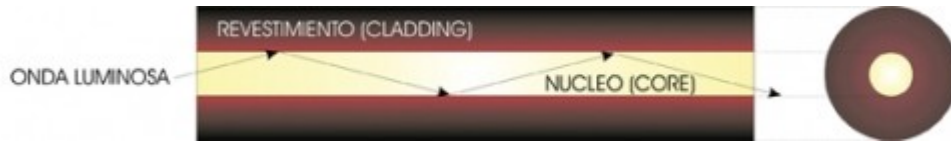


FIBRAS OPTICAS

Las fibras ópticas son conductos, rígidos o flexibles, de plástico o de vidrio (sílice), que son capaces de conducir un haz de luz inyectado en uno de sus extremos, mediante sucesivas reflexiones que lo mantienen dentro de sí para salir por el otro. Es decir, es una guía de onda y en este caso la onda es de luz.



Las aplicaciones son muy diversas llegando desde la transmisión de datos hasta la conducción de la luz solar hacia el interior de edificios, o hacia donde pudiera ser peligroso utilizar la iluminación convencional por presencia de gases explosivos. También es utilizada en medicina para transmitir imágenes desde dentro del cuerpo humano.

Transmisión por Fibras Ópticas

La transmisión por FO consiste en convertir una señal eléctrica en una óptica, que puede estar formada por pulsos de luz (digital) o por un haz de luz modulado (analógica). La señal saliente del transmisor, se propaga por la fibra hasta llegar al receptor, en el cual se convierte la señal nuevamente a eléctrica.



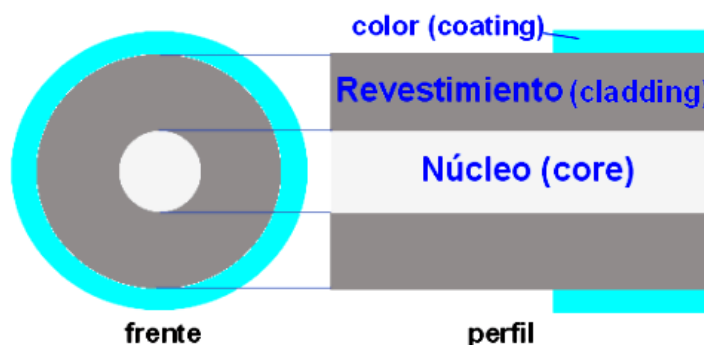
Tipos de fibras ópticas

El cable de fibra óptica se constituye principalmente de un núcleo rodeado de un revestimiento. La diferencia entre sus índices de refracción (indicados con  $n$ ) es lo que hace que el haz de luz se mantenga dentro del núcleo (siempre que el haz haya entrado con el ángulo apropiado y el  $n$  del núcleo sea mayor que el del revestimiento).

Entonces habrá cables con:

- núcleo y revestimiento de plástico
- núcleo de vidrio y revestimiento de plástico (PCS=plastic clad silica)
- núcleo y revestimiento de vidrio (SCS=silica clad silica)

Los conductores de fibra óptica comúnmente utilizados en transmisión de datos son de un grosor comparable a un cabello, variando el núcleo entre los 8 y los 100  $\mu\text{m}$  (micrones), y el revestimiento entre 125 y 140  $\mu\text{m}$ .

