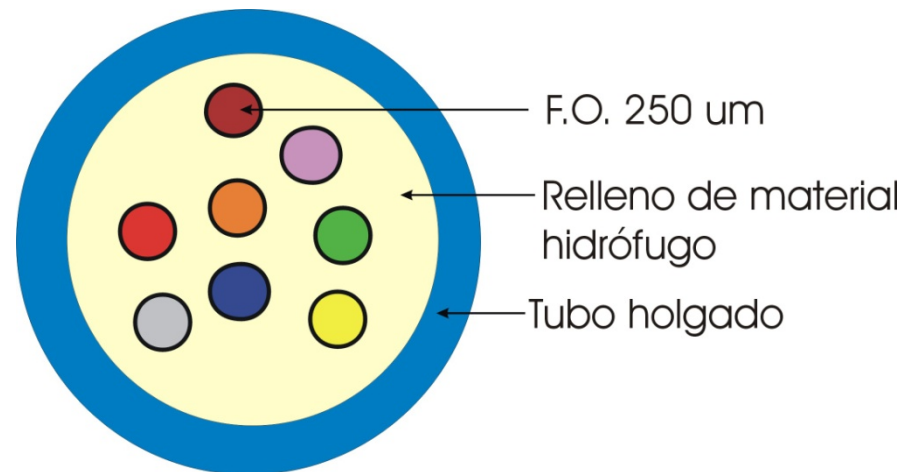


● Protección holgada

- Se crea una estructura holgada (tubo PBT) en el interior de la cual se alojan las fibras ópticas
- Cada protección holgada aloja en su interior una o varias fibras ópticas que se guían describiendo una trayectoria helicoidal (exceso de fibra 0,05 % - 0,15 %)
- Se produce un incremento longitudinal de los tubos respecto del cable entre 1% y 4% en función del diámetro de la estructura holgada debido a su disposición en SZ.
- La movilidad axial de la fibra dentro de la protección absorbe, sin que se produzca esfuerzo alguno en la fibra óptica elongaciones y contracciones de hasta el 0,5% de la longitud total del cable

*Diseñamos primero,
fabricamos después*

- **Protección holgada.** Presenta un comportamiento idóneo ante las vibraciones y absorbe las contracciones y dilataciones debidas a los cambios de temperatura



Aplicación de los principales materiales empleados en la construcción de un cable óptico

MATERIAL	APLICACIÓN
FIBRA ÓPTICA	Elemento de transmisión de señal
ELEMENTO CENTRAL DE SOPORTE	Soporta los esfuerzos a tracción y compresión a que es sometido el cable
PBT (Polibutilen Tereftalato)	Recubrimiento plástico secundario (tubo). Protección holgada
COMPUESTO DE RELLENO (GEL)	Amortiguador de las fibras en el interior del tubo y estanqueidad al agua y humedad
POLIAMIDA	Recubrimiento plástico secundario. Protección ajustada
HILATURAS DE POLIÉSTER	Atar el cableado SZ del núcleo
COMPUESTO DE RELLENO	Impedir el paso de agua por el interior del núcleo (entre los tubos)
HILATURAS BLOQUEANTES AL AGUA	Colocadas entre los tubos. Bloquear el paso de agua, al hincharse con su contacto
CINTAS BLOQUEANTES AL AGUA	Impiden el paso de agua entre el núcleo y la cubierta
HILATURAS DE ARAMIDA	Soporta, junto al elemento central, los esfuerzos a tracción a que es sometido el cable
CINTA TEJIDA DE ARAMIDA, ARAMIDA - POLIÉSTER	Para cables aéreos, con protección balística
CINTA DE ACERO COPOLÍMERO	Para cables que exijan mejores características en aplastamientos y protección de roedores. Para mejorar diseños de cable no propagadores a los incendios.
HILATURAS DE FIBRA DE VÍDRIO	Como elementos de tracción, compresión y que mejoren la protección de roedores y propagación a los incendios
CINTAS DE FIBRA DE VÍDRIO	Para diseño de cables que mejoren el comportamiento a los incendios y como protección de roedores
POLIETILENOS (PE)	Para las cubiertas plásticas interiores y exteriores
COMP. TERMOPLÁSTICO IGNIF. (TI)	Para cubiertas de cables resistentes a la propagación y comportamiento frente al fuego
CONCENTRADOS DE COLOR	Colorantes en forma de "masterbatch" para tintar PBT, PE, TI, PVC, ...

Gracias por su Atención
www.telnet-ri.es

Curso de Fibra Óptica

Capítulo 2 – Medidas y Ensayos

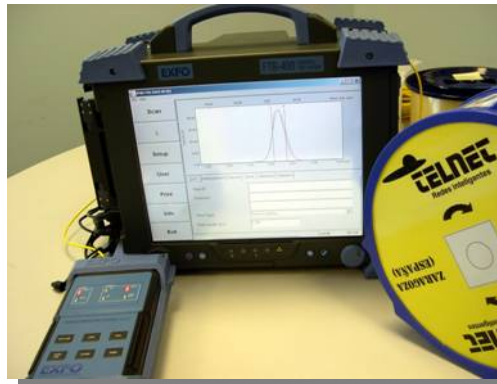
José Manuel Laín ~ jmlain@telnet-ri.es
Versión 2 ~ Julio 2008

*Diseñamos primero,
fabricamos después*

Laboratorio Óptico

Medidas sobre m. primas y producto terminado

- Gráficas de retrodispersión OTDR
- Atenuación espectral
- Longitud de onda de corte
- PMD
- Dispersión cromática
- Diámetro de campo modal
- Medidas geométricas de la fibra óptica



*Diseñamos primero,
fabricamos después*



■ Atenuación

- Se pierde parte de la señal en el núcleo, pese a que no exista refracción.
- Se mide en decibelios (dB) por unidad de longitud (dB/Km).
- Las pérdidas están causadas por varios factores por lo que pueden clasificarse en:
 - Extrínsecas
 - Intrínsecas



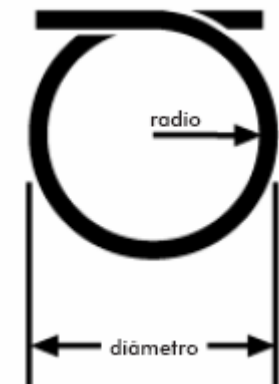
*Diseñamos primero,
fabricamos después*

• Pérdida por curvatura.

