

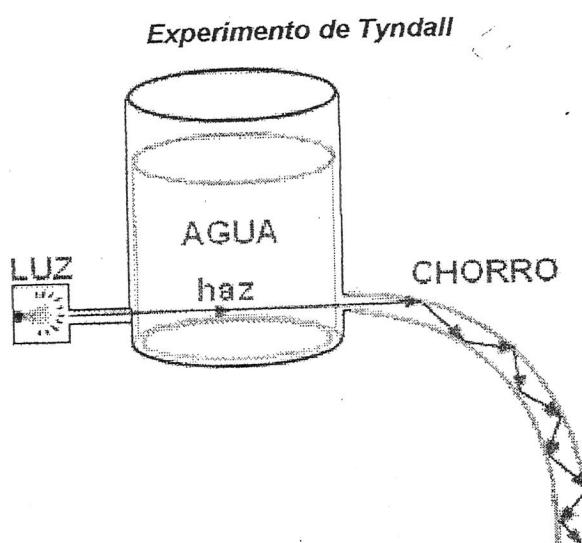
# FIBRAS ÓPTICAS

## 1- PERSPECTIVA HISTORICA.

El uso de la luz para propósitos de comunicaciones es una idea muy vieja. Señales de humo y de fuego fueron usadas en civilizaciones antiguas. Los griegos usaron espejos y rayos de sol aproximadamente 800 años AC. La idea de emplear la luz para transmitir información se utilizó a fines del siglo XVIII empleando lámparas.

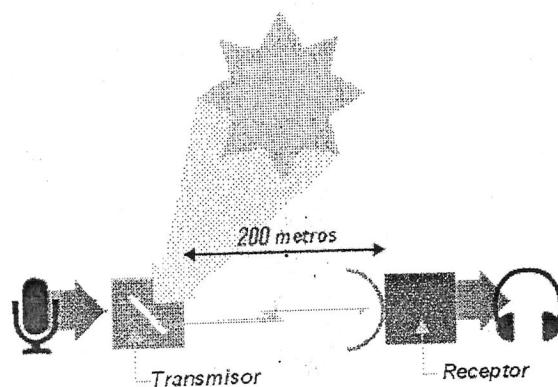
La capacidad de un sistema de telecomunicaciones es medido a través del producto tasa de bits-distancia ( $BL$ ) donde  $B$  es la tasa de bits y  $L$  es el espaciamiento entre repetidores. El producto  $BL$  se incrementó a través de los avances tecnológicos durante los últimos 150 años.

En 1870 John Tyndal demostró que un chorro de agua era capaz de conducir un haz de luz:



En 1880 Alexander Graham Bell inventó el fotófono para transmitir la voz. El sonido hacía vibrar una membrana espejada, la cual reflejaba la luz del sol, haciéndola más o menos divergente hacia el receptor colocado a unos 200 metros. Este consistía en un gran espejo parabólico en cuyo centro se encontraba un detector de selenio conectado a una batería y un auricular. Este método dependía de la luz solar y de la visibilidad.

*Fotófono de Graham Bell*



# FIBRAS ÓPTICAS

Durante la segunda mitad del siglo XX , se puso de manifiesto que un incremento de varios ordenes de magnitud en el producto BL sería posible si ondas de luz fueran usadas como portadoras de información. En 1961 se resolvió el problema de la fuente de luz coherente con la aparición del LASER de descarga gaseosa pero subsistía el problema de las altas pérdidas en las fibras ópticas , problema que se resolvió en la década del 80.

## 2- INTRODUCCION A LAS FIBRAS OPTICAS.

### 2.1. DEFINICIONES

Fibra óptica es simplemente un método de transportar información desde un punto a otro.

Una fibra óptica es una delgada hebra de vidrio o plástico que sirve como medio de transmisión sobre el cual se conduce información , de manera similar a un cable de cobre transmitiendo una conversación telefónica o paquetes de datos.

Pero a diferencia de éste , la fibra conduce luz en lugar de electricidad , lo que trae aparejado una serie de ventajas comparativas que la han convertido en el medio de transmisión por excelencia. Alguna de las características de las FO son:

- ◆ Inmunidad a las inducciones electromagnéticas.
- ◆ Inmunidad a las inducciones de radio frecuencia
- ◆ Inmunidad a la corrosión , agua o fuego.
- ◆ Baja dissipación.
- ◆ Transmisión mediante luz visible.
- ◆ Gran ancho de banda
- ◆ Inexistencia de crosstalk.

### 2.2. Ventajas de las Fibras Opticas

Las fibras ópticas son , tal como los cables de pares de cobre, medios físicos utilizados para transmisión de telecomunicaciones.

Sus principales ventajas comparativas/son las siguientes:

- 1 ◆ Gran ancho de banda
- 2 ◆ Bajas pérdidas
- 3 ◆ Inmunidad electromagnética
- 4 ◆ Pequeño tamaño
- 5 ◆ Seguridad
- 6 ◆ Confidencialidad

# FIBRAS ÓPTICAS

## 3- VENTAJAS DE LAS FIBRAS ÓPTICAS

### 3.1. Ancho de Banda:

- Hace posible la transmisión simultánea de voz , datos y video.
- En la práctica hasta 10 Gbps.

### 3.2. Bajas pérdidas:

Dentro de un amplio rango de frecuencias la atenuación en FO es constante e independiente de la frecuencia en cables coaxiales o de cobre la atenuación aumenta proporcionalmente con la frecuencia de transmisión. En fibras ópticas monomodo se consiguen valores de atenuación de 0,2 a 0,3 dB.

### 3.3. Inmunidad electromagnética:

\* FO no radian ni captan radiaciones electromagnéticas.

\*Inmunidad a la distorsión por EMI ya que está constituida de materiales dieléctricos.

\* Menor peso y tamaño: Relación 1/10 con respecto a cables de cobre con igual capacidad de transmisión de información

\* Seguridad: FO es dieléctrica , apta para ser utilizada en ambientes peligrosos.

\* Confidencialidad: Altamente segura como medio de transmisión. No puede captarse lo transmitido mediante antenas al no radiar energía

## 4- PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

En FO la luz es descripta en términos de longitud de onda , contrariamente a lo que sucede generalmente en electrónica que principalmente se habla en términos de frecuencia:

$$\text{Longitud de onda: } \lambda = v / f$$

- Donde f es frecuencia [ s<sup>-1</sup> ] y v es velocidad de la onda en un medio determinado [ m.s<sup>-1</sup> ]
- Velocidad de la luz: c = 300,00 km/s
- Longitud de onda de la luz visible : varia entre 380 nm (violeta) y 750 nm ( rojo).

# FIBRAS ÓPTICAS

Las FO basan su funcionamiento en la **Ley de Snell** (refracción) y el fenómeno de reflexión total.

**Reflexión de la luz:** cuando un rayo de luz viajando en un medio encuentra un segundo medio atraviesa la superficie límite entre ambos. Parte del rayo incidente es reflejada nuevamente al primer medio. El ángulo de reflexión 01 es igual al ángulo de incidencia.

**Refracción de la luz:** cuando un rayo de luz viajando en medio transparente encuentra otro medio transparente , parte de la luz se refracta (cambia de dirección). El ángulo de refracción 02 depende de las propiedades de los dos medios y el ángulo de incidencia y se expresa por medio de la Ley de Snell:

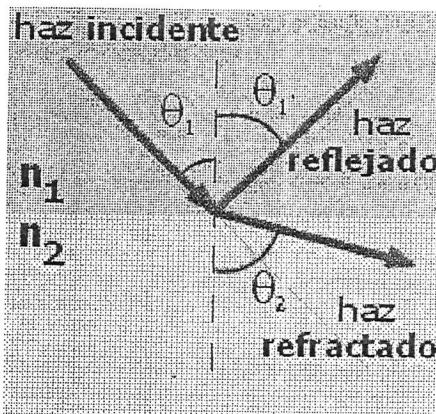
$$\text{Ley de Snell: } n_1 \cdot \operatorname{sen} \theta_1 = n_2 \cdot \operatorname{sen} \theta_2$$

donde:  $\theta_1$ : ángulo de incidencia       $\theta_2$ : ángulo de refracción  
 $n_i$ : índice de refracción

$$\text{índice de refracción } n = c / v$$

La reflexión y refracción dependen del ángulo de incidencia y de los medios que atravesie la luz.

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



**Reflexión interna total:** es el fenómeno que se produce cuando la luz , moviéndose de un medio translúcido con un índice de refracción mayor a otro medio translúcido(con un índice de refracción menor), incide con un ángulo de incidencia determinado que produce que toda la luz sea reflejada.

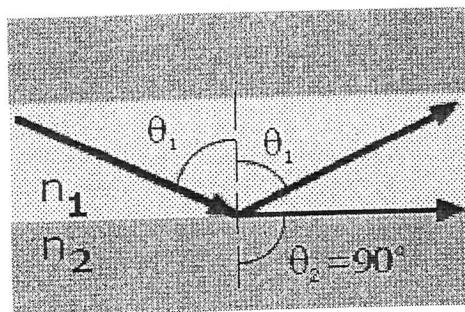
Ángulo crítico  $\theta_c$ : ángulo de incidencia que produce un ángulo de refracción de  $90^\circ$ .

De la Ley de Snell se tiene que:  $n_1 \cdot \operatorname{sen} \theta_1 = n_2 \cdot \operatorname{sen} \theta_2$   
Si  $\theta_2 = 90^\circ$ :

# FIBRAS ÓPTICAS

$$\Rightarrow \operatorname{sen} \theta_2 = 1 \quad \Rightarrow \theta_c = \operatorname{arcsen}(n_2/n_1)$$

ángulos de incidencia superiores al crítico producen reflexión total. El fenómeno de reflexión total se produce únicamente cuando la luz pasa de un medio a otro con un índice de refracción menor. De ahí que el cladding tenga un índice de refracción ligeramente menor al del core.



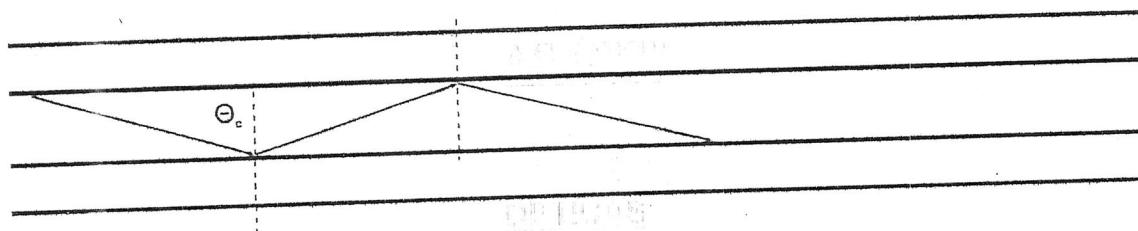
En una fibra óptica se tiene que:

Indice de refracción del núcleo: 1,48

Indice de refracción del revestimiento: 1,46

$$\theta_c = \operatorname{arcsen}(1.46/1.48)$$

$$\theta_c = 80,6^\circ$$



## 5- APERTURA NUMERICA

Solo los rayos de luz inyectados con un ángulo mayor que el crítico serán propagados dentro de la FO.

Tomando el modo correspondiente al ángulo crítico y extrayéndolo al aire , se obtiene un ángulo 0.

Este ángulo forma un cono en el exterior de la fibra (**cono de aceptación**); los modos que se inyectan con ángulos incluidos dentro del cono se propagarán perdiéndose los restantes.

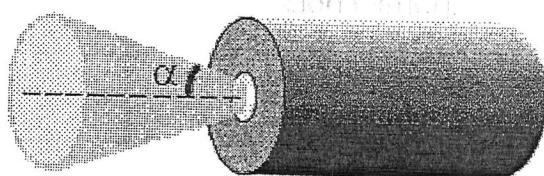
# FIBRAS ÓPTICAS

Se denomina apertura numérica a :

$$AN = \operatorname{sen} \theta = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

La apertura numérica es un valor que da idea del cono de aceptación de luz de la fibra óptica. Cuanto menor es el valor de la AN más altamente direccional debe ser la fuente de luz.

Cuanto mayor sea la AN mayor será la cantidad de trayectoria posibles y por ende mayor será la dispersión modal.



Son valores comunes de AN entre 0,11 (FO monomodo) y 0,20 (FO multimodo).

## 6- DISEÑO y CLASIFICACION de FO's

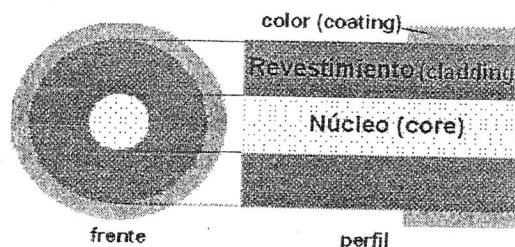
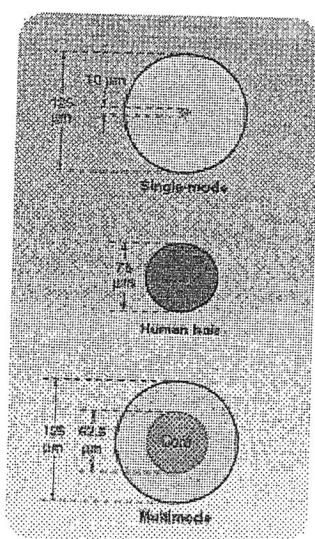
Dos capas concéntricas:

- a) Core (núcleo)
- b) Cladding (revestimiento)

**Core:** parte de la fibra que transporta efectivamente el haz de luz.

**Cladding:** parte de la fibra utilizado para obtener reflexión total.

El índice de refracción del revestimiento es 1 % menor que el del Core: 1,46 y 1,47/1,48.-



# FIBRAS ÓPTICAS

## 7- CLASIFICACION DE FIBRAS OPTICAS:

*Por el material de construcción*

**Vidrio:** núcleo y revestimiento de vidrio

**PCS:** núcleo de vidrio y revestimiento de plástico

**Plásticas:** núcleo y revestimiento de plástico

*Por el tipo de propagación y el tipo de índice de refracción*

a) **Monomodo**

b.1) **Multimodo** de índice abrupto  
(MM sep - index)

b.2) **Multimodo** de índice gradual  
(MM graded - index)

### 7.1. Modo de propagación:

Concepto que describe la propagación de una onda electromagnética a través de un medio y simboliza una solución permitida a las ecuaciones de Maxwell.

trayectoria que sigue un haz de luz  
viajando a través de una FO

El número de **modos de propagación** en una FO depende del diámetro del núcleo, la longitud de onda propagada y la apertura numérica de la fibra óptica.