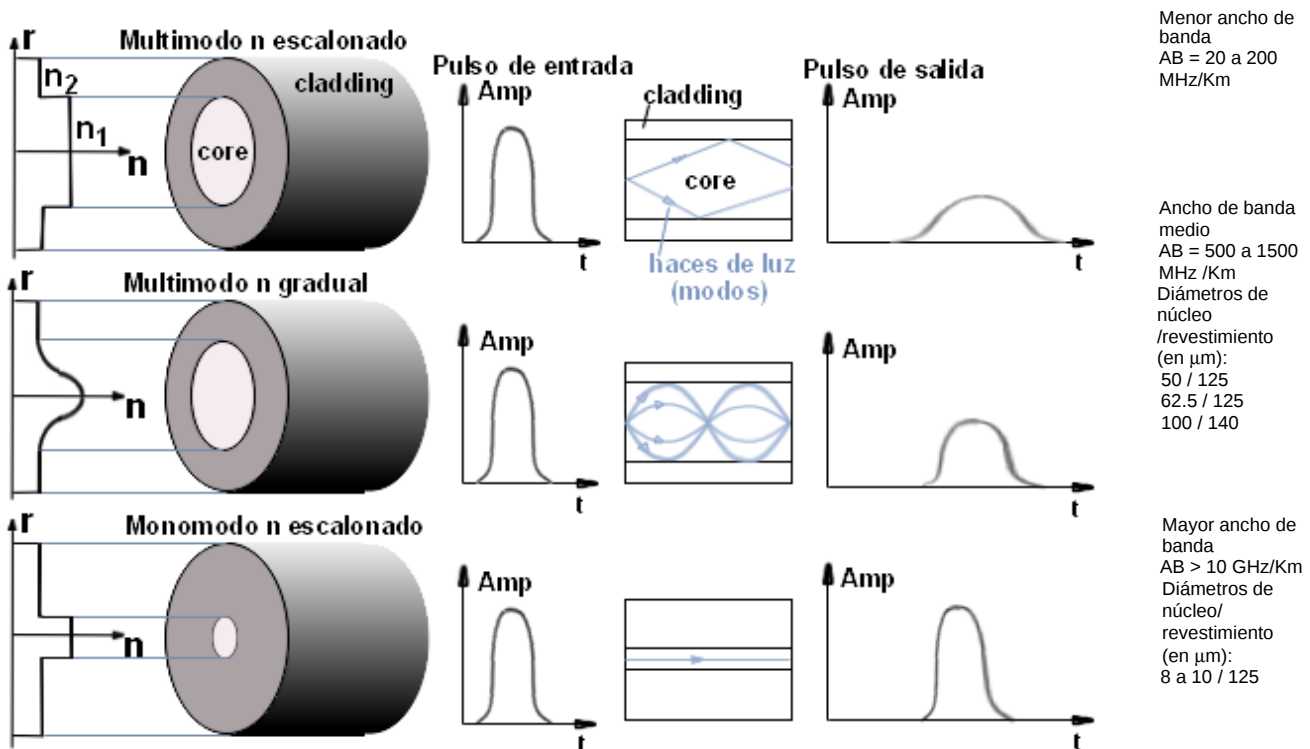


Existe otra clasificación, según la variación del índice de refracción dentro del núcleo, y según la cantidad de MODOS (haces de luz) :

- Multimodo de índice escalonado [Multimode step index] **MM**
- Multimodo de índice gradual [Multimode graded index] **MM**
- Monomodo (índice escalonado) [Single Mode step index] **SM**



**Nota:** La cantidad de modos no es infinita y se puede calcular en base al radio del núcleo, la longitud de onda de la luz que se propaga por la fibra y la diferencia de índices de refracción entre núcleo y revestimiento.



Como se puede observar en la gráfica del centro de la figura anterior, en el núcleo de una fibra multimodo de índice gradual el índice de refracción es máximo en el centro y va disminuyendo radialmente hacia afuera hasta llegar a igualarse al índice del revestimiento justo donde éste comienza. Por esto es que los modos (haces) se van curvando como lo muestra el dibujo.

Dado que la velocidad de propagación de un haz de luz depende del índice de refracción, sucederá entonces que los modos al alejarse del centro de la fibra por un lado viajarán más rápido y por otro, al curvarse, recorrerán menor distancia, resultando todo esto en un mejoramiento del ancho de banda respecto a la de índice escalonado.

Una fibra monomodo es una fibra óptica en la que sólo se propaga un modo de luz. Se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño (8,3 a 10 micrones) que sólo permite un modo de propagación. Su transmisión es paralela al eje de la fibra. A diferencia de las fibras multimodo, las fibras

monomodo permiten alcanzar grandes distancias (hasta 300 km máximo, mediante un láser de alta intensidad) y transmitir elevadas tasas de información (decenas de Gb/s).

Teniendo en cuenta que la señal óptica viaja por el núcleo de la fibra, parece lógico pensar que se necesitará menos precisión para soldar dos fibras con un núcleo de 62,5µm (multimodo) que para soldar otras con un núcleo de tan solo 9µm (monomodo).

Adicionalmente, los conductores ópticos tienen un revestimiento de color que sigue un código de identificación o numeración, el cual varía según el fabricante/norma.

### Cables de Fibra Óptica

A la FO desnuda (núcleo+revestimiento+color) se le agregan protecciones adicionales contra esfuerzos de tracción, aplastamiento y humedad. El revestimiento primario que le da el color a cada fibra (coating) sirve además como una primera protección

#### Protecciones adicionales de cables para ductos y aéreos

##### # Protección secundaria:

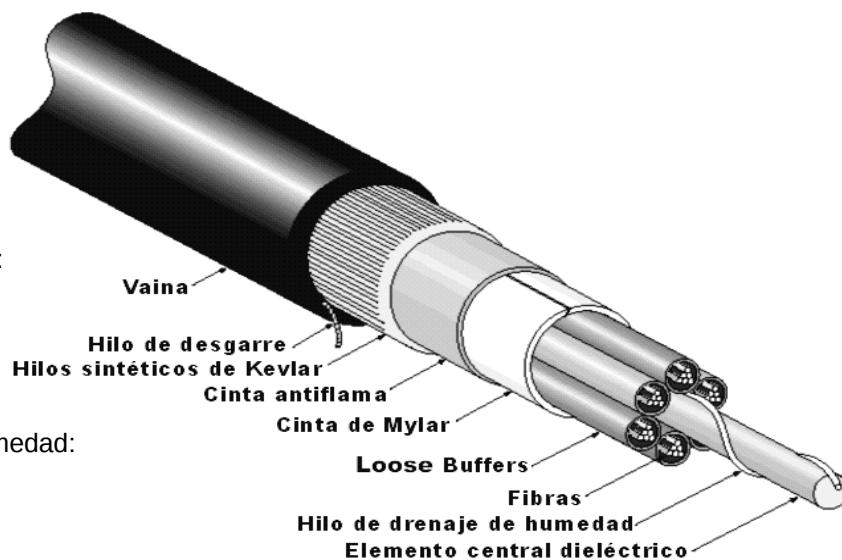
Tipo adherente o apretada (TIGHT BUFFER) (ej. pigtailed, patchcords)  
 Tipo suelta (LOOSE BUFFER) (ej. fibras plantel exterior)