- Son las producidas cuando una fibra es doblada con un radio más pequeño que el especificado en las características técnicas.
 - Defectos de fabricación.
 - Procedimiento de instalación.
 - Se denominan micro-curvaturas e influyen en largas distancias (λ 1550nm).

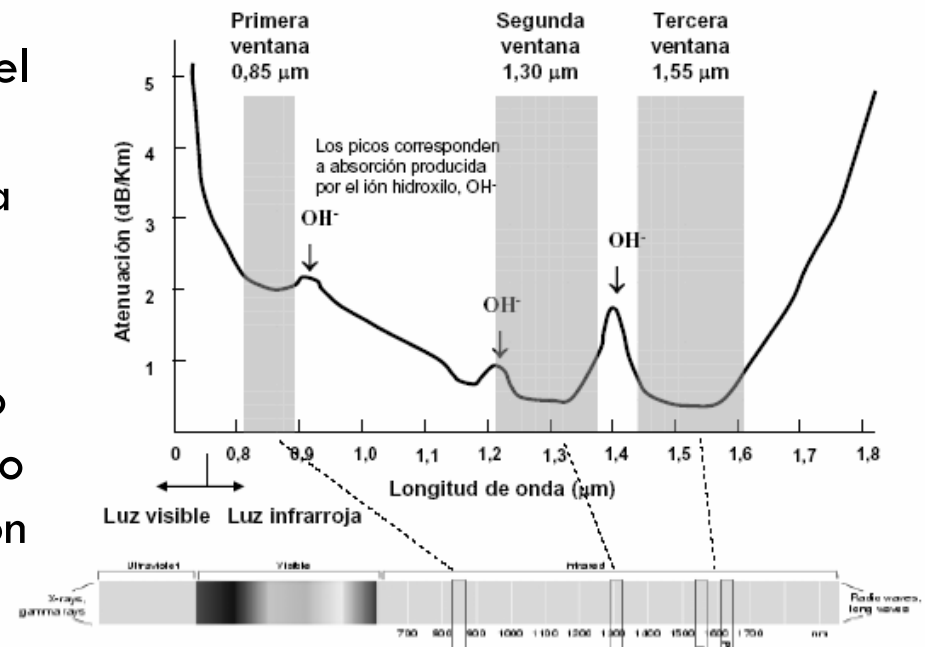
• Pérdidas por conexión y empalmes

- Pérdidas de inserción del conexionado (0,3 – 0,8 dB)
- Empalmes mecánicos, alrededor de 1 dB.
- Empalmes por fusión (<0,2 dB, típico <0,1 dB)
 - Corte defectuoso
 - Suciedad de las superficies a empalmar
 - Características distintas de las fibras



Pérdidas inherentes a la fibra

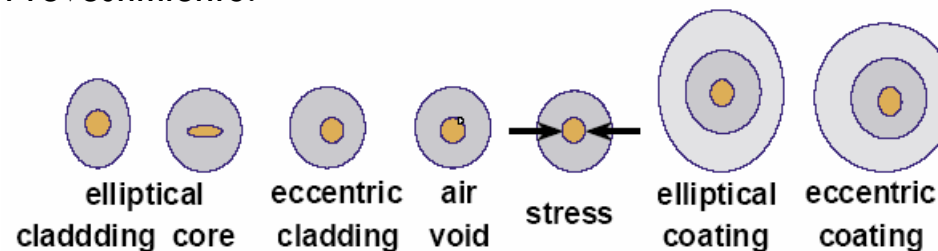
- Son debidas a las impurezas que no se pueden eliminar en el proceso de fabricación e impiden que la luz fluya por la fibra .
- Atenuación de Rayleigh o Scattering, que es el fenómeno físico por el cuál el haz lumínico en su propagación colisiona con impurezas (iones OH) o atraviesa zonas con defecto de homogeneidad del material que forma el núcleo de la fibra.



*Diseñamos primero,
fabricamos después*

Pérdidas que resultan de la fabricación de la fibra

- Irregularidades en el proceso de fabricación, por ejemplo cambio en el diámetro del núcleo de la fibra, falta de centrado del núcleo en el revestimiento, no circularidad del núcleo y del revestimiento.



Reflexión de Fresnel

- Es la reflexión que se produce en la frontera de un medio donde cambie el índice de refracción, causando que una parte de los rayos incidentes sean reflejados al primer medio.

$$L.Rfle.(%) = 100 \cdot x(n1 - n2)^2 / (n1 + n2)^2$$

donde:

$n1$ = índice de refracción del núcleo.