### 7.2. Perfil del índice de refracción:

Describe la relación entre los índices del núcleo y del revestimiento.  
Existen dos tipos fundamentales de relación entre ambas capas:

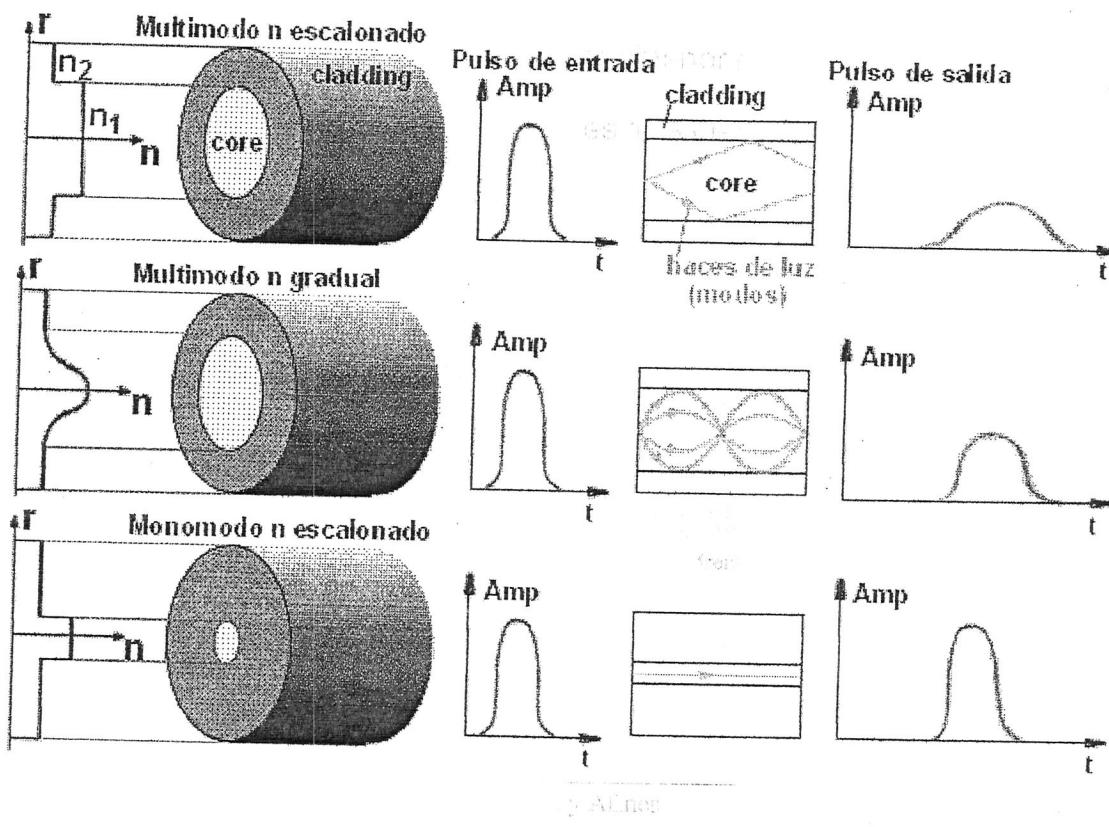
#### a) **índice en escalón ( abrupto ):**

El núcleo posee un índice de refracción uniforme y existe un paso abrupto desde el revestimiento al núcleo.

#### b) **índice gradual:**

El núcleo tiene un índice de refracción no uniforme con un valor máximo en el centro del mismo. El paso desde el revestimiento al núcleo es gradual.

# FIBRAS ÓPTICAS



## 8- DISPERSION MODAL

Dispersión originada por las diversas trayectorias que toman los rayos de luz dentro de la fibra óptica.

A raíz que rayos que toman caminos más cortos llegan antes a destino que aquellos con trayectos mayores , se produce un ensanchamiento de los pulsos con la posibilidad de superposición entre pulsos adyacentes.

## 9- FIBRAS MULTIMODO (índice de paso abrupto o en escalón):

La más simple , pero la menos eficiente en cuanto a pérdidas y ancho de banda.

**Diámetro del core: de 100 a 970  $\mu\text{m}$ .**

Se construye en vidrio , PCS y plástico. Dispersión modal entre 15 y 30 ns/km.

## 10- FIBRAS MULTIMODO (índice de paso graduado):

Reducen la dispersión modal. El core esta formado por numerosas capas concéntricas de vidrio , las cuales poseen un índice de refracción que decrece desde el centro hacia la periferia ; los rayos son continuamente refractados y siguen una trayectoria casi sinusoidal.

Dispersión modal 1 ns/km o menor. Diámetro del core: de 50 a 85 um y un diámetro del cladding de 125 um.

# FIBRAS ÓPTICAS

## 11- FIBRAS MONOMODO (índice de paso abrupto)

Reducen la dispersión modal reduciendo el diámetro del núcleo hasta que solamente pueda haber un modo de propagación.

### Dispersión modal nula:

\* Diámetro del core: de 5 a 10 um.

\* Diámetro del cladding: 125 um.

La posibilidad de propagar solo un modo depende de la longitud de onda de la luz incidente. La longitud de onda límite a partir de la cual la fibra se convierte en monomodo se denomina **cutoff**.

## 12- DISPERSION:

Es el ensanchamiento de un pulso producido en su trayecto a través de la FO; limita la capacidad de transmisión de información a través de las FO.

Hay tres tipos principales de dispersión:

- a) dispersión modal
- b) dispersión material
- c) dispersión de guía de onda

a) dispersión modal: ocurre solo en fibras multimodo.

Se reduce mediante:

- a) disminuyendo el diámetro del núcleo
- b) usando índices de refracción graduales en el core
- c) usando fibras monomodo

b) dispersión material o cromática: se produce debido a las diferentes y de la luz incidente en un modo de propagación.

El valor de la dispersión depende de:

- a) la amplitud espectral de la fuente de luz.
- b) La  $\lambda$  central de operación de la fuente de luz.

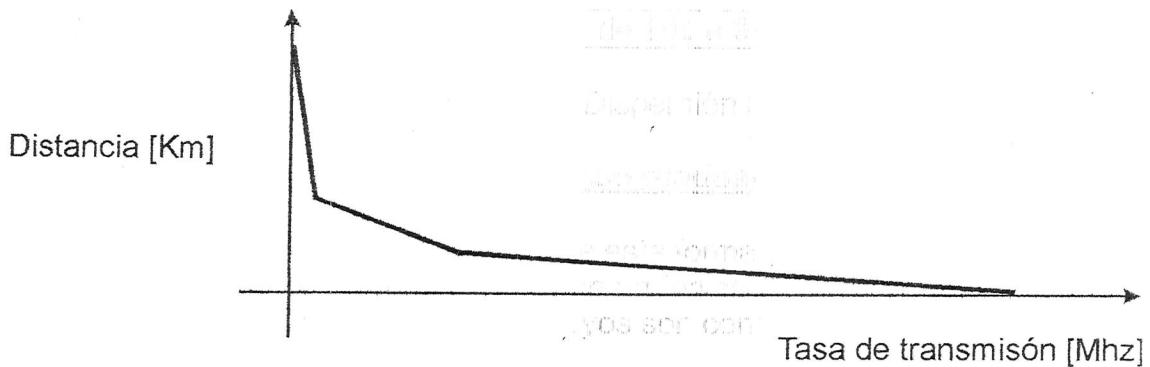
c) dispersión de guía de onda: debida a que la energía viaja tanto por el núcleo como por el revestimiento.

Se reduce modificando la estructura interna de la fibra.

## FIBRAS ÓPTICAS

### 13- ANCHO DE BANDA Y DISPERSION.

**FO MULTIMODO:** la figura de mérito es el producto ancho de banda - longitud, expresada en Mhz.km.



**FO MONOMODO:** la figura de mérito es la dispersión , expresada en picosegundos por kilómetro por nanómetro de amplitud espectral de la fuente de luz. Existe una relación entre ancho de banda y dispersión.

$$BW = \frac{0,187}{(Disp) \cdot (SW) \cdot (L)}$$

Donde: **Disp** = dispersión a la **I** de trabajo [ seg/nm/km ]

**SW** = amplitud espectral media de la fuente de luz [nm]

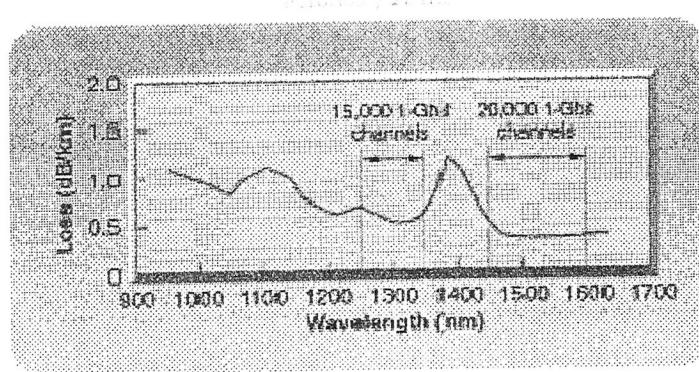
**L** = longitud de la fibra [km]

### 14-ATENUACIÓN:

Es la pérdida de energía de la luz viajando a través de la fibra.

- Se mide en dB/km
- Varía con la longitud de onda de la luz : "ventanas de bajas pérdidas"
- Independiente de la frecuencia de la señal transmitida

# FIBRAS ÓPTICAS



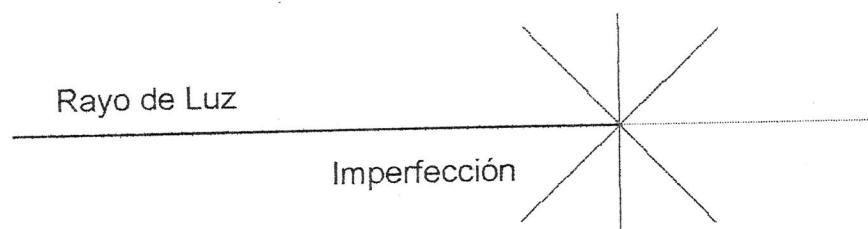
## 14.1. Causas de la atenuación de las FO

### a) Esparcimiento:

Es la pérdida de energía debido a imperfecciones en la estructura básica de la fibra.

El esparcimiento es debido a variaciones de densidad y composición de la fibra producidos durante el proceso de manufactura. En un vidrio puro (caso ideal) el esparcimiento es nulo-

El esparcimiento es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda.



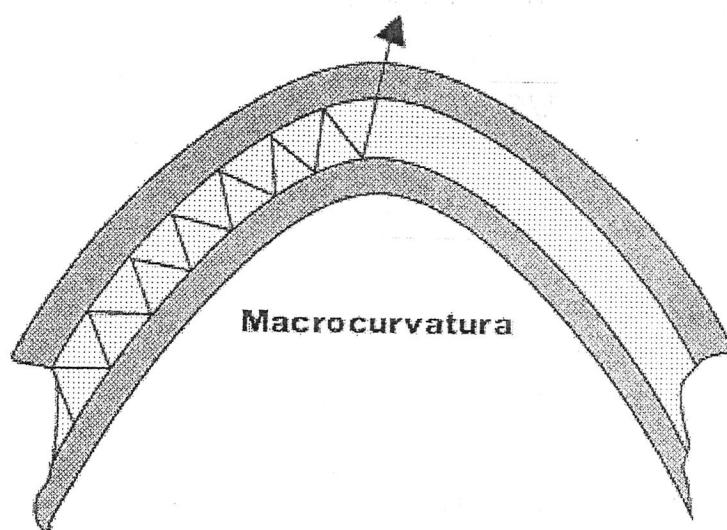
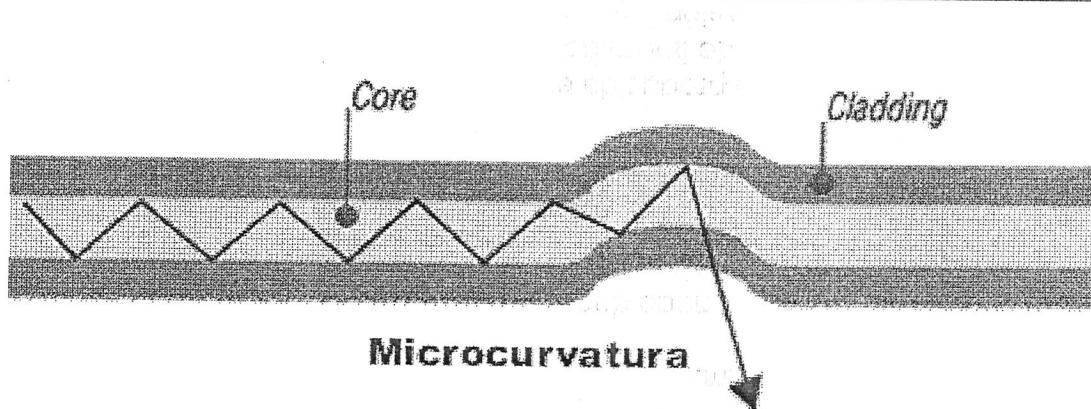
### b) Absorción:

Es el proceso por el cual impurezas en la FO absorben energía y disipan una pequeña cantidad de calor.