##### # Elemento de tracción:

Alambre de acero  
 Hilado sintético Kevlar o de Aramida  
 Fibras de vidrio

# Protección mecánica (aplastamiento)  
 antífama, antirayosUV y contra humedad:  
 Vaina externa tipo PALP  
 (Polietileno-Aluminio-Polietileno)

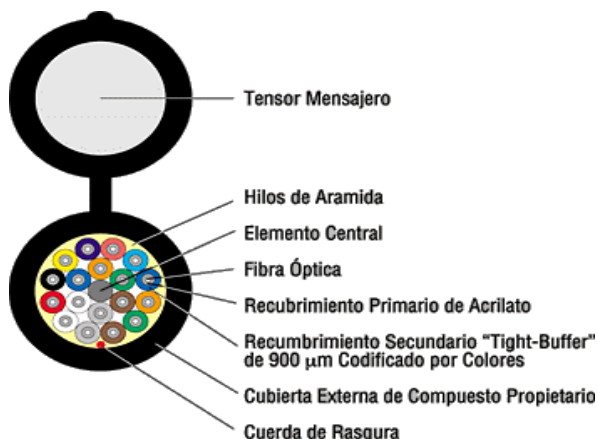
- \* Relleno que impida la penetración de humedad:  
 gel siliconado (silica gel)
- \* Cinta antífama
- \* Empaquetado del conjunto: Envoltura  
 en mylar (parecido al celuloide)



**Cable para ducto a aéreo (marca SIECOR)**

### Cables aéreos autoportados

Poseen un cable de acero o mensajero para el tendido aéreo entre postes o columnas.



## Códigos de colores para identificación numérica

Para identificar cada fibra y cada grupo de fibras contenidas en los tubos buffer se utilizan diversos códigos de colores que varían de un fabricante a otro:

**Tabla de numeración de cables de 144 Fibras Ópticas -Código de Colores Estándares TIA-598-A**

Buffer	Fibra											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97
97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133
133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	

### Cables fabricados por PIRELLI - ALCATEL

**Tabla de numeración de 32 Fibras Ópticas -Código de Colores Estándares TIA-598-A**

Buffer	Fibra					
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
13	14	15	16	17	18	19
19	20	21	22	23	24	25
25	26	27	28	29	30	31
31	31	33	34	35	36	

### Tabla de numeración de 64 FO - código Siecor

Buffer	Fibra							
	1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16	17
17	18	19	20	21	22	23	24	25
25	26	27	28	29	30	31	32	33
33	34	35	36	37	38	39	40	41
41	42	43	44	45	46	47	48	49
49	50	51	52	53	54	55	56	57
57	58	59	60	61	62	63	64	

### Cables fabricados por SIECOR (Siemens/Corning Glasses):

### Cables de interconexión e interiores

Poseen un recubrimiento secundario del tipo apretado (tight buffer) en lugar del tubo. El color exterior nos indica el tipo de fibra utilizado.



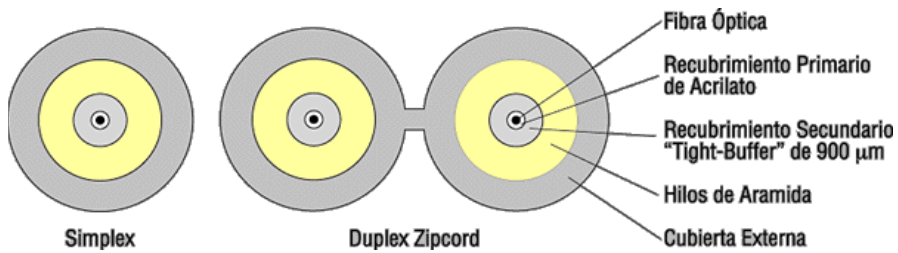
Fibra Óptica Monomodo

Simplex 9 / 125  $\mu\text{m}$



Fibra Óptica Multimodo

Simplex 62.5 / 125  $\mu\text{m}$



### 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.



Simplex Pach Cord o Jumper



Pigtail

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



Conector ST



Conector FC



Conector SC



Poseen una tapita para proteger la fibra de rayones y suciedad, con un gatillo para abrirla.



Euro 2000 Simplex



Euro 2000 Doble

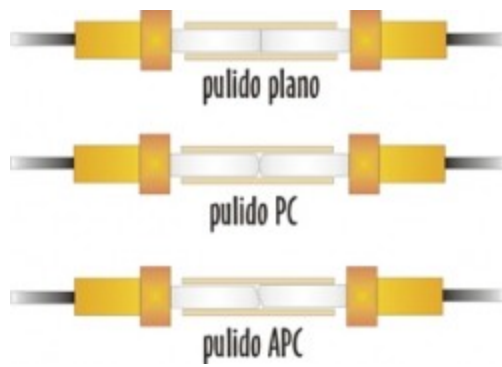


DIN



LC

Siguiendo a estos nombres vendrán siglas que indicarán alguna característica en particular. Cualquiera de estos conectores puede venir en las opciones de pulido PC ó APC (angular para video), en MM o SM, simples o dobles (una o dos fibras por conector), PM (polarisation maintaining), etc.