$n2$ = índice de refracción del aire

*Diseñamos primero,
fabricamos después*

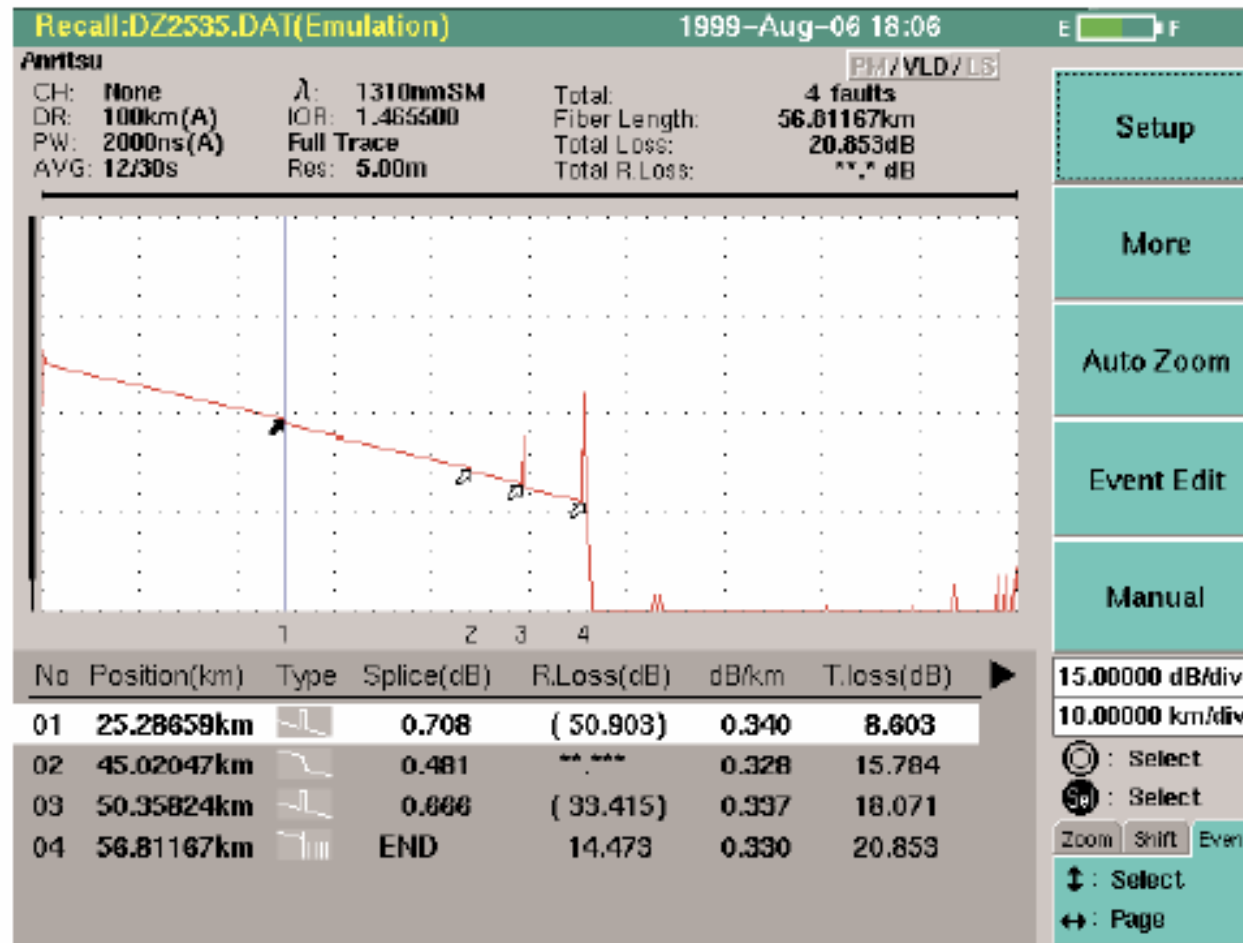
OTDR (Optical Time Domain Reflectometer)

- Un OTDR es un reflectómetro óptico en el dominio tiempo. Es un instrumento de medición que envía pulsos de luz, a la λ deseada (ejemplo 3ª ventana: 1550nm), para luego medir sus “ecos”, o el tiempo que tarda en recibir una reflexión producida a lo largo de la FO.
- Estos resultados, luego de ser promediadas las muestras tomadas, se grafican en una pantalla donde se muestra el nivel de señal en función de la distancia dB/Km.
- Luego se podrán medir atenuaciones de los diferentes tramos, atenuación de empalmes y conectores, atenuación entre dos puntos, etc.
- También se utiliza para medir la distancia a la que se produjo un corte, o la distancia total de un enlace, o para identificar una fibra dándole una curvatura para generar una fuga y observando en la pantalla del OTDR ver si la curva se “cae”.



*Diseñamos primero,
fabricamos después*

OTDR (Optical Time Domain Reflectometer)



*Diseñamos primero,
fabricamos después*

Definición de decibelio (dB)

- El dB es una unidad de medida adimensional y relativa (no absoluta), que es utilizada para facilitar el cálculo y poder realizar gráficas en escalas reducidas.

decibelio es una medida relativa

- El dB relaciona la potencia de entrada y la potencia de salida en un circuito, a través de la fórmula:

$$\text{dB} = 10 \log (P_{\text{OUT}}/P_{\text{IN}})$$

*Diseñamos primero,
fabricamos después*

Definición de decibelio (dB)

- Se puede usar para medir ganancia o atenuación (una ganancia negativa significa atenuación). En la transmisión óptica pasiva, siempre $P_{out} < P_{in}$ en ese caso, a menudo se añade un signo negativo:

$$\text{dB (pérdida)} = -10 \log (P_{OUT}/P_{IN})$$

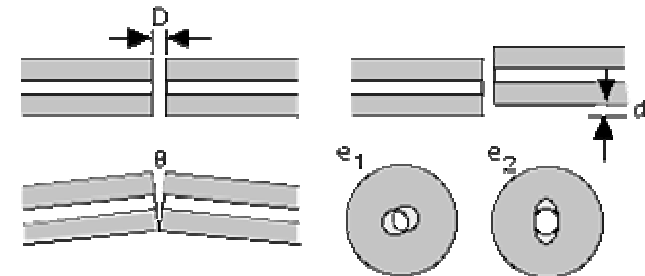
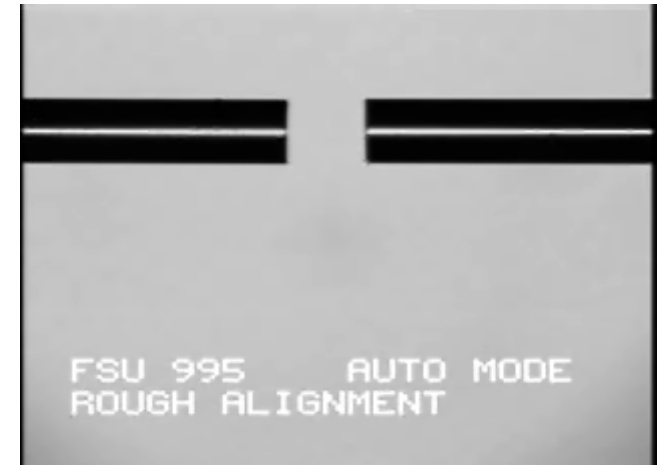
- Dado que el dB es una medida relativa, cuando es necesaria una medición absoluta de potencia óptica, por ejemplo la que emite un laser, se utiliza el **dBm**, es decirse toma como referencia (0 dBm) a 1 mW :

$$P [\text{dBm}] = 10 \log (P[\text{mW}] / 1 \text{ mW})$$

- Dentro de cualquier montaje, las fibras deben conectarse con dispositivos emisores, detectores o con otras fibras. Según el tipo de montaje y las necesidades del mismo, se utilizan distintos modos de conexionado
 - **Empalme por fusión**, consiste en calentar hasta el punto de fusión las puntas preparadas de las dos fibras.
 - **Empalme mecánico**, une las fibras preparadas en un tubo ajustado de forma semipermanente.
 - **Conector**, permite repetir la conexión y desconexión sin degradación de la transmisión.

Empalme por fusión

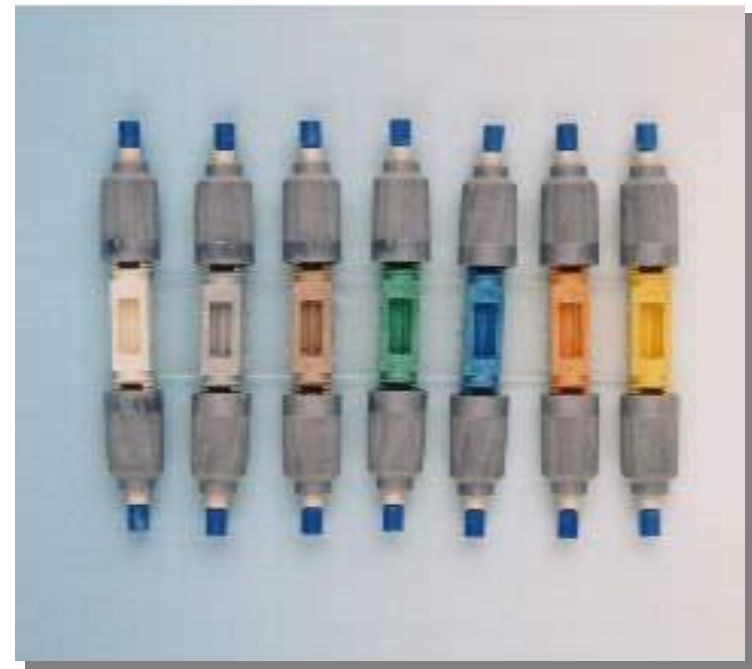
- Se realiza fundiendo el núcleo, actualmente se utiliza en gran escala
- Empalmes atenuados
 - En algunos casos, la atenuación de un tramo de FO es tan baja que en el final del mismo la señal óptica es demasiado alta y puede saturar o dañar el receptor. Entonces es necesario provocar una atenuación controlada y esto se hace con la misma empalmadora, con la función de empalme atenuado



*Diseñamos primero,
fabricamos después*

Empalme mecánico

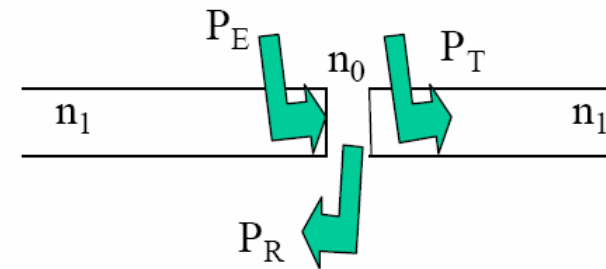
- Este tipo de empalme se usa en el lugar de la instalación donde el desmontaje es frecuente, es importante que las caras del núcleo de la fibra óptica coincidan exactamente. Consta de un elemento de auto alineamiento y sujeción de las fibras.



*Diseñamos primero,
fabricamos después*

Empalme mecánico

- Las pérdidas de unión son causadas frecuentemente por una mala alineación lateral, mala alineación de separación, mala alineación angular, acabados de superficie imperfectos y diferencias ya sea entre núcleos o diferencia de índices.
- Pérdidas producidas por la luz reflejada en el cambio de medio. Líquido adaptador de índices.