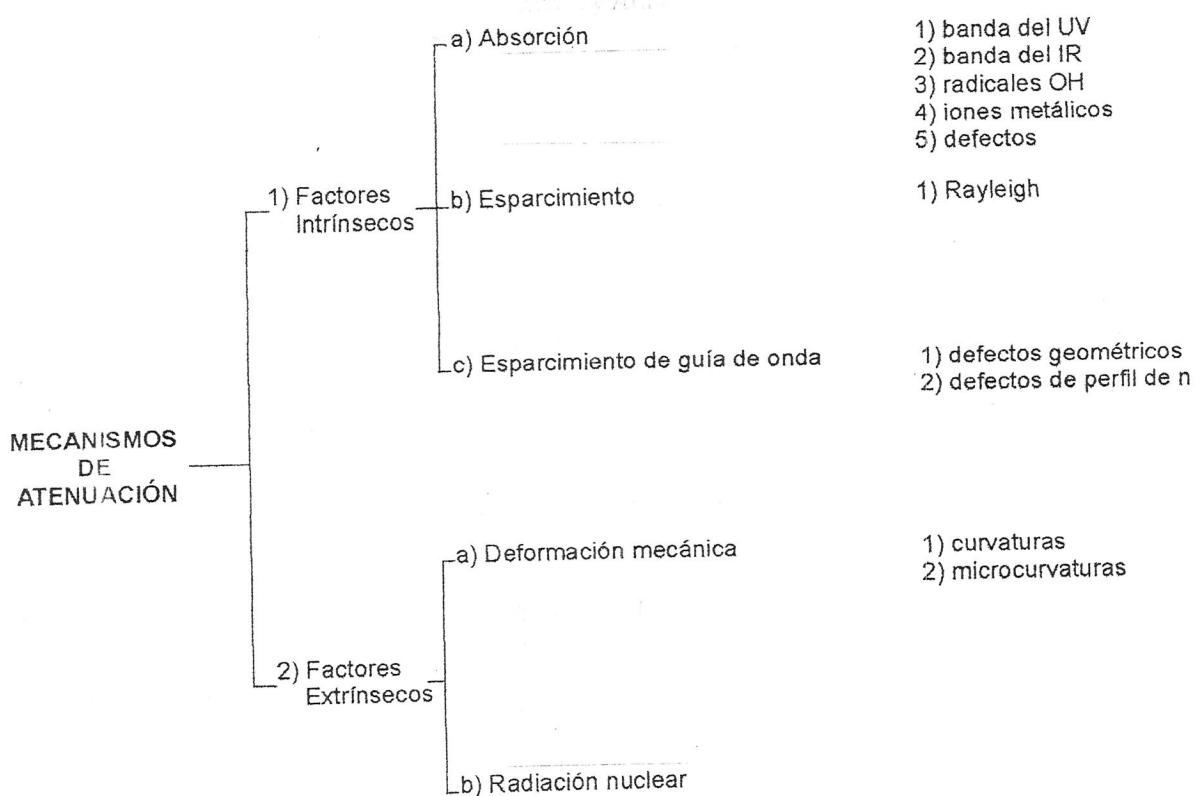
### c) Pérdidas por curvatura de la fibra:

Pueden originarse tanto en el proceso de manufactura (*microcurvaturas*) como en el proceso de cableado (*macrocurvaturas*), y causan que determinados modos de propagación se reflejen con ángulos tales que no posibiliten nuevas reflexiones.

# FIBRAS ÓPTICAS



# FIBRAS ÓPTICAS



## 15- CABLES DE FIBRA OPTICA

### 15.1. INTRODUCCION.

Una vez superada la fase de fabricación de la fibra óptica las mismas deben ser envueltas antes de su uso.

Esta envoltura es lo que las transforma en cables. Estas envolturas dan forma a una estructura de protección que rodea a una o más fibras. Es análogo a la aislación u otros elementos que se utilizan en los cables de cobre.

Esta envoltura les provee de protección ambiental y mecánica evitando que sean dañada o degradada su performance. ( La protección contra descargas eléctricas , cortocircuitos o la posibilidad de originar llamas todas ellas precauciones muy importantes cuando se diseñan cables de cobre no tienen mayor peso en el caso de los cables de fibras ópticas).

Al igual que los cables de cobre las fibras ópticas existen en una gran variedad de figuraciones.

Las consideraciones a tener en cuenta en referencia a la elección de cualquier cable son las siguientes:

## FIBRAS ÓPTICAS

- Resistencia a la tracción
- Durabilidad
- Flexibilidad
- Resistencia ambiental
- Rango de temperatura de funcionamiento
- Resistencia al aplastamiento
- Apariencia

La evaluación de estas consideraciones depende de cada aplicación.

Un tendido exterior aéreo por ejemplo tendrá rangos de temperatura muy altos, esfuerzos de tracción producidos por la acumulación de hielo o nieve , exposición a los rayos ultravioletas , lluvia , esfuerzos a causa de los vientos etc ; por otra parte un tendido exterior subterráneo deberá contemplar la posibilidad del ataque de los roedores , las inundaciones , etc.

Obviamente estas condiciones implican cables de alta resistencia mecánica.

En los Telecommunication Room o las salas de equipos los cables para interconectar el equipamiento deben ser flexibles y livianos.

En los cableados intraedificio los cables deben ser de pequeño tamaño y gran cantidad de fibras.

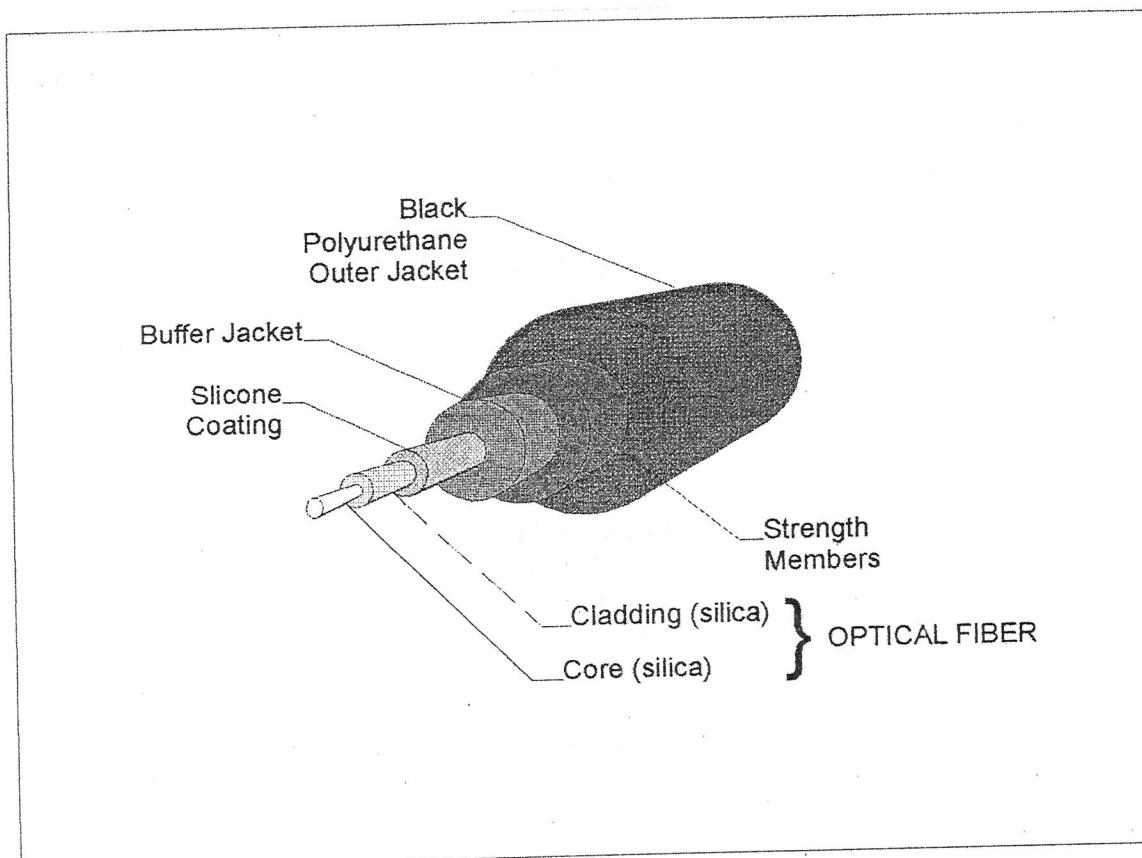
Vemos entonces que la construcción de los cables de fibra óptica es diferente de acuerdo a su aplicación.

### 15.2. PARTES PRINCIPALES DE UN CABLE DE FIBRA OPTICA

Hemos dicho que la construcción de los cables de fibra óptica depende de la aplicación no obstante la mayoría tienen los siguientes componentes en común:

- ◆ Fibra óptica
- ◆ Buffer
- ◆ Miembros de refuerzo
- ◆ Cubierta exterior

# FIBRAS ÓPTICAS



## 15.2.1 BUFFERS

El buffer más simple y económico es una cobertura plástica extraída sobre el cladding de la fibra. Este buffer es aplicado por el fabricante durante el proceso de construcción.

El buffer del cable tiene dos alternativas:

- ♦ Loose buffer ( Loose tube ).
- ♦ Tight buffer

El loose buffer utiliza un tubo plástico semirrígido con un diámetro exterior varias veces mayor que el diámetro exterior de la fibra.

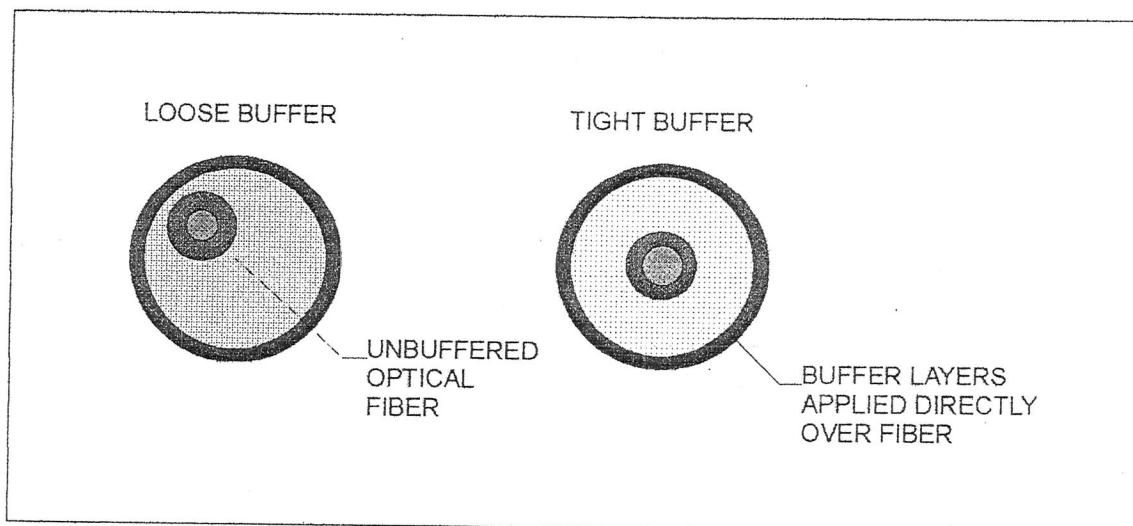
El tubo aísla la fibra del resto del cable y de los esfuerzos mecánicos actuantes sobre el mismo. Asimismo cuando el cable se dilata a contra de acuerdo a los cambios de temperatura esto no afectará a las fibras que contiene. Las fibras tienen un bajo coeficiente de dilatación que el resto de los elementos de los cables. Típicamente la longitud de la fibra es mayor que la del cable, de esta manera el cable puede expandirse y contraerse sin arrastrar a las fibras. El tight buffer es un plástico directamente aplicado sobre el recubrimiento de la fibra. Esta construcción permite una alta maleabilidad durante el conectorizado proveyendo además una buena resistencia al impacto como así también al aplastamiento.

## FIBRAS ÓPTICAS

No obstante no protege a la fibra de los esfuerzos de dilatación y contracción causados por el variación de temperatura , ya que el plástico tiene índices de dilatación varias veces superior al vidrio.

Otra ventaja del tight buffer es que es más flexible y permite radios de curvatura menores.

Esta condición hace que los tight buffer sean los más usuales para aplicaciones en interior donde las variaciones de temperatura son mínimas y se busca facilitar la instalación.



Parámetro Del cable	Estructura del cable	
	Loose Tube	Tight Buffer
Radio de curvatura	Mayor	Menor
Diámetro	Mayor	Menor
Resistencia a la tracción	Superior	Inferior
Resistencia al impacto	Menor	Superior
Resistencia al aplastamiento	Menor	Superior
Rango de temperatura	Mayor	Menor

### 15.2.2 MIEMBROS DE REFUERZO

Los miembros de refuerzo proporcionan la resistencia mecánica al cable de fibra ; los mismos absorben los esfuerzos aplicados al cable durante la instalación , y luego de ella evitando que la fibra sea dañada.

Los materiales más comunes utilizados como miembros de refuerzo son:

- ♦ Kevlar ( Aramid yarn )
- ♦ Acero
- ♦ Filamentos de fibra de vidrio y resinas epoxi

## FIBRAS ÓPTICAS

El KEVLAR es comúnmente usado en los cables de uso interior , el acero y los filamentos de resinas epoxi se utilizan generalmente en cables de exterior. El acero ofrece la mayor resistencia a la tracción que las resinas epoxi pero están dejando

de ser usados en función que le hacen perder a los cables la característica totalmente dieléctrica de los mismos.