Tipos de pulidos de Conectores

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, como el **Alberino de Diamond**











### 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.

### Adaptadores Híbridos

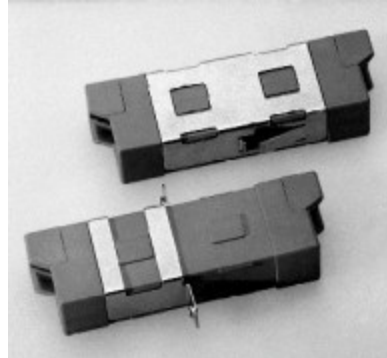
	DIN	DIN a E2000 PC	
	FC MPC	E2000 a FC / PC	
	SMA	E2000 a SC / PC	
	ST	E2000 a ST / PC	



ST a SC



EURO 2000

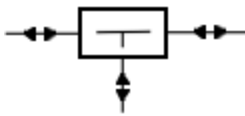


LSH y LSH-HRL

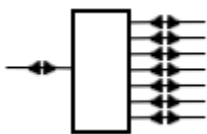
### Acopladores distribuidores por fusión o Fusion Couplers o Splitters

Permiten la derivación de la señal óptica por dos o más fibras distintas

Se pueden clasificar en: Distribuidores en serie: son acopladores en "T"



Distribuidores en estrella:



Cada salida puede tener un determinado valor de atenuación de la luz, expresada en dB.

También se clasifican en:

#### **Estandar** (Standard couplers)

(SSC = Standard Singlemode Couplers) para una longitud de onda con desviaciones mínimas, por ej.: 1310 +/- 5nm.

#### **De una ventana** (Single window couplers)

(WFC = Wavelength Flattened Couplers) para un rango de longitudes de onda, por ej.: 1310 +/- 40nm.

#### **De dos ventanas** (Dual window couplers)

(WIC = Wavelength Independent Couplers) para dos rangos de longitudes de onda, por ej.: 1310 +/- 40 y 1550 +/- 40nm.

#### **Multiplexores de longitud de onda** (Wavelength multiplexers)

(WDM = Wavelength Division Multiplexers) para dos longitudes de onda separadas, por ej.: 1310 y 1550 nm.



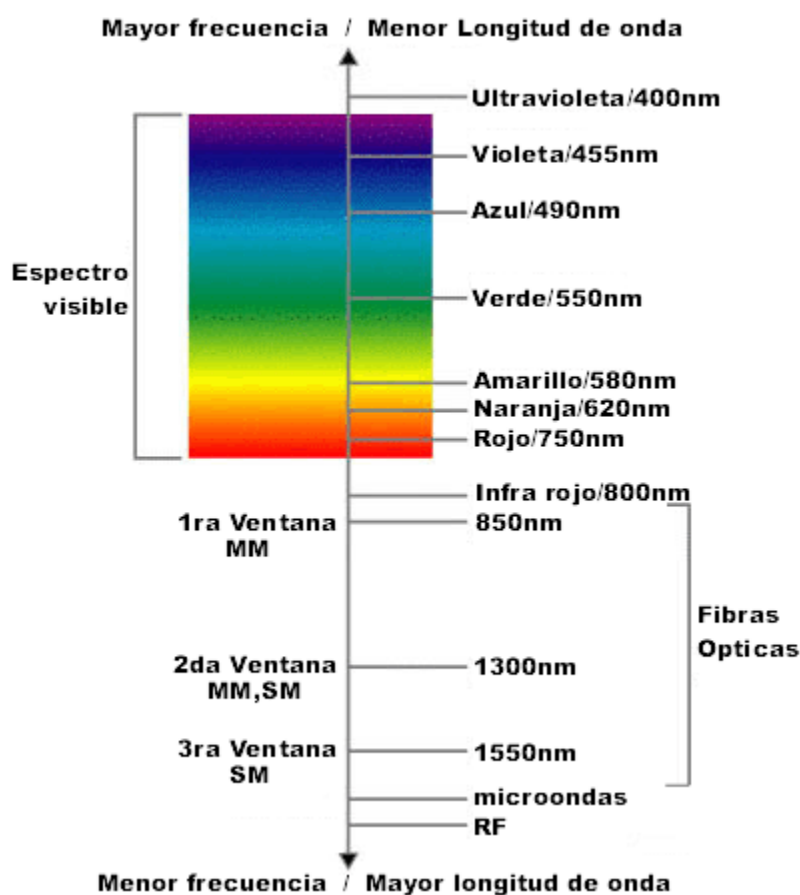
## Ventanas y LASERs

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



## 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 Estimulated 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 de avalancha (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

## INDICE DE REFRACCIÓN

Cuando un haz de luz que se propaga por un medio ingresa a otro distinto, una parte del haz se refleja mientras que la otra sufre una refracción, que consiste en el cambio de dirección del haz. Para esto se utiliza el llamado índice de refracción del material, que nos servirá para calcular la diferencia entre el ángulo de incidencia y el de refracción del haz (antes y después de ingresar al nuevo material).