donde:

n_0 = índice de refracción del aire

n_1 = índice de refracción de la fibra

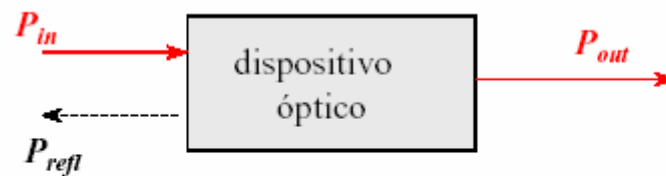
P_e = potencia de entrada

P_t = potencia transmitida

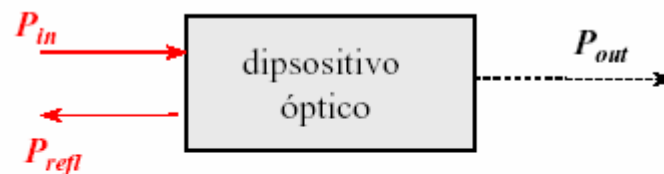
P_r = potencia reflejada

Conectores

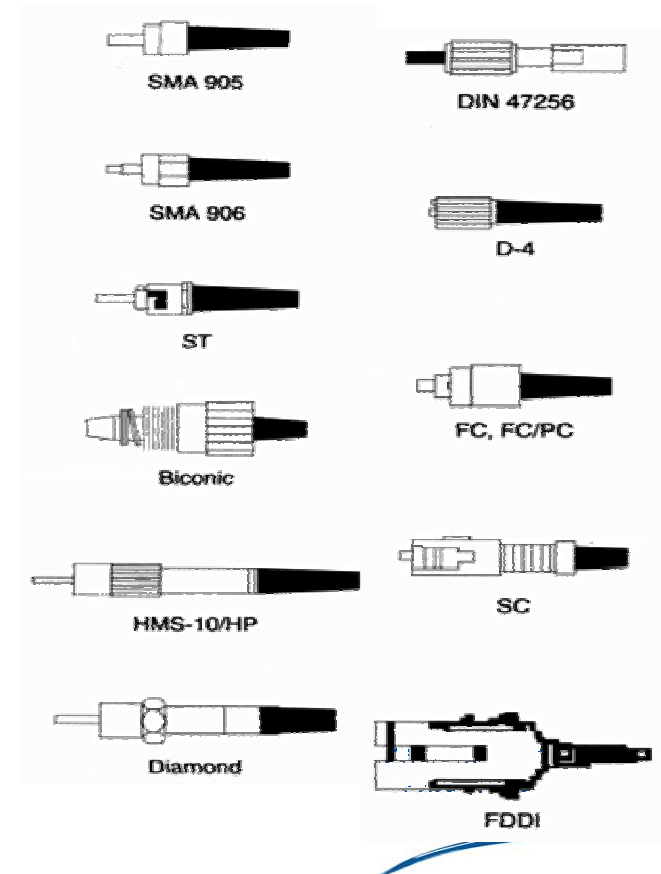
- **CORDON Ó JUMPER** . Conectorizados los dos extremos.
- **RABILLO Ó PIGTAIL** . Conectorizado solo un extremo.



$$IL(dB) = -10 \log_{10} \frac{P_{out}}{P_{in}}$$



$$RL(dB) = -10 \log_{10} \frac{P_{refl}}{P_{in}}$$



Equipos de interferometría (I)

Los equipos de interferometría que nos ayudan a aumentar la calidad de los procesos y a optimizar nuestros conectores con una precisión absoluta.

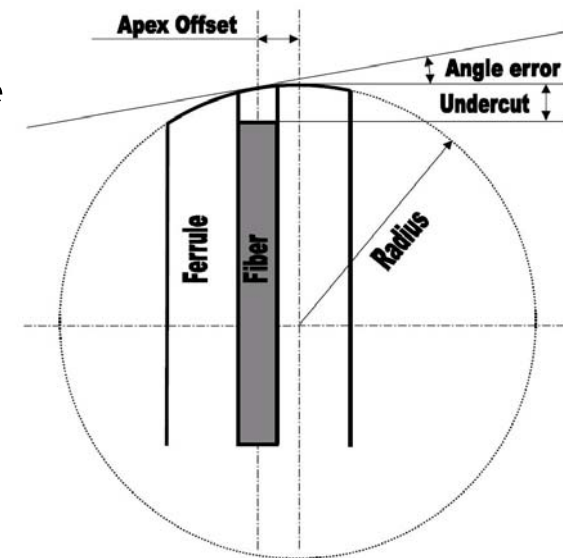
A continuación se incluye una breve descripción de algunos de los parámetros más importantes que mide un interferómetro:

- **Apex**

Es la distancia medida desde el centro de la fibra hasta el centro de pulido (punto más alto del conector). Un apex grande contribuye a un aumento de las pérdidas de inserción.

- **Radio de pulido**

Este parámetro mide la convexidad de la ferrule. El radio de pulido influye cuando enfrentamos dos conectores, siendo muy importante que el contacto entre estos sea el adecuado. El valor óptimo del radio de pulido para un conector "SPC" con ferrule de 2,5mm se encuentra entre 10 y 25 mm.



*Diseñamos primero,
fabricamos después*

Equipos de interferometría (II)

- **Altura de la fibra**

Por medio de la interferometría se puede medir la altura de la fibra óptica dentro de la ferrule. Cuando la fibra sobresale de la ferrule se denomina protrusion y cuando queda por debajo de ésta undercut. Un undercut o protrusion excesivo es el que supera los $\pm 100\text{nm}$. Si el conector es undercut, habrá un hueco ocupado por aire entre ellas. Este espacio, y con él las pérdidas de inserción y retorno, irá aumentando con el tiempo debido a los cambios de temperatura que sufrirá el conector. La protrusion no es muy común, si es excesiva lo más probable es que la fibra se agriete y se rompa al enfrentar el conector con otro.