Por ejemplo un miembro de refuerzo metálico puede captar descargas atmosféricas mientras que el KEVLAR o las resinas epoxi se comportan indiferentes a las variaciones electromagnéticas del medio.

### 15.2.3 CUBIERTA EXTERIOR ( JACKET )

La cubierta exterior provee protección respecto de los efectos de:

- abrasión
- aceites
- ozono
- ácidos
- solventes
- etc.

La elección del material de la cubierta exterior dependerá del grado de resistencia requerida para los diferentes agentes y del costo.

Cuando un cable contiene varias capas de cubiertas y de materiales de protección las capas exteriores también son llamadas SHEATH (forro). En este caso la cubierta es la capa directamente sobre las fibras y el SHEATH hace referencia a las capas adicionales. Esta terminología es especialmente usada en la industria de las telecomunicaciones

# FIBRAS ÓPTICAS

## PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DE LAS CUBIERTAS EXTERIORES

	PVC	Polietileno baja densidad	Polietileno celular	Polietileno alta densidad	Poly- propileno	Poly- uridano	Nylon	Teflon
Resistencia a la oxidación	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	E
Resistencia al calor	B-MB	B	B	MB	MB	B	MB	E
Resistencia a los aceites	R	B	B	B-MB	R	MB	MB	E
Flexibilidad a baja temperatura	P-B	B-MB	MB	MB	P	B	B	E
Resistencia climática, sol	B-MB	MB	MB	MB	MB	B	MB	E
Resistencia al ozono	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
Resistencia a la abrasión	R-B	R-B	R	MB	R-B	E	MB	MB
Propiedades eléctricas	R-B	MB	MB	MB	MB	P	P	MB
Resistencia al fuego	MB	P	P	P	P	R	P	E
Resistencia a la radiación nuclear	B	B	B	B	R	B	R-B	P
Resistencia al agua	MB	MB	MB	MB	MB	P-B	P-R	MB
Resistencia a los ácidos	B-MB	B-MB	B-MB	B-MB	MB	R	P-R	MB
Resistencia a los álcalis	B-MB	B-MB	B-MB	B-MB	MB	R	MB	MB
Resistencia a las naftas, kerosene, etc	P	P-R	P-R	P-R	P-R	B	B	MB
Hidrocarburos alifáticos								
Resistencia al bensol, toluol, etc	P-R	P	P	P	P-R	P	B	MB
Hidrocarburos aromáticos								
Resistencia a los solventes desengrasantes	P-R	P	P	P	P	P	B	MB
Hidrocarburos Halogenados								
Resistencia a los acoholes	B-MB	MB	MB	MB	MB	P	P	MB

P: Pobre      R: Regular      B: Bueno      MB: Muy Bueno      E: Excelente

# FIBRAS ÓPTICAS

La calificación esta basada en la performance promedio de los componentes para propósitos generales. Cualquier mejora de las propiedades se logra alterando las proporciones o características de los componentes.

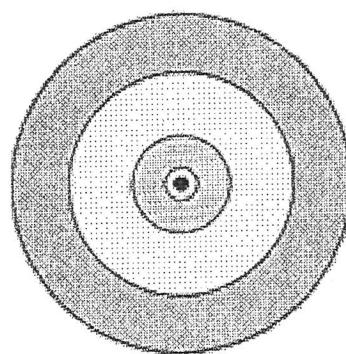
## 16. CABLES DE USO INTERIOR.

Los cables para uso en interiores pueden clasificarse de la siguiente manera:

- ➔ Cables simplex
- ➔ Cables duplex
- ➔ Cables multifibra
- ➔ Cables break out
- ➔ Cables heavy- light-and plenum-duty

### 16.1. CABLES SIMPLEX:

Los cables simplex contienen una sola fibra. "Simplex" es el término utilizado en electrónica para indicar un solo sentido de transmisión. Como las fibras trasladan señales en una sola dirección del transmisor al receptor, un cable simplex permite un solo sentido de comunicación.



Simplex

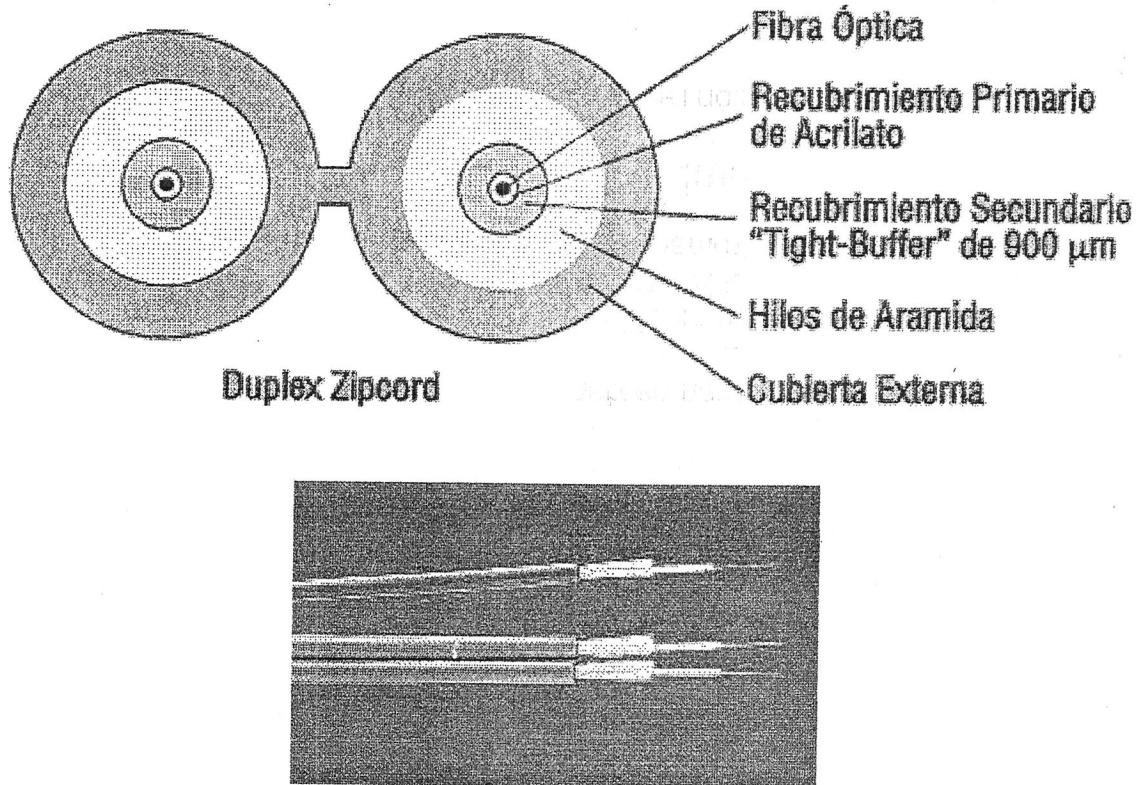
### 16.2. CABLES DUPLEX

Los cables duplex contienen dos fibras ópticas. "Duplex" hace referencia a dos sentidos de comunicación. Una fibra transporta señales en una dirección y la otra en el sentido inverso.

En apariencia un cable duplex asemeja a dos cables simplex cuyas cubiertas exteriores han sido adheridas. Es muy fácil el desprender una cubierta respecto de la otra.

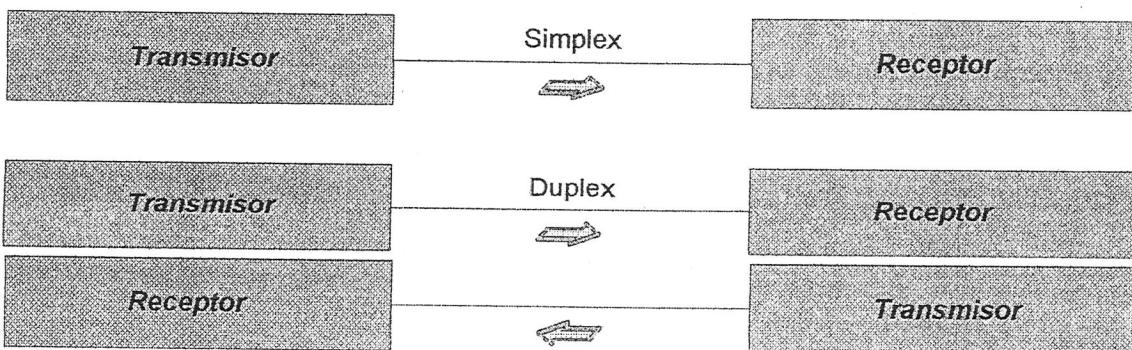
Los cables duplex son comúnmente utilizados en lugar de dos cables simplex por cuestiones estéticas y de conveniencia en la instalación.

# FIBRAS ÓPTICAS

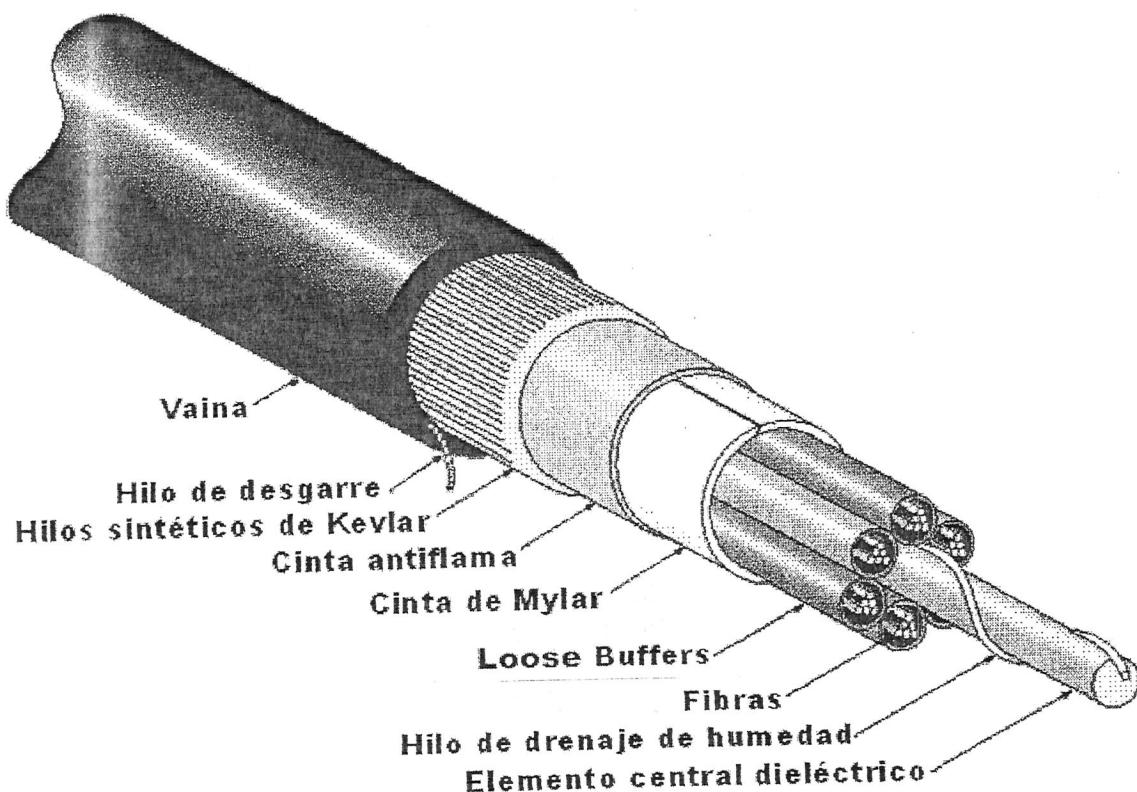


## 16.3. CABLES MULTIFIBRA

Los cables multifibra contienen más de dos fibras ópticas. Estos permiten la distribución de las señales en los edificios. Las fibras son utilizadas generalmente de a pares, en el cual cada fibra de cada par lleva las señales en sentido contrario. Un cable de 10 fibras ópticas permite 5 circuitos duplex. Los cables multifibras pueden también contener varios loose tubes , cada cual conteniendo una o más fibras. El uso de varios tubos permite la identificación de las fibras ya que los tubos y las fibras están codificados mediante colores. Estos tubos están devanados alrededor de un miembro de refuerzo central. Este devanado alivia las tensiones de las fibras cuando el cable es doblado.



# FIBRAS ÓPTICAS



## 16.4. ESPECIFICACION SEGÚN EL USO

La construcción de los cables depende de la aplicación. Hay cuatro distinciones básicas de aplicación:

- ▶ Light duty
- ▶ Heavy duty
- ▶ Plenum
- ▶ Riser

Los cables Heavy duty usualmente tienen cubiertas más gruesas que los cables light duty para permitir un manejo más rudo durante el proceso de instalación.

Los plenos son los espacios de aire que hay entre las paredes , debajo de las estructuras de piso y sobre los cielos rasos.. Los plenos son lugares popularmente usados para el tendido de líneas de energía , teléfonos , señal , etc. Desafortunadamente los plenos también son áreas donde el fuego puede propagarse fácilmente a través del edificio.

Ciertos materiales utilizados en la construcción de las cubiertas exteriores de los cables desprenden gases tóxicos cuando son sometidos a la llama.

Hay normas y códigos internacionales que obligan que los cables que circulan en áreas "Plenum" deben ser cableados en conductos a prueba de fuego o sus

# FIBRAS ÓPTICAS

cubiertas exteriores deben ser de materiales retardantes de llama y de baja emanación de gases.