El efecto de la refracción se puede observar fácilmente introduciendo una varilla en agua. Se puede ver que parece quebrarse bajo la superficie. En realidad lo que sucede es que la luz reflejada por la varilla (su imagen) cambia de dirección al salir del agua, debido a la diferencia de índices de refracción entre el agua y el aire.

Se utiliza la letra **n** para representar el índice de refracción del material, y se calcula por la siguiente fórmula:

$$n = c_0 / v$$

$n$  : índice de refracción del medio en cuestión  
 $c_0$  : velocidad de la luz en el vacío ( $3 \times 10^8$  m/s)  
 $v$  : velocidad de la luz en el medio en cuestión

Es decir que es la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y en el medio.

Dado que la velocidad de la luz en cualquier medio es siempre menor que en el vacío, el índice de refracción será un número siempre mayor que 1.

En el vacío:  $n = 1$

En otro medio:  $n > 1$

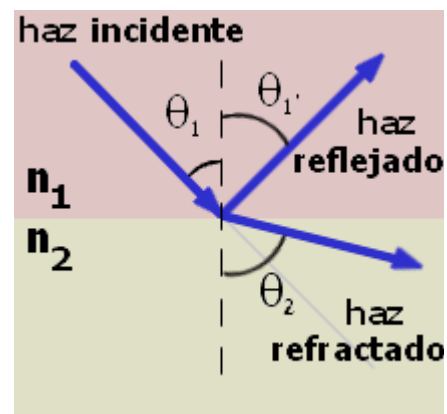
## Ley de refracción (Ley de Snell)

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2$$

$\theta_1$ : ángulo entre el haz incidente y la normal (perpendicular) a la superficie

$\theta_2$ : ángulo entre el haz refractado y la normal a la superficie

El ángulo de incidencia  $\theta_1$  es igual al ángulo de reflexión  $\theta_1$ .



## Reflexión total interna

Para que todos los haces de luz se mantengan dentro del núcleo debe darse la reflexión total interna, y esta depende de los índices de refracción y del ángulo de incidencia:

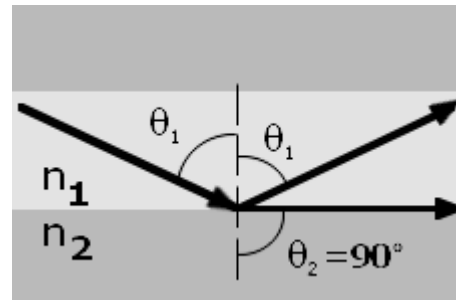
Ejemplo:

$$n_1 = 1.5 \quad n_2 = 1.3$$

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

$$1.5 \cdot \text{sen } \theta_1 = 1.3 \cdot \text{sen } 90^\circ \quad (\text{sen } 90^\circ = 1)$$

$$\text{sen } \theta_1 = 1.3 / 1.5 \Rightarrow \theta_1 \geq 60^\circ$$



Entonces, para que todo el caudal de luz se propague dentro de la fibra, en el ejemplo el ángulo de incidencia debe ser mayor o igual a 60°.

Nota: Una fibra necesariamente debe tener revestimiento (cladding), puesto que si no lo tuviera, a pesar de seguir cumpliéndose que el índice del núcleo es mayor que el del revestimiento que sería el vacío, ante cualquier suciedad o cuerpo que se adhiriera a la fibra, en dicho punto ya no se cumpliría esa condición y se produciría una pérdida por refracción hacia afuera.

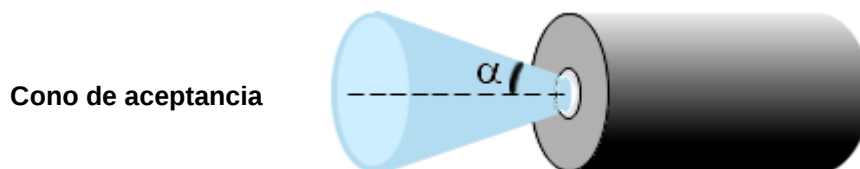
### Apertura numérica

Es un indicador del ángulo máximo con que un haz de luz puede ingresar a la fibra para que se produzca la reflexión total interna:

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

$$AN = \text{sen } \alpha$$

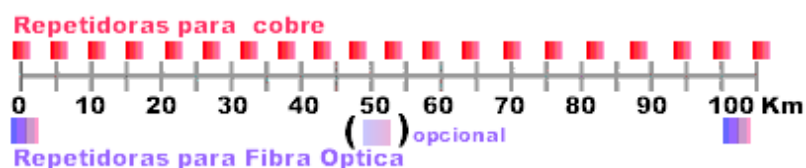
siendo el medio externo aire o vacío, entonces, a mayor AN, mayor es el ángulo de aceptación.