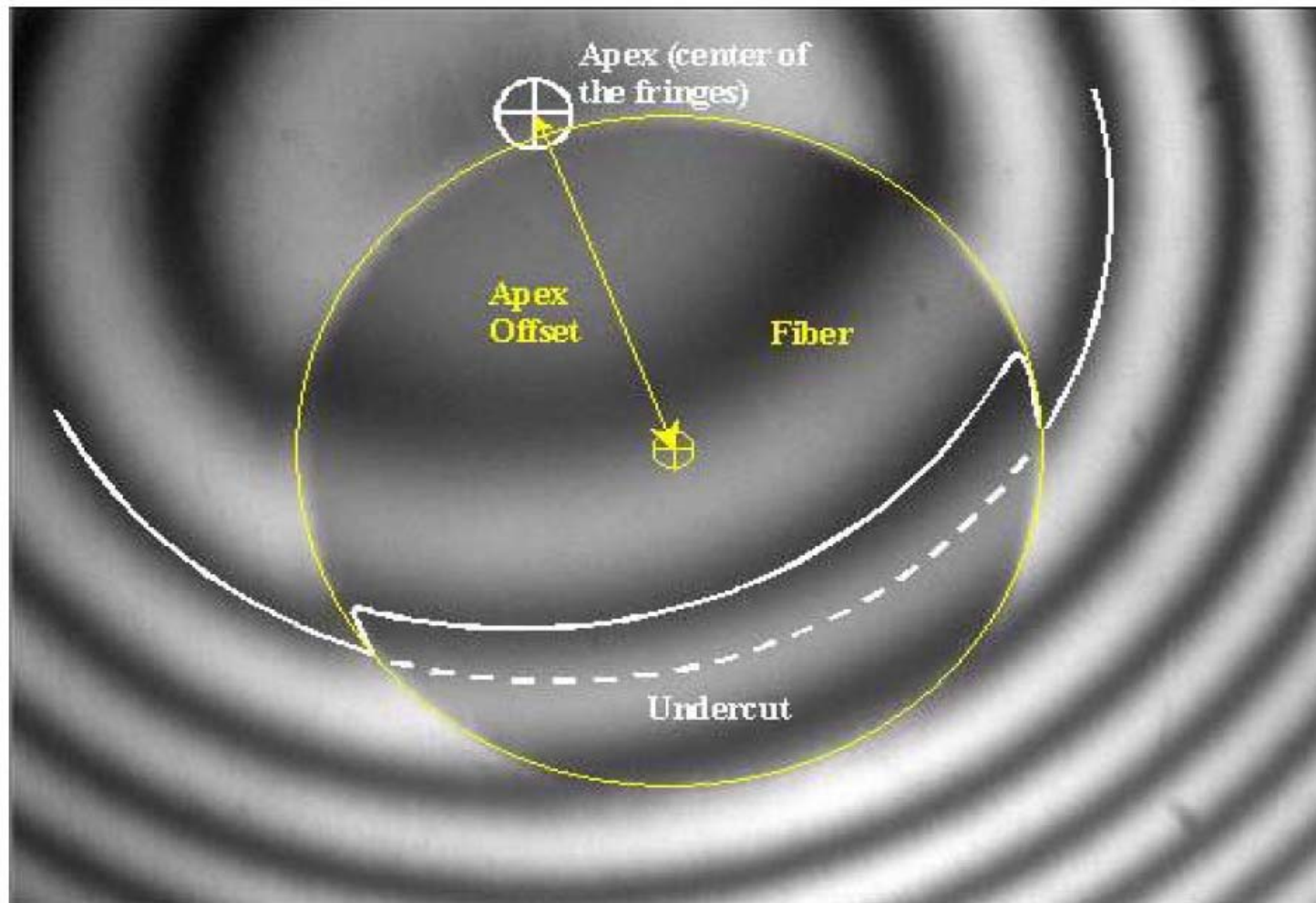
	Radius (mm)		Fiber Height (nm)		Apex-Offset (μm)	
	min	max	min	max	min	max
Allowed range						
PC polishing	10	25	equation	100	0	50
APC polishing	5	12	-100	100	0	50

Table 1: typical required specifications for the end face geometry (IEC spec for an SC-type connector)

*Diseñamos primero,
fabricamos después*



Equipos de interferometría (III)



*...mero,
fabricamos después*

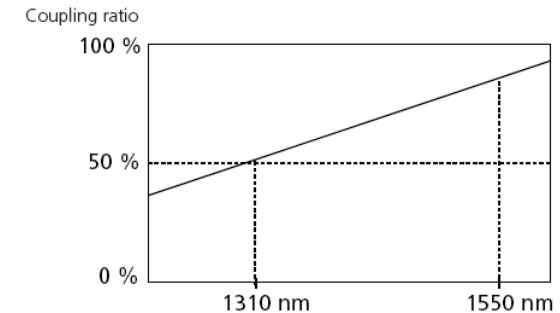
Acoplador/ Divisor (I)

- Los **acopladores** son dispositivos que combinan y/o separan las señales procedentes de una serie de fibras ópticas. Suelen distinguirse por su número de **entradas** y de **salidas**. Así se habla de acopladores **1x2**, **2x2**, o en general, **MxN**. Si las entradas son intercambiables por las salidas (depende de la tecnología de fabricación) se dice que los acopladores son **bidireccionales**. Si no es posible, entonces son **unidireccionales**.

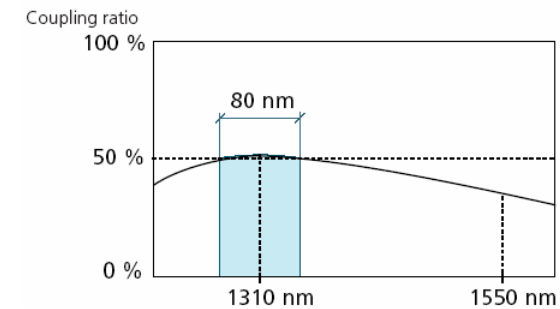


Acoplador/ Divisor (II)

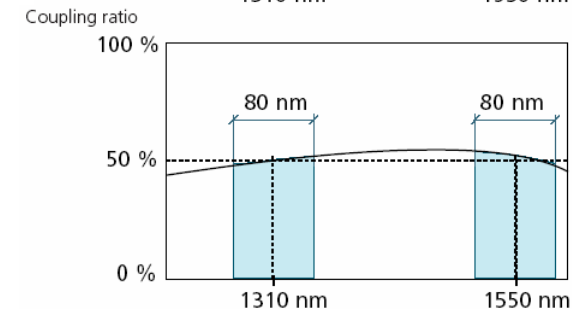
- **Standard Singlemode Couplers (SSC).**
Acoplador estándar (Standard couplers), para una longitud de onda con desviaciones mínimas, por ej. : $1310 \pm 5\text{nm}$.