Una de las pruebas más comunes para determinar el rango de flamabilidad de los cables es el test " Steiner Tunnel". Los cables calificados para aplicación Plenum deben pasar este test satisfactoriamente y tendrán la leyenda OFNP ( Optical Fiber Nonconductive Plenum ) cable.

Los cables de denominación Riser son para uso en tendidos verticales.

Generalmente son del tipo multifibra y poseen una construcción que les permite soportar varias veces su peso , situación típica en las montañas.

Estos llevarán la leyenda OFNR ( Optical Fiber Nonconductive Riser ) cable.

## 16.5. CABLES BREAKOUT

Los cables breakout tienen varios cables individuales simplex en el interior de una cubierta exterior. La cubierta exterior generalmente incluye un cordón de desgarro para facilitar la remoción de la misma.

La ventaja de los cables breakout es que permite acceder a las subunidades del cable de cualquier longitud que uno pretenda garantizando la máxima protección de cada una de las fibras. Asimismo los cables del tipo breakout garantizan la máxima fijación al momento de lo conectarizado.

Los cables Breakout típicamente se presentan en versiones de cuatro o más pares.

## 17. CABLES PARA USO EXTERIOR

Los cables para ser utilizados en exteriores deben soportar condiciones ambientales mucho más exigentes que los cables de uso interior. Los cables de uso exterior son fabricados para las siguientes aplicaciones:

- ▶ Suspendidos: (entre edificios o postes)
- ▶ Subterráneos (cables enterrados directamente)
- ▶ Subterráneos por canalización: (dentro de conductos)
- ▶ Submarinos (instalados bajo agua)

Estos cables obviamente deben ser más resistentes y durables ya que los mismos estarán expuestos a condiciones ambientales más extremas. La mayoría de estos cables tienen cubiertas con capas adicionales de protección. Por ejemplo los cables para aplicación subterránea incluyen entre sus cubiertas un laminado metálico para evitar que los roedores afecten la performance de las fibras.

La mayoría de los cables para uso exterior son de construcción Loose Tube estos tubos se rellenan con un compuesto de gel para eliminar el aire del interior del cable esto evita la migración del agua en el interior del tubo la cual , a temperatura de congelamiento , dañaría las fibras.

Las fibras en este caso "flotan" en el gel el cual no se congela y protege a las fibras.

Los cables para uso exterior generalmente contienen cuatro o más fibras.

## FIBRAS ÓPTICAS

En los cables que contienen varias fibras no todas las fibras deben ser utilizadas al momento de la instalación. Algunas fibras se guardarán como reserva en el caso de

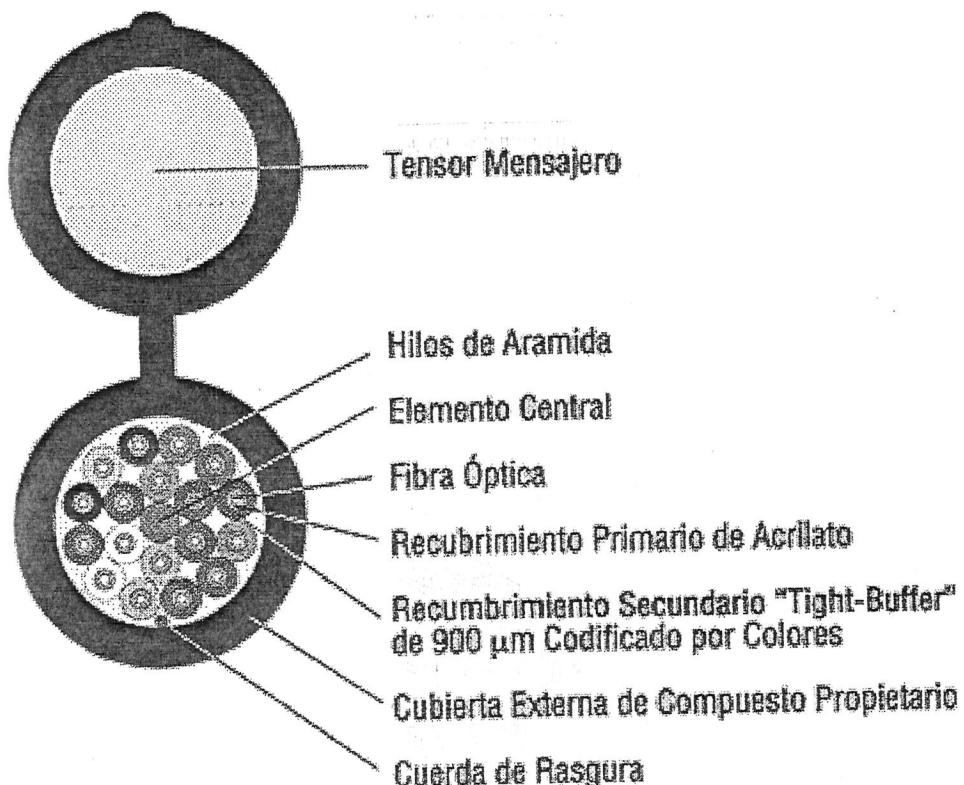
fallas ; otras se reservarán para futuras expansiones cuando la demanda o capacidad adicional sea requerida.

Tener fibras extras disponibles genera un ahorro significativo pues reinstalar un cable a causa de falla o de necesidad de expansión generalmente es varias veces más costoso que preveerlo en el momento de instalación inicial.

Debe tenerse en cuenta que la mayoría de los cables de uso exterior no son aptos para ser instalados en interiores de edificios por cuestiones de flamabilidad y desprendimiento de gases tóxicos. En estos casos debe respetarse la " fifty foot law " la cual permite ingresar hasta 50 pies al interior del edificio ya que los gases resultantes ante un eventual caso de incendio no son suficientes para afectar al ser humano.

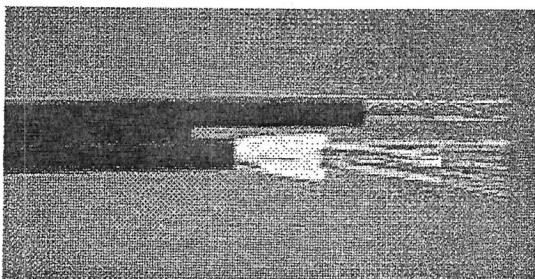
En referencia a los cables autosuspendidos cabe destacar que existen dos alternativas de construcción:

- ▶ Figura 8
- ▶ Figura circular



Los cables de figura 8 presentan más resistencia al viento, acumulan nieve y/o hielo todo esto genera mayores esfuerzos para el portante por lo cual generalmente estos cables son de una construcción más pesada.

# FIBRAS ÓPTICAS



Los cables de figura circular opuestamente a los anteriores tienen menor resistencia al viento y son los que mejor escurren la nieve o el hielo; de esta manera solicitan menos al portante por lo tanto son de construcción más liviana.

El inconveniente de estos últimos es que el anclaje de los mismos se efectúa sobre el exterior del cable y si no es correctamente instalado o en tendidos de muy larga trayectoria las fibras pueden ser dañadas. Cabe destacar que los empalmes en estos cables es más costosa.

## 18. OTRAS CARACTERISTICAS DE LOS CABLES

### 18.1. LONGITUD

Los cables de fibra óptica generalmente se entregan en carretes conteniendo 1000 o 2000 metros. Para las fibras del tipo monomodo también hay presentaciones de 5000 o 6000 metros.

Debe elegirse el tipo de empaque a utilizar de acuerdo a la aplicación pues las uniones generan atenuaciones adicionales.

Mayor longitud de cable implica menos uniones por lo tanto menor atenuación. Durante la fase de instalación de los cables debe ser dejada en ambos extremos del cable y en cajas de paso o de inspección. Pues ante un eventual corte del cable la restitución del servicio se logra con un solo empalme.

De otra manera el agregado de una sección nueva de cable obligaría a ejecutar dos empalmes, multiplicando por dos la atenuación generada.

### 18.2. IDENTIFICACION DE LAS FIBRAS

El tubo y el coating de las fibras, en el caso de las Loose Tube y el Buffer en el caso de las Tight Buffer vienen coloreados para permitir la identificación de cada una de las fibras contenidas en los cables.

Generalmente se utiliza la codificación con los ocho colores primarios telefónicos y a partir de ahí se generan los subgrupos.

**FIBRAS ÓPTICAS**

KAF 6967

**Código de Colores Estándares TIA-598-A Fibra Optica**

- ◆ Azul
- ◆ Naranja
- ◆ Verde
- ◆ Marrón
- ◆ Gris
- ◆ Blanco
- ◆ Rojo
- ◆ Negro
- ◆ Amarillo
- ◆ Violeta
- ◆ Rosa
- ◆ Celeste

**18.3. ESFUERZOS DE CARGA.**

Los fabricantes de cables especifican las cargas máximas que pueden ser aplicadas a los cables. Dos valores de cargas son generalmente especificados. El esfuerzo de carga de instalación es la carga que puede soportar el cable durante períodos cortos mientras dura el proceso de instalación.

Esta carga incluye la carga adicional a la que es sometida la fibra cuando es traccionada a través de los conductos, en los giros, etc.

La carga máxima especificada para la instalación limita la longitud de cable que puede ser instalado en una sola operación.

Diferentes métodos de instalación representarán diferentes condiciones de carga. Se debe planear cuidadosamente la instalación para evitar superar los valores especificados.

El segundo valor de carga especificado es la carga durante el funcionamiento o a largo término. Durante el funcionamiento, el cable no debe estar sometido a cargas tan intensas como las que soporta durante la instalación.

Esta carga durante el funcionamiento o a largo término es también llamada carga estática.

La carga de instalación o la carga durante el funcionamiento se especifica en libros o Newtons. Las cargas admisibles dependen obviamente de la construcción de cada tipo de cable.

El valor típico para un cable de uso interior del tipo Simplex es:

Carga de instalación =	250 libras ( 1112 Newtons )
Carga durante el funcionamiento =	10 libras ( 44 Newtons )

# FIBRAS ÓPTICAS

## 19. CABLES COMPUESTOS - HIBRIDOS

### 19.1. CABLES COMPUESTOS

Los cables compuestos son cables de fibra óptica que en su interior alojan fibras multimodo y monomodo. Estos cables pueden ser de cualquier tipo de forma constructiva.

### 19.2. CABLES HIBRIDOS

Los cables híbridos son cables que además de contener fibras ópticas, contienen conductores de cobre, por ejemplo (pares trenzados) Estos conductores pueden ser utilizados para aplicaciones que funcionen sobre cobre, pero además permiten dos usos muy comunes:

- A) Utilizar los mismos para comunicación durante el proceso de conectorizado de las fibras ópticas, especialmente en aplicaciones de larga distancia. De esta manera el equipamiento de medición puede conservarse en un único extremo y las mediciones se ejecutan efectuando diferentes empalmes en la punta de trabajo.
- B) La otra aplicación muy generalizada es la de proveer energía o señalización para los equipos activos del sistema de fibra óptica

## 20. CONECTORES Y EMPALMES

La interconexión de los distintos componentes de un sistema de fibra óptica es una parte vital de la performance del mismo.

La conexión a través de empalmes y conectores acopla la señal lumínica de un elemento a otro con la mínima pérdida posible. A lo largo de un enlace la fibra debe ser conectada a fuentes, detectores, y otras fibras.

Un conector es un elemento que permite la conexión y desconexión de las fibras respecto a las fuentes, detectores u otras fibras varias veces sin perder sus características originales.

Un empalme es para unir en forma permanente o semipermanente una fibra con otra fibra.

La característica más importante en una conexión de fibra es la alineación, concentración y mínimo espacio entre los elementos a unir. ( El contacto físico no es obligatorio ).

Hay varias razones que justifican la necesidad de conectores y de empalmes. En enlaces de muy larga distancia las fibras deben ser empalmadas unas con otras pues los fabricantes las entregan en longitudes entre 1000 y 6000 metros. Por ejemplo en un tendido de 50 kilómetros si se utilizan carretes de 6000 metros se requerirían cuatro empalmes, como así también los conectores para ambos extremos.

## FIBRAS ÓPTICAS

En otros casos probablemente la longitud no supere los 6000 metros pero puede ser imposible ejecutar el tendido en un solo tramo.

Conectores y empalmes también son requeridos en las entradas y salidas de las distintas áreas a interconectar.

También es necesario generar puntos de transición o de derivación de un cable con otros ( interior / exterior - multifibra / dúplex ).

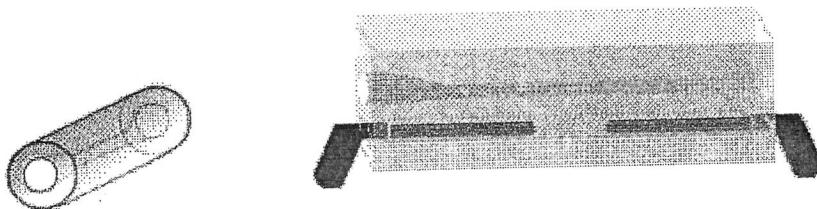
Asimismo son necesarios los conectores para poder intercambiar equipamiento, configuraciones, topología , vacantes, etc.

### ***Empalmes manuales o mecánicos***

Son empalmes rápidos, permanentes o temporarios, que pueden usarse, por ejemplo, para probar bobinas. Producen atenuaciones altas, del orden de 0.20 a 1dB.

Vienen llenos con gel para mejorar la continuidad de la luz.