### Cables de Cobre vs. F.O.

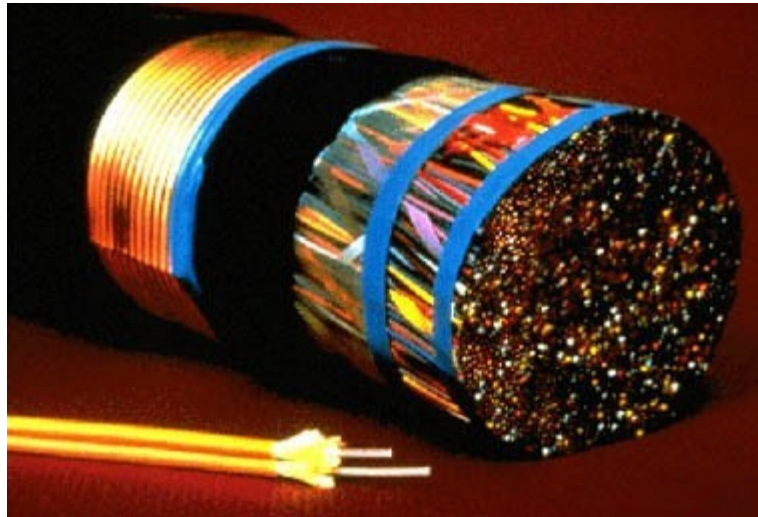
Según el método de transmisión de datos, un par F.O. pueden transmitir la misma cantidad de información que 2200 pares telefónicos

Atenuaciones típicas:



Coaxil: 40 a 80dB/Km , a 1GHz, a 20 °C

Fibra: 0.20 dB/Km , a 1550 nm



Con F.O. puedo ampliar considerablemente la capacidad de transmisión, sin necesidad de tender nuevos ductos.

Existen bobinas de F.O. de hasta 12Km, siendo las **más comunes** las de **4Km**, lo cual implica menor cantidad de empalmes.

#### **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.

# Empalmes

Debido a que una bobina de cable de fibra óptica no llega a superar los 4Km de longitud, mientras que la distancia entre dos repetidoras o centrales puede ser de 30 o 40 Km, deben realizarse empalmes entre los tramos, y entre cada final y los conectores.

## Empalmes manuales o mecánicos

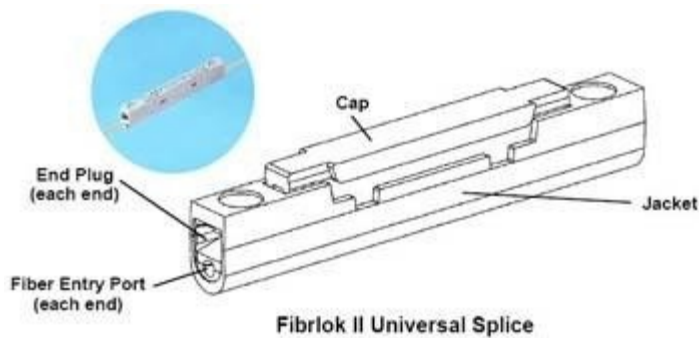
Son empalmes rápidos, permanentes o temporarios, que pueden usarse, por ejemplo, para probar bobinas. Producen atenuaciones altas, del orden de 0.1 a 1dB. Vienen rellenos con gel para mejorar la continuidad de la luz.



Siemon Ultrasplice



Siecor Camsplice



Fibrlok II Universal Splice

3M fibrlok splice



Empalme económico



AMP Corelink

## Empalmes Mecánicos

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

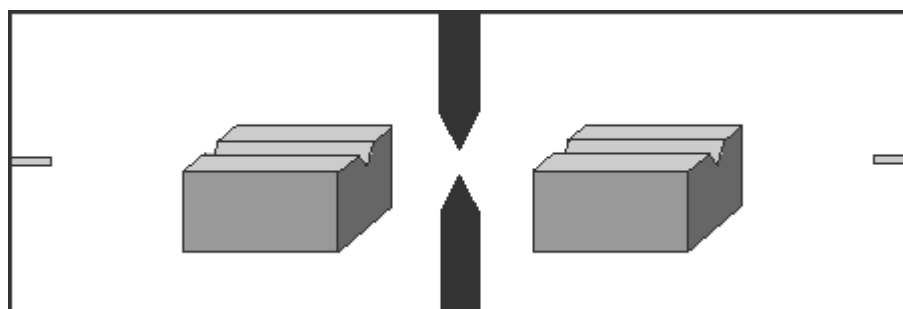
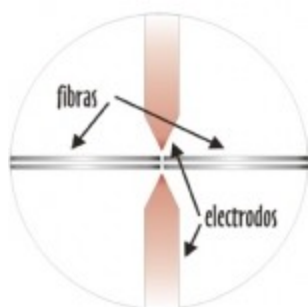


A las fibras se les retira unos 3 cm del coating (color), se limpian con alcohol isopropílico, y luego se les practica un corte perfectamente recto a unos 5 o 6 mm, con un cortador (cutter o cleaver) especial, con filo de diamante.