- **Wavelength Flattened Couplers (WFC).**
Acoplador de una ventana (Single window couplers), para un rango de longitudes de onda, por ej. : $1310 \pm 40\text{nm}$.



- **Wavelength Independent Couplers (WIC).**
Acoplador de dos ventanas (Dual window couplers), para dos rangos de longitudes de onda, por ej. : 1310 ± 40 y $1550 \pm 40\text{nm}$.



fabricamos después

- **Pérdidas de Inserción (Insertion Loss).** Son los dB de potencia óptica que se pierden por cada una de sus salidas, dependerá del grado de acoplamiento del dispositivo. Valor típico = 3.8dB

$$-10 \log (P_1 / P_0) = [\text{dB}]$$

$$-10 \log (P_2 / P_0) = [\text{dB}]$$



*Diseñamos primero,
fabricamos después*



- **Grado de acoplamiento (Coupling ratio).** Mide el modo en que se distribuye la potencia para cada una de sus salidas. Valor típico = 50%

$$[P_1 / (P_1 + P_2)] \times 100 = [\%]$$

$$[P_2 / (P_1 + P_2)] \times 100 = [\%]$$



*Diseñamos primero,
fabricamos después*



- **Pérdida de Exceso (Excess Loss).** Es una medida de la potencia perdida en el acoplador, comparando la potencia entregada a la entrada y la extraída por todas sus salidas. Valor típico = 0.2dB

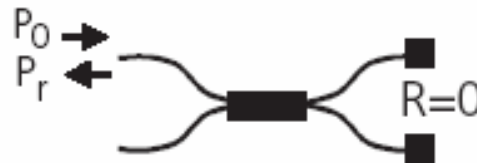
$$-10 \log [(P_1 + P_2) / P_0] = [\text{dB}]$$



- **Pérdida de Retorno (Return Loss).** Son los dB de potencia óptica que vuelven a la entrada.

Valor típico $\geq 55\text{dB}$

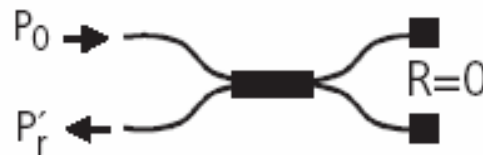
$$-10 \log (P_r / P_0) = [\text{dB}]$$



Caracterización de Acopladores (V)

- Directividad (Directivity). Potencia de una entrada que se acopla a otras. Valor típico $\geq 55\text{dB}$

$$-10 \log (P'_r / P_0) = [\text{dB}]$$



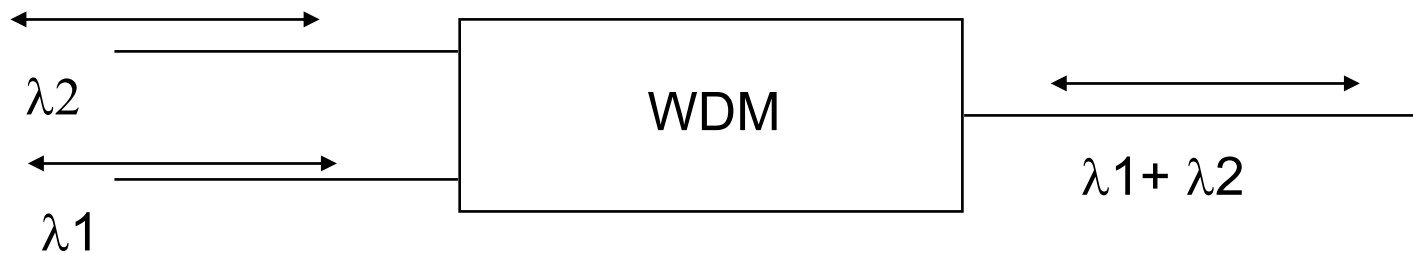
- **Uniformidad (Uniformity).** Es la diferencia entre la máxima y mínima pérdida de inserción obtenida en sus salidas. Valor típico = 0.8dB

$$(I_{L_{\max}} - I_{L_{\min}}) = [dB]$$



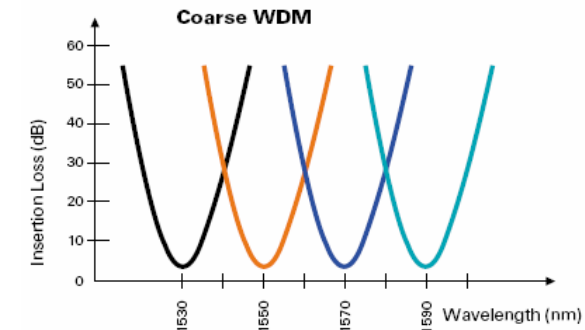
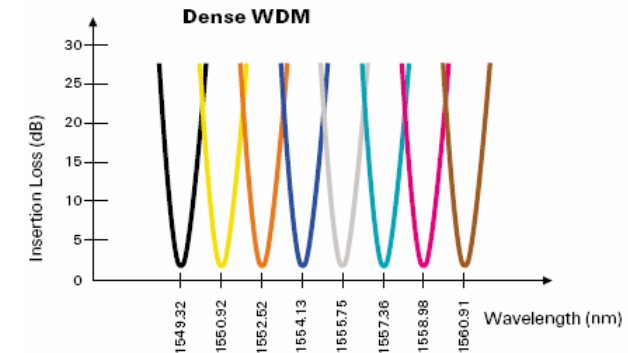
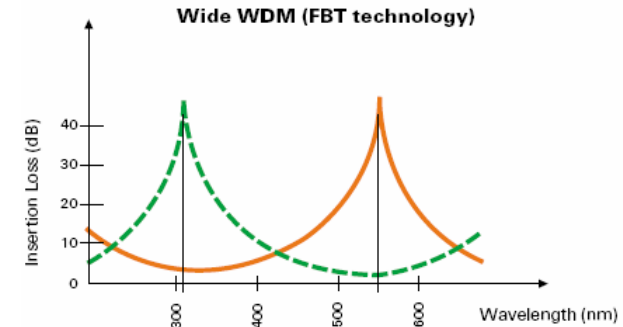
Multiplexores de longitud de onda