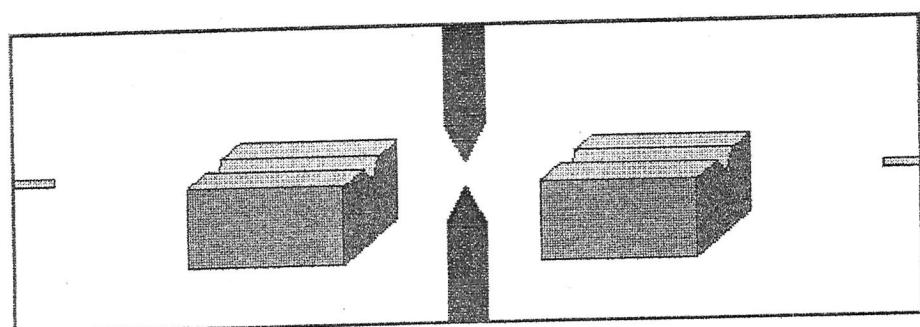
Pueden ser cilindros con un orificio central, o bandejas cerradas con dos pequeñas llaves que nos permiten introducir las fibras.



### ***Empalmes por fusión***

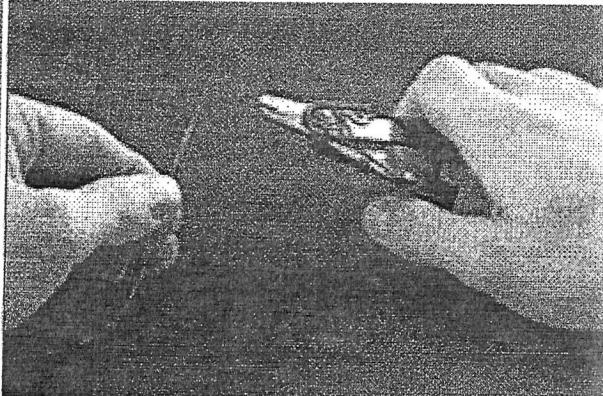
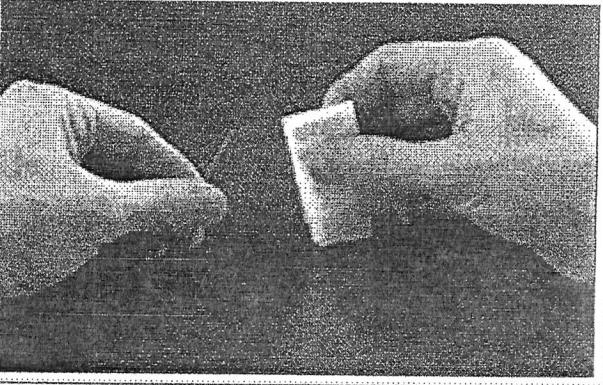
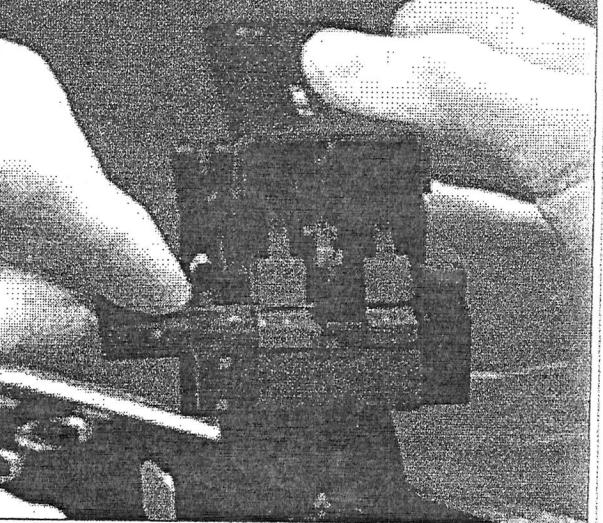
Son empalmes permanentes y se realizan con máquinas empalmadoras, manuales o automáticas, que luego de cargarles las fibras sin coating y cortadas a 90° realizan un alineamiento de los núcleos de una y otra, para luego fusionarlas con un arco eléctrico producido entre dos electrodos.

Llegan a producir atenuaciones casi imperceptibles (0.01 a 0.10 dB).



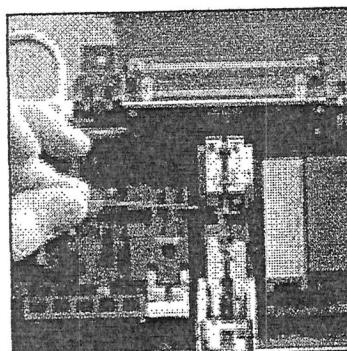
# FIBRAS ÓPTICAS

## Procedimiento

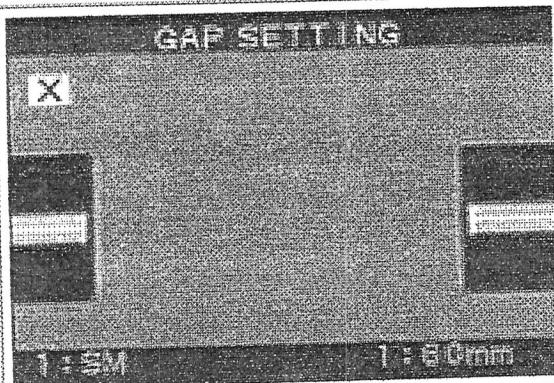
Con una pinza especial ( $125\mu$ ) se pella (strip) unos 5cm de coating (color)	
Se limpia (clean) la fibra con un papel suave embebido en alcohol isopropílico	
Se corta (cleave) la fibra a unos 8 a 16mm con un cutter o cleaver, con hoja de diamante, apoyando la fibra dentro del canal, haciendo coincidir el fin del coating con la división correspondiente a la medida.  Una vez cortada, la fibra no se vuelve a limpiar ni tocar.	

# FIBRAS ÓPTICAS

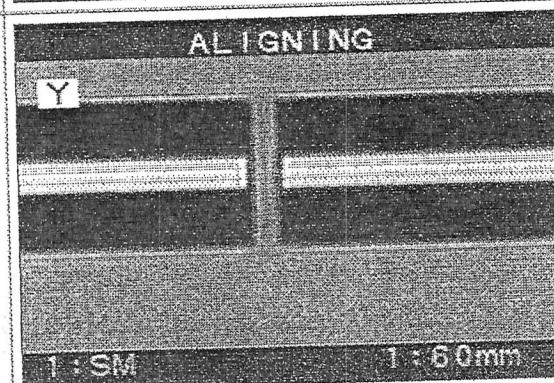
Cuidando que la fibra no contacte con nada, se introduce en la zapata de la empalmadora, sobre las marcas indicadas.  
Repetir el procedimiento con la otra fibra.



En el display se verán las dos puntas, pudiéndose observar si el ángulo es perfectamente recto, sino fuera así la máquina no nos permitiría empalmar.



Presionando el botón de empalme, estando la empalmadora ajustada en automático, la misma procederá a alinear en los ejes x e y, y a acercar las puntas a la distancia adecuada.

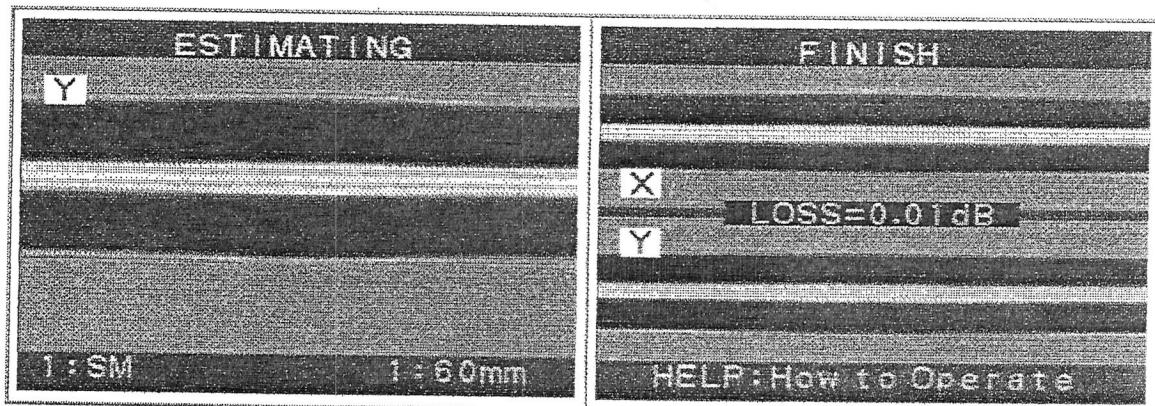


Una vez cumplido esto, a través de un arco eléctrico dado entre dos electrodos, aplicará una corriente de prefusión durante el tiempo de prefusión, y luego una corriente de fusión durante el tiempo de fusión.



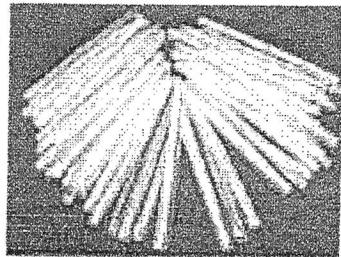
Luego hará una estimación (muy aproximada) del valor de atenuación resultante.

# FIBRAS ÓPTICAS



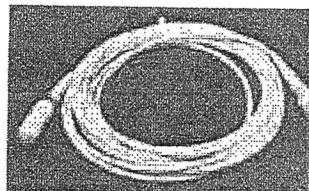
## Protección de los empalmes

La zona del empalme es delicada por lo que se protege de diferentes maneras: pegándose sobre unas almohadillas autoadhesivas existentes en algunos cassettes de empalmes, rodeándose con una bisagra autoadhesiva, o con manguitos termocontraíbles (sleeves) los cuales poseen un nervio metálico.



## **Conectores**

Para poder conectar un cable de fibra a un equipo es necesario que en cada fibra se arme un conector, o bien, cada fibra se empalme con un **PIGTAIL**, que es un cable de una sola fibra que posee un conector en una de sus puntas, armado en fábrica.



Existe una gran variedad de conectores que se diferencian por sus aplicaciones o simplemente por su diseño:

**ST y STII+**



**SC**



# FIBRAS ÓPTICAS

Conexión y Alineación

FC



Euro2000

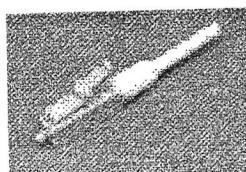


Simplex      Duplex

DIN



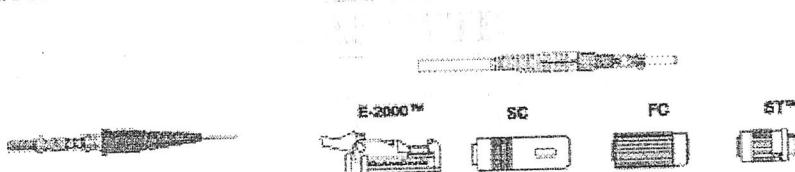
LC



Cada conector consta de:

- Ferrule: es el cilindro que rodea la fibra a manera de PIN.
- Body: el cuerpo del conector
- Boot: el mango

También existen conectores con el cuerpo intercambiable según la necesidad:



Ferrule: (distintos materiales)

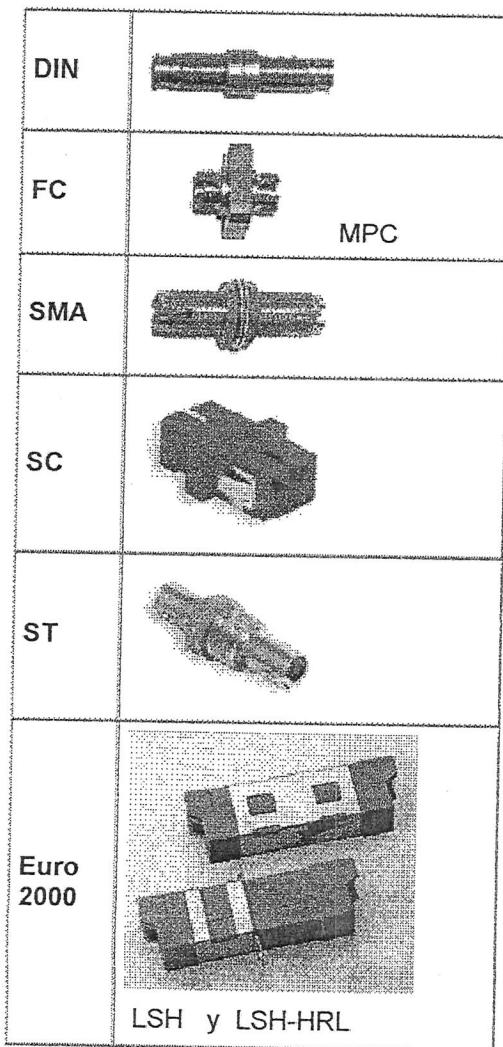
- ◆ Cerámicos
- ◆ Metálicos
- ◆ Plásticos

**Acopladores o adaptadores** (adapter, coupling, bulkhead, interconnect sleeve)

Son como pequeños tambores o cajas que reciben un conector de cada lado produciendo el acople óptico, con la mínima pérdida posible.

Se utilizan en los distribuidores, para facilitar la desconexión y cambio rápido, acoplando el pigtail que se haya empalmado al cable de fibra con el patchcord que se conecta a los equipos receptores/emisores. También se usan para conectar un tramo de fibra a los equipos de medición.

## FIBRAS ÓPTICAS



que se diferencian

y Afines

### 21. REQUISITOS DE LAS CONEXIONES.

La siguiente lista muestra las características que deben reunir los conectores y los empalmes para las fibras ópticas.

- ① **Baja pérdida:** El conector o el empalme debe generar la mínima pérdida de la señal que por ellos circula.
- ② **Facilidad de instalación:** El conector o el empalme debe ser fácil y rápido de instalar sin la necesidad de herramientas o entrenamientos muy complejo.
- ③ **Repetitividad:** Los conectores deben ser capaces de ser conectados y desconectados varias veces sin degradar sus características.
- ④ **Consistencia:** Los conectores y los empalmes deben ser estables y no debe variar su valor de pérdida durante el uso.
- ⑤ **Economía:** Los conectores y los empalmes deben ser económicos, en si mismos y en el herramiental que requieren.