### 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.

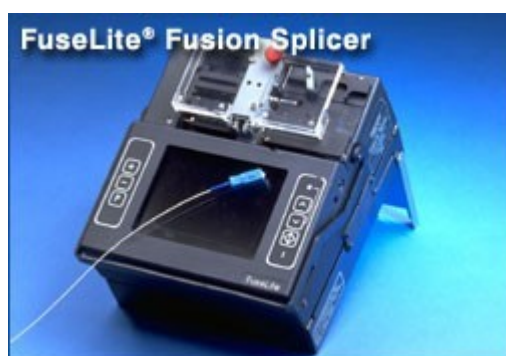
Llegan a producir atenuaciones casi imperceptibles (0.01 a 0.10 dB)



### Empalmadoras:



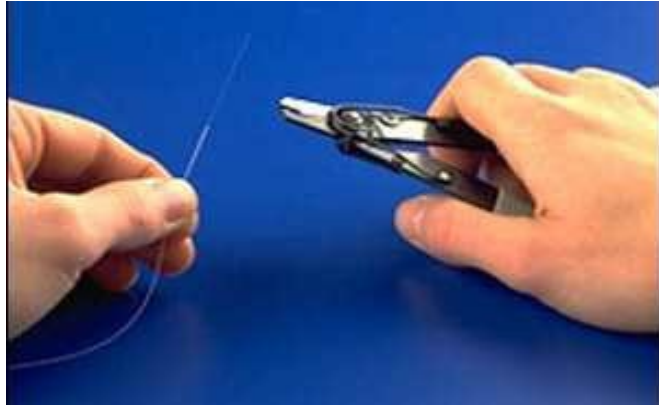
FUJIKURA FSM 40S



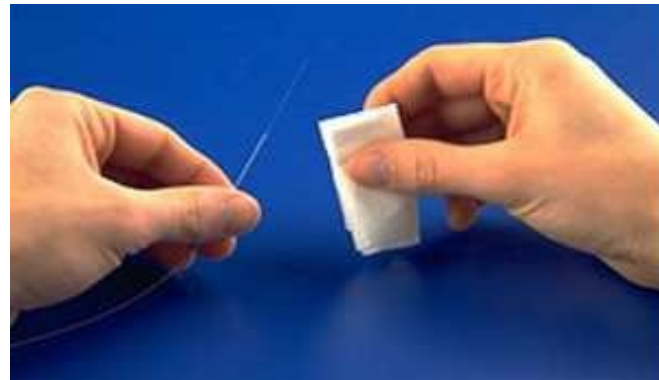
RXS de SIECOR

## Procedimiento

Con una pinza especial (125 $\mu$ ) se pela (strip) unos 5cm de coating (color)

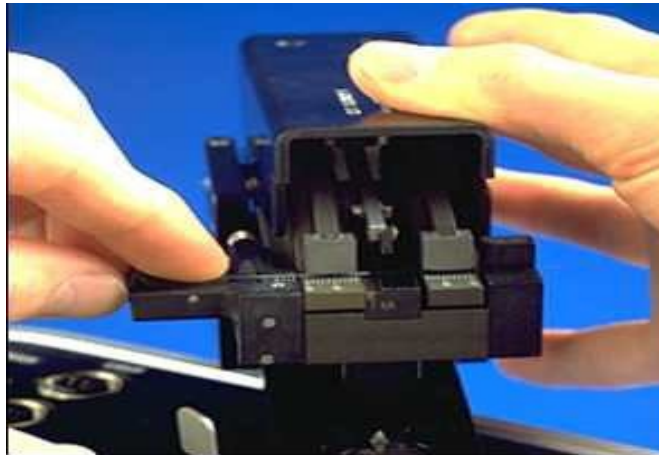


Se limpia (clean) la fibra con un papel suave embebido en alcohol isopropílico

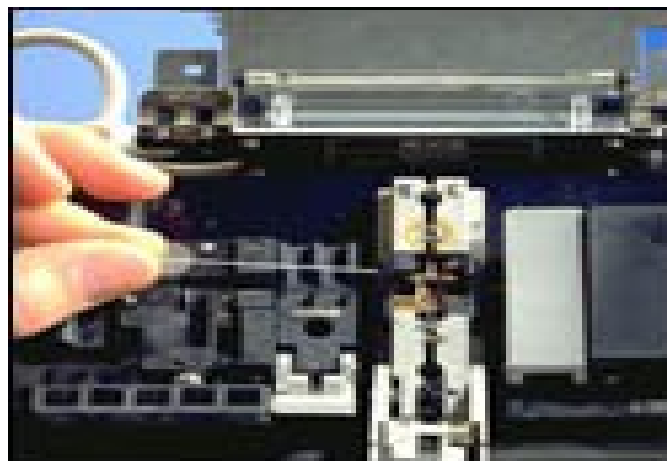


Se corta (cleave) la fibra a unos 8 a 16mm con un cutter o cleaver, con hoja de diamante, apoyando la fibra dentro del canal, haciendo coincidir el fin del coating con la división correspondiente a la medida.

Una vez cortada, la fibra no se vuelve a limpiar ni tocar.



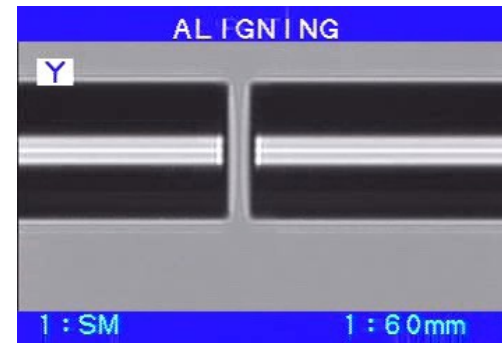
Cuidando que la fibra no contacte con nada, se introduce en la zapata de la empalmadora, sobre las marcas indicadas.