- Multiplexan (juntan) o demultiplexan (separan) la potencia óptica de diferentes longitudes de onda



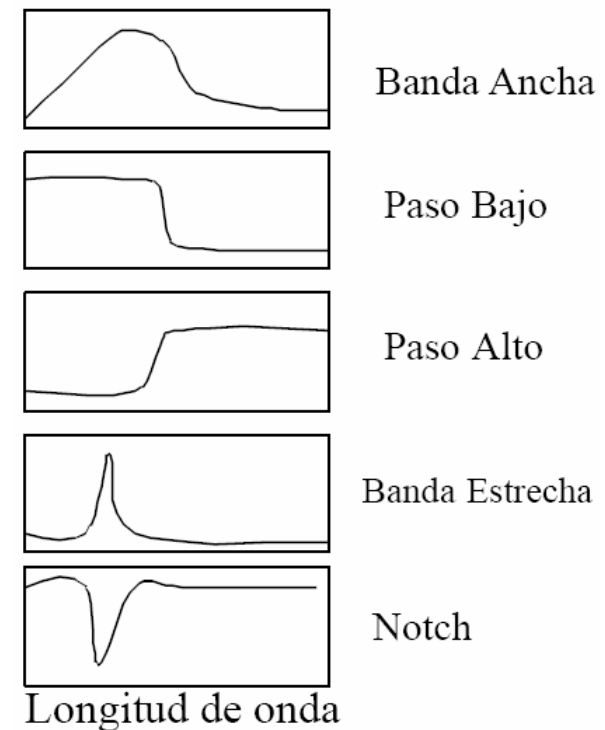
Tipos de multiplexores

- A wide wavelength division multiplexer (WWDM), separa o combina dos señales dentro de un rango. – 850 nm + 1310 nm, ó 1310 nm + 1550 nm
- DWDM (dense wavelength division multiplexing), espacio entre canales de 1,6 nm (200GHz) a 0,8 nm (100 GHz). Uso de λ muy próximas en 3ª ventana. Amplificadores ópticos y láseres VCSEL, costosos.
- CWDM (coarse wavelength division multiplexing) El espacio típico entre canales es de 20 nm. Uso económico de tecnología WDM, sobre las 3 ventanas (1470-1610nm).



*Diseñamos primero,
fabricamos después*

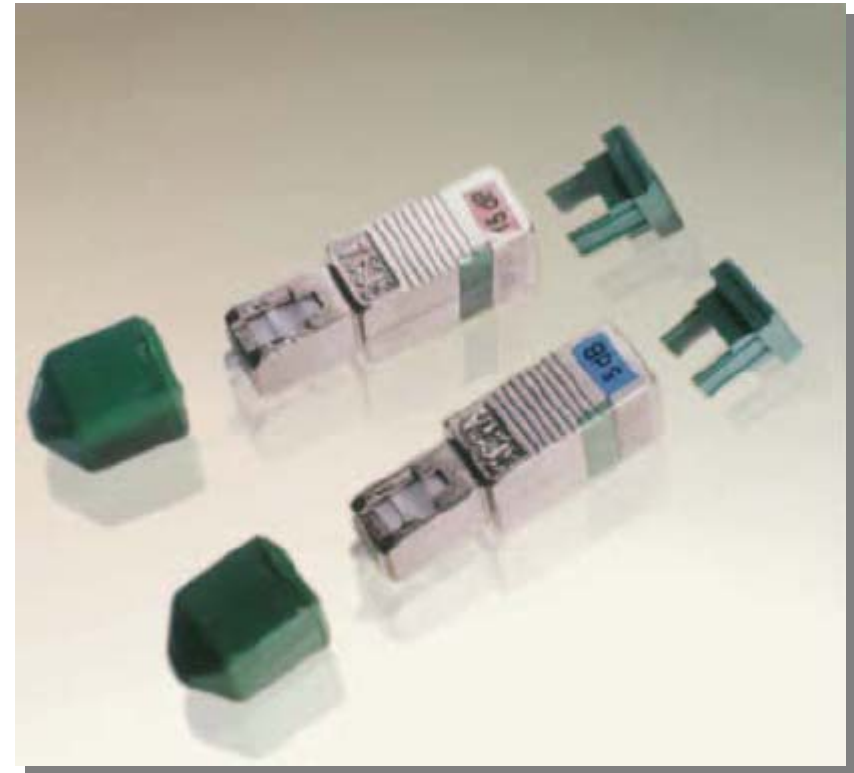
- Componente Pasivo utilizado para modificar la radiación óptica que le atraviesa, alterando la distribución espectral.
- Encaminamiento y conmutación de señales en función de su λ
- Parámetros característicos
 - Pérdidas de inserción en la banda de paso
 - Aislamiento (mínimo 40 dB)
 - Reflectancia
 - Longitud de onda de operación



*Diseñamos primero,
fabricamos después*

- El atenuador, es un componente óptico pasivo compacto, usado para administrar la fuerza de la señal óptica. Valor de atenuación desde 1-20dB. Aplicación típica en cabeceras de distribución o en los primeros nodos.

- Atenuadores fijos
- Atenuadores en línea
- Atenuadores variables



*Diseñamos primero,
fabricamos después*

Gracias por su Atención
www.telnet-ri.es