Es realmente difícil diseñar piezas que reúnan todas las condiciones señaladas.

# FIBRAS ÓPTICAS

Un conector de baja pérdida es más caro que uno de alta pérdida y requerirá herramientas de más precisión. Si bien la baja pérdida es deseable no deben olvidarse las otras características.

En general los valores de pérdida admisible para conectores y empalmes son los siguientes:

- A: 0.2 dB o menos para empalmes.
- B: 0.3 a 1 dB para conectores de aplicación intraedificio, LAN o aplicaciones industriales.
- C: 1 a 3 dB para conectores y empalmes usados en aplicaciones donde las altas pérdidas son aceptadas y el bajo costo es más importante que la pérdida.  
Aplicaciones en fibras plásticas.

## 22. CAUSAS DE PERDIDA EN UNA CONEXIÓN.

Tres son los factores que generan pérdidas en una interconexión de fibra óptica:

- ① Factores intrínsecos o relacionados con la fibra son aquellos causados por la fibra en si misma.
- ② Factores extrínsecos o relacionados con los conectores y/o empalmes.
- ③ Factores del sistema.

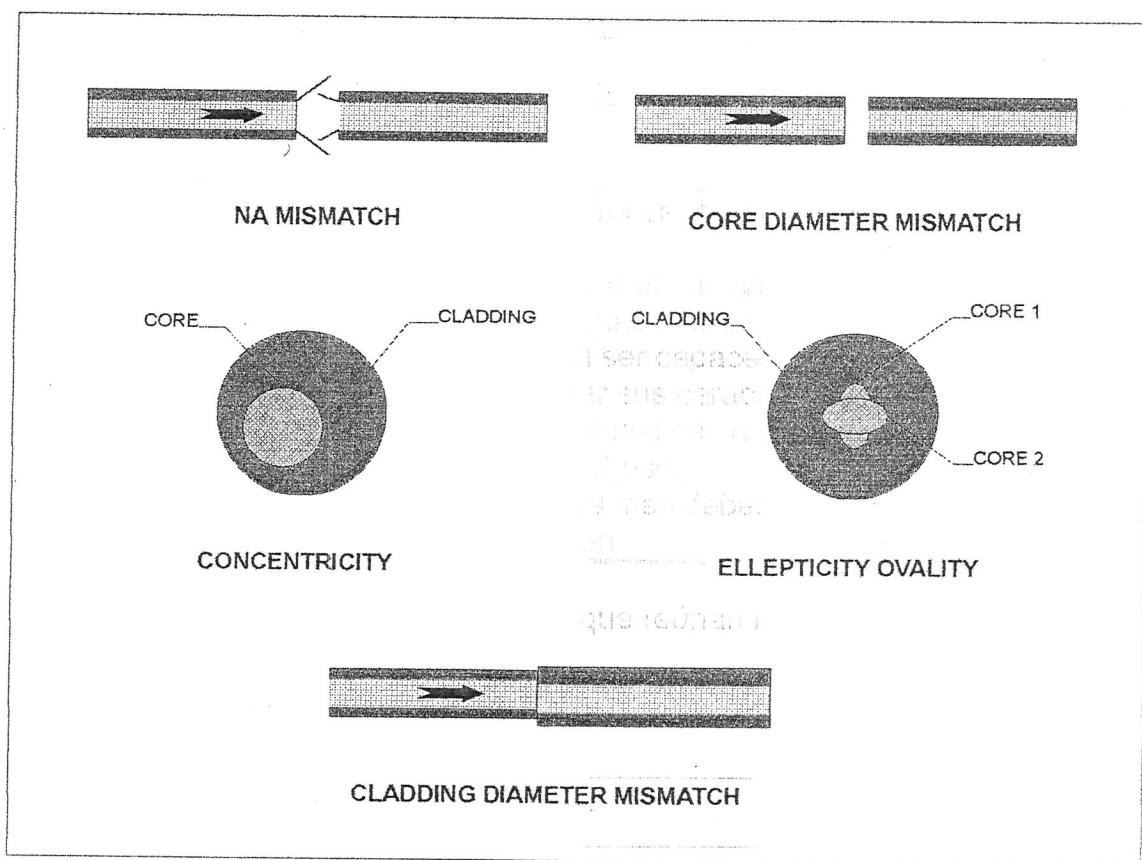
### 22.1. FACTORES INTRINSECO

Cuando se unen dos fibras, asumimos que las fibras son idénticas. Generalmente no lo son. Los fabricantes de las fibras las fabrican aceptando ciertas tolerancias respecto de los valores nominales especificados entonces las fibras estarán comprendidas dentro de un rango de valores.

Los parámetros que variables de fabricación de las fibras son los siguientes:

- ◆ Variación del ángulo de aceptación
- ◆ Variación del diámetro del core
- ◆ Variación del diámetro del cladding
- ◆ Errores de concentración ( core/cladding )
- ◆ Elipticidad u ovalidad ( core/cladding )

# FIBRAS ÓPTICAS



Todas estas variaciones existen en las fibras. Los fabricantes controlan estas variaciones para mantenerlas dentro de los límites de tolerancia.

En los últimos años, gracias al desarrollo de las técnicas de fabricación, se han reducido los rangos de tolerancia substancialmente.

Por ejemplo una fibra de 125 um de diámetro que usualmente tenía una tolerancia de  $\pm 5$  um admitía diámetros desde 120 a 130 um.

La interconexión de dos fibras en ambos extremos de la tolerancia generaría pérdidas de 0.6 dB.

En la actualidad la tolerancia admitida es de  $\pm 2$  um, resultando un rango de 123 a 127 um lo cual arroja pérdidas de 0.28 dB. Una tolerancia de  $\pm 1$  um reduciría las pérdidas a 0.1 dB.

## 22.2. TOLERANCIAS TIPICAS QUE INFLUENCIAN LOS FACTORES INTRINSECOS

Diámetro del core ( 62.5 $\mu\text{m}$ )	$\pm 3 \mu\text{m}$
Diámetro del cladding ( 125 $\mu\text{m}$ )	$\pm 2 \mu\text{m}$
NA ( 0.275 )	$\pm 0.015$
Concentricidad	< 3 $\mu\text{m}$
Ovalización del core	> 0.98
Ovalización del cladding	> 0.98

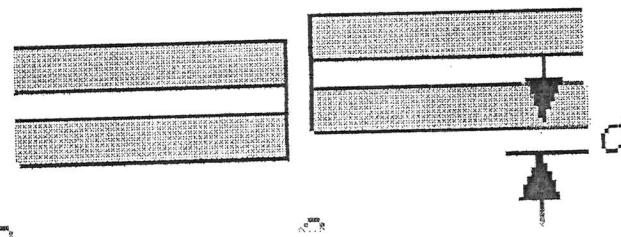
## 22.3. FACTORES EXTRINSECOS

Los conectores y los empalmes como mencionamos anteriormente agregan pérdidas a los enlaces. Cuando dos fibras no están perfectamente alineadas en sus ejes centrales, se producen pérdidas que no son originadas por los factores intrínsecos. Estas pérdidas son por el resultado de la dificultad de fabricación de los conectores con la exactitud de las tolerancias requeridas. Como veremos a continuación, hay diferencias de alineación que causan estas pérdidas.

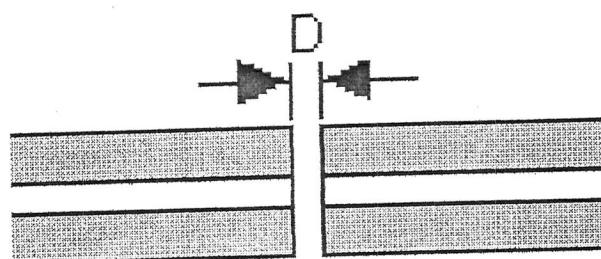
Las cuatro causas principales que producen las pérdidas en los conectores y empalmes son las siguientes:

- A- Desplazamiento lateral
- B- Separación de las puntas
- C- Desalineamiento angular
- D- Rugosidad de la terminación

### *A- Desplazamiento lateral*

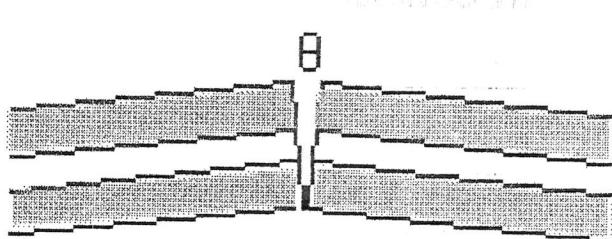


### *B- Separación de las puntas*



# FIBRAS ÓPTICAS

## C- Desalineamiento angular



## 23. MEDICIONES

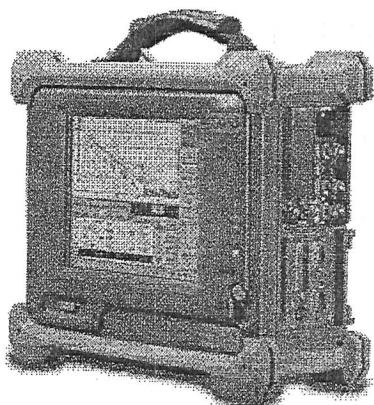
### OTDR (Optical Time Domain Reflectometer)

Un OTDR es un reflectómetro óptico en el dominio tiempo. Es un instrumento de medición que envía pulsos de luz, a la  $\lambda$  deseada (ejemplo 3ra ventana: 1550 nm), 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.

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".



# FIBRAS ÓPTICAS

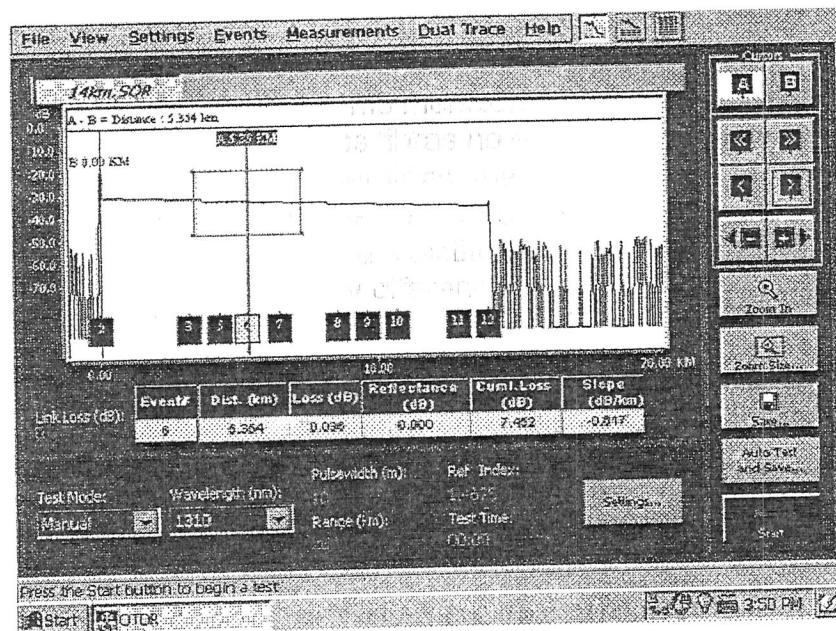
## Parámetros de medición:

- Índice de refracción
- Ancho de pulso
- Rango de medición en Km
- $\lambda$  (longitud de onda)
- Cantidad de muestras
- Monomodo, multimodo, etc.

## Mediciones de:

- Atenuación entre 2 puntos
- Pérdida en empalme
- Pérdida de retorno
- Atenuación por tramo

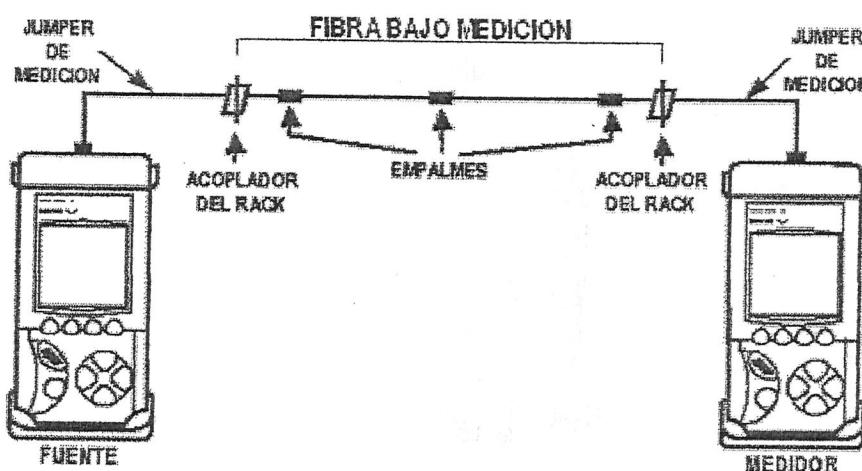
Distancias a empalmes, cortes, tramos, etc



# FIBRAS ÓPTICAS

## Medición de Atenuación Total de un Tramo (Medición de Potencia)

Para medir la atenuación total de un enlace de fibra, se utilizan una fuente de luz y un medidor, que se conectarán en ambos extremos de la fibra a medir.