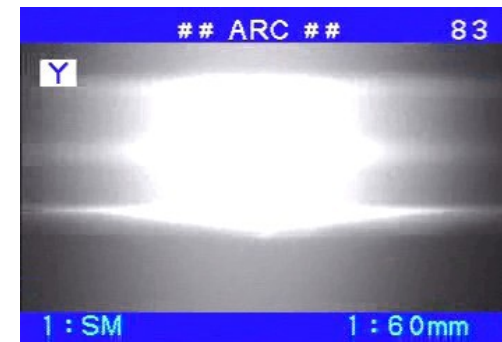
En el display se verán las dos puntas, pudiéndose observar si el ángulo es perfectamente recto, sino fuera así la máquina no nos permitiría empalmar.



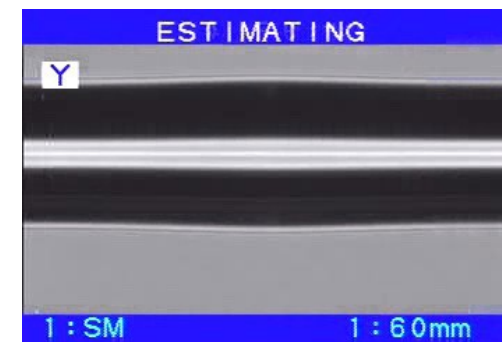
Presionando el botón de empalme, estando la empalmadora ajustada en automático, la misma procederá a alinear en los ejes x e y, y a acercar las puntas a la distancia adecuada.



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.



Repetir el procedimiento con la otra fibra.





## 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 termo contraíbles (sleeves) los cuales poseen un nervio metálico.



Estos, a su vez, se colocan en un cassette, dentro de una caja de empalme o de un rack distribuidor.

## Cajas de empalme

Los empalmes exteriores se protegen dentro de una caja de empalme, la cual posee en un extremo unos tubos cerrados que se cortarán en su extremo por donde deba pasar un cable, para luego sellarse con termo contraíbles. La caja posee una tapa o domo que se cierra sobre la base con una abrazadera sobre un o-ring.

Sobre el domo se encuentra la válvula de presurización



Caja de empalme RXS

En la base se encuentran las borneras para sujetar los elementos de tracción de los cables y la puesta a tierra que también asoma al exterior de la caja.

También están los cassettes o bandejas donde se sitúan la reserva de FO desnuda y los empalmes. Del otro lado de las bandejas hay espacio para situar la reserva (ganancia) de buffers aunque puede existir una bandeja para tal fin.

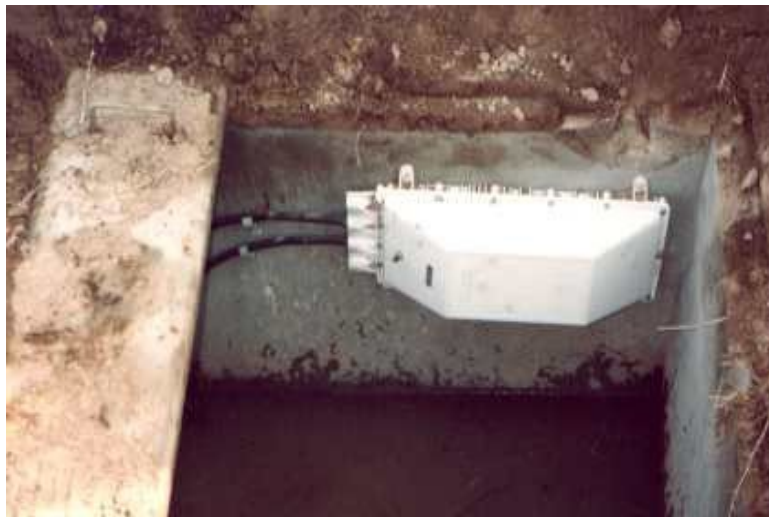
Aquí se pueden ver los cassettes donde se enrolla la reserva de FO desnuda, y donde se alojan los empalmes protegidos por los termo contraíbles.

Esta caja posee una tapa con tornillos y es presurizable.

## Caja amurada en Arqueta

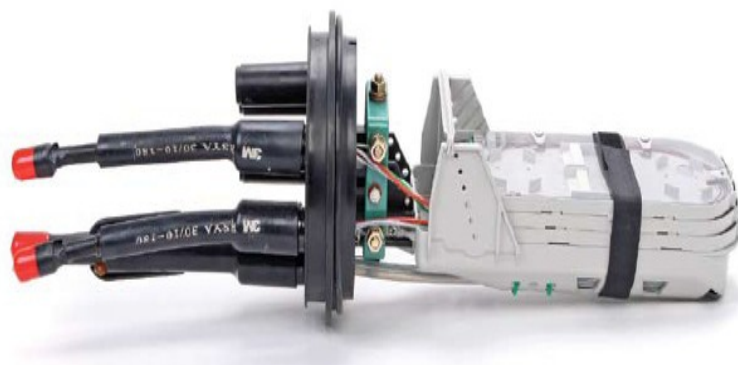