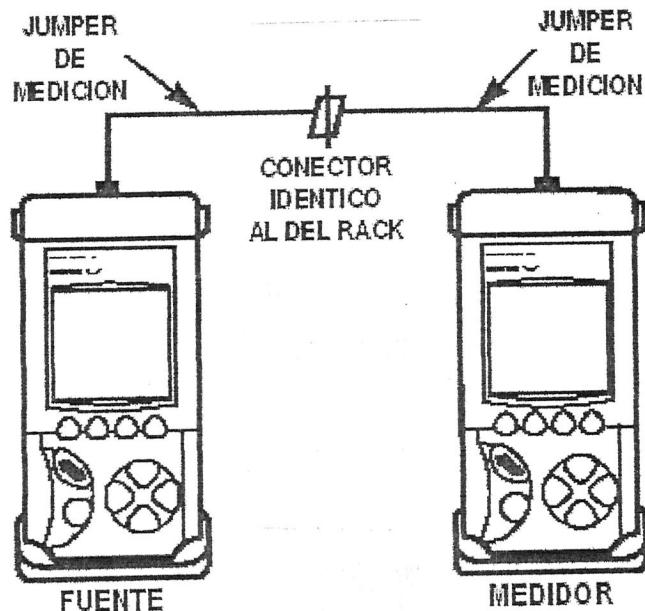
### Cuáles conectores se incluyen y cuáles no?

Cuando necesitamos medir la atenuación total de un tramo o pérdida de potencia, debemos excluir las atenuaciones producidas por los jumpers usados en la medición. Para esto, antes de realizarla, debemos conectar la fuente de luz al medidor de potencia con los mismos jumpers y adaptadores que usaremos luego, y seguir estos pasos:

- Encendemos ambos equipos
- Los ajustamos a CW (continuous wave-onda continua no pulsante)
- Elejimos la ventana deseada
- Presionamos ahora en el medidor el botón ABS>REF para almacenar el nuevo valor de referencia

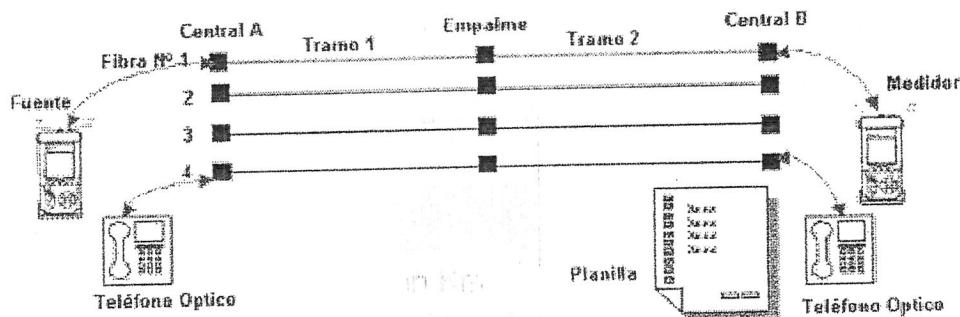
Entonces, al desconectar los jumpers entre sí y conectarlos a la fibra bajo prueba obtendremos el valor de atenuación de la fibra.

# FIBRAS ÓPTICAS



Los conectores conectados a la salida de la fuente y a la entrada del medidor no deben desconectarse hasta no terminar todas las mediciones pues la atenuación producida por un conector varía cada vez que se vuelve a conectar.

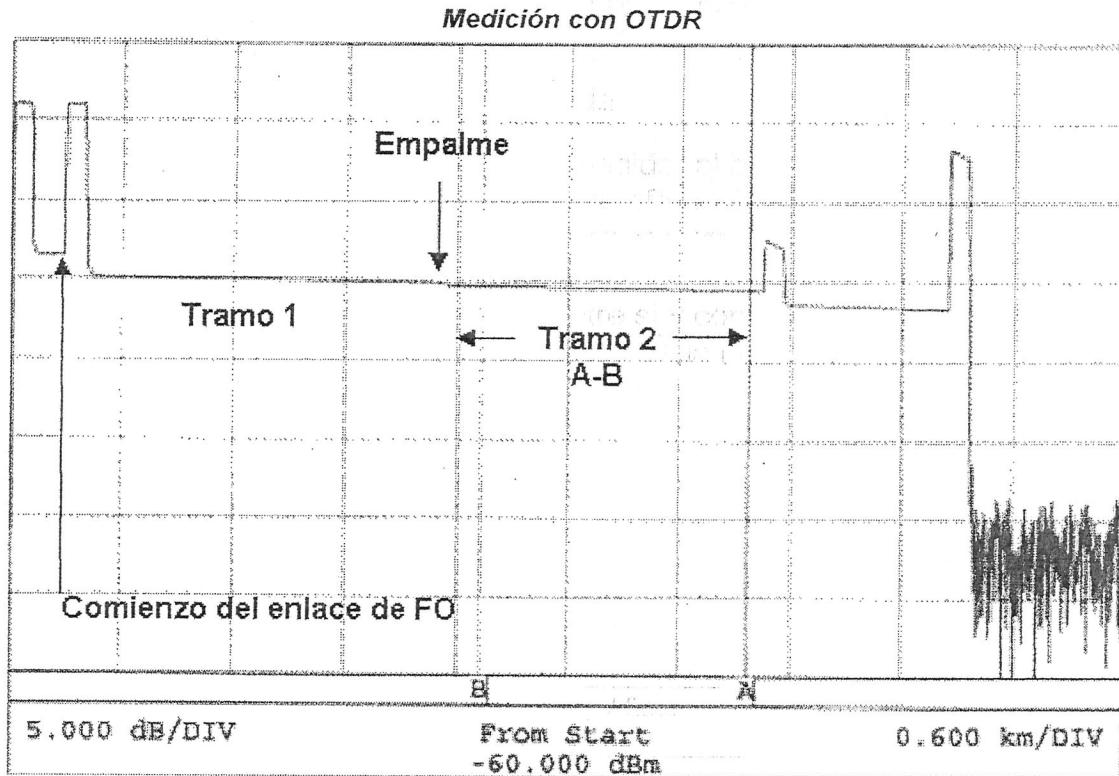
Para el caso de que un equipo posea los dos módulos en él, debe conectarse el jumper de medición entre su módulo emisor y su módulo medidor, establecer la atenuación producida por este jumper para descontarla de la medición final, o, si el equipo lo permite, ajustar la referencia. Paralelamente en el otro extremo de la fibra otro operador hará lo mismo con otro equipo. La ventaja de este método es que no es necesario que fuente y medidor deban encontrarse en el mismo lugar antes de medir.



## Atenuación por Tramo

Es debida a las características de fabricación propia de cada fibra (naturaleza del vidrio, impurezas, etc.) y se mide en **dB/Km**, lo cual nos indica cuántos dB se perderán en un kilómetro.

# FIBRAS ÓPTICAS



Parámetros de medición:	Span (rango) = 0 a 6 km Promedios = 15 Cursor A = 3.976 km Cursor B = 2.529 km	Resultado de la medición: A-B = 1.447 km LSA Attn = 0.185 dB/km
$\lambda = 1556 \text{ nm}$ Índice = 1.465 Ancho de pulso = 1000 ns		

## Atenuación por Empalme

Cuando empalmamos una fibra con otra, en la unión se produce una variación del índice de refracción lo cual genera reflexiones y refracciones, y sumándose la presencia de impurezas, todo esto resulta en una atenuación.

Se mide en ambos sentidos tomándose el promedio. La medición en uno de los sentidos puede dar un valor negativo, lo cual parecería indicar una amplificación de potencia, lo cual no es posible en un empalme, pero el promedio debe ser positivo, para resultar una atenuación.

## Pérdidas

- Por inserción:** es la atenuación que agrega a un enlace la presencia de un conector o un empalme.
- De retorno o reflectancia:** es la pérdida debida a la energía reflejada, se mide como la diferencia entre el nivel de señal reflejada y la señal incidente, es un valor negativo y debe ser menor a -30 dB (típico -40dB). En ocasiones se indica obviando el signo menos.

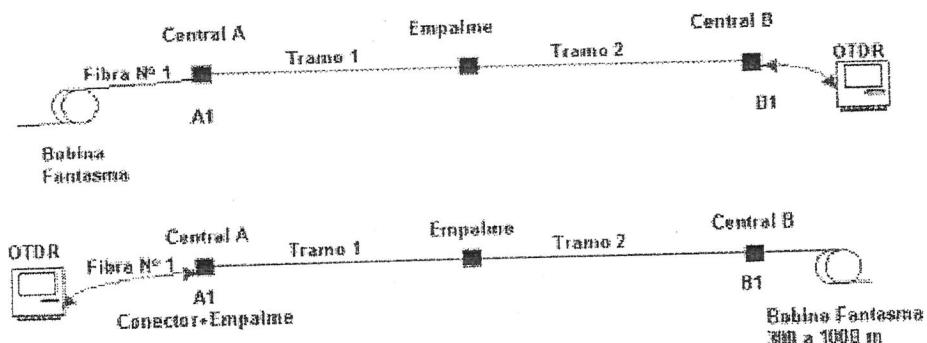
# FIBRAS ÓPTICAS

Ejemplo para un conector:

Insertion loss	< .2 dB typ < .3 dB max
Return loss PC	< -30dB
Return loss Super PC	< - 40dB
Return loss Ultra PC	< -50dB

### *Empalmes promediados*

El resultado real de la medición de un empalme se obtiene midiéndolo desde un extremo, luego, en otro momento se medirá desde el otro, y finalmente se tomará como atenuación del empalme el promedio de ambas (suma sobre 2)



La planilla sería, por ejemplo (para  $\lambda=1550\text{nm}$ ):

Fibra N°	A			E			B		
	A→B [dB]	B→A [dB]	Atenuación [dB]	A→B [dB]	B→A [dB]	Atenuación [dB]	A→B [dB]	B→A [dB]	Atenuación [dB]
1	0.30	0.30	0.30	0.01	0.03	0.02	0.30	0.40	0.35
2	0.15	0.35	0.25	-0.10	0.10	0.00	0.20	0.10	0.15
3	0.20	0.30	0.25	-0.03	0.05	0.01	0.30	0.00	0.15
4	0.10	0.40	0.25	0.03	0.01	0.02	0.05	0.35	0.20

### *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.

Entonces, para realizar empalmes atenuados una empalmadora puede desalinear los núcleos o darle un ligero ángulo a una de las dos fibras.

# FIBRAS ÓPTICAS

## Niveles de potencia óptica para sistemas de comunicaciones

Tipo de red	$\lambda$ [nm]	Rango de potencia [dBm]	Rango de potencia [W]
Telecomunicaciones	1300, 1550	+3 to -45 dBm	50 nW to 2mW
Datos	665, 790, 850, 1300	-10 to -30 dBm	1 to 100 $\mu$ W
CATV	1300, 1550	+10 to -6 dBm	250 $\mu$ W to 10mW

## 24. VENTANAS y LASERs

La transmisión de información a través de fibras ópticas se realiza mediante la modulación (variación) de un haz de luz invisible al ojo humano, que en el espectro ("color" de la luz) se sitúa por debajo del infra-rojo.

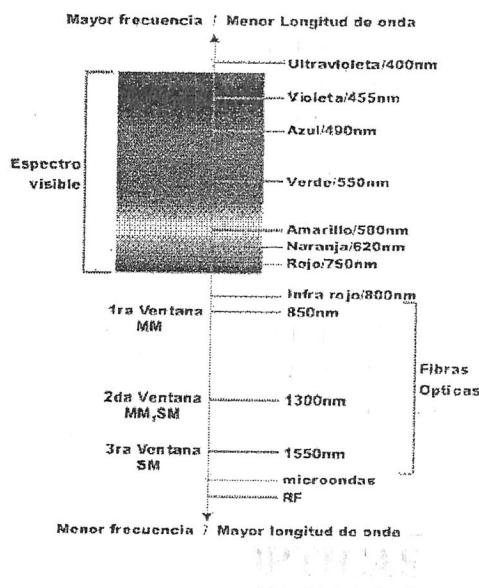
Si bien es invisible al ojo humano, hay que evitar mirar directamente y de frente una fibra a la cual se le esté inyectando luz, puesto que puede dañar gravemente la visión.

Las fibras ópticas presentan una menor atenuación (pérdida) en ciertas porciones del espectro lumínico, las cuales se denominan ventanas y corresponden a las siguientes longitudes de onda ( $\lambda$ ), expresadas en nanómetros:

Primera ventana 800 a 900 nm  $\lambda$  utilizada = 850nm

Segunda ventana 1250 a 1350 nm  $\lambda$  utilizada = 1310nm

Tercera ventana 1500 a 1600 nm  $\lambda$  utilizada = 1550nm



# FIBRAS ÓPTICAS

## LASER

Para poder transmitir en una de estas ventanas es necesaria una fuente de luz "coherente", es decir de una única frecuencia (o longitud de onda), la cual se consigue con un componente electrónico denominado LD ó diodo LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Este componente es afectado por las variaciones de temperatura por lo que deben tener un circuito de realimentación para su control.

También pueden usarse diodos LED.

## Detectores ópticos

Como receptores ópticos se utilizan fotodiodos APD o diodos pin (PIN-PD) que poseen alta sensibilidad y bajo tiempo de respuesta.

El APD también requiere de un ajuste automático ante variaciones de temperatura.

## Ventajas de las F.O.

- Diámetro y peso reducidos lo que facilita su instalación
- Excelente flexibilidad
- Inmunidad a los ruidos eléctricos (interferencias)
- No existe diafonía (no hay inducción entre una fibra y otra)
- Bajas pérdidas, lo cual permite reducir la cantidad de estaciones repetidoras
- Gran ancho de banda que implica una elevada capacidad de transmisión
- Estabilidad frente a variaciones de temperatura
- Al no conducir electricidad no existe riesgo de incendios por arcos eléctricos
- No puede captarse información desde el exterior de la fibra
- El Dióxido de Silicio, materia prima para la fabricación de F.O., es uno de los recursos más abundantes del planeta.

## Desventajas

- Para obtener, desde la arena de cuarzo, el Dióxido de silicio purificado es necesaria mayor cantidad de energía que para los cables metálicos.
- Las F.O. son muy delicadas lo cual requiere un tratamiento especial durante el tendido de cables.
- Corta vida de los emisores lasers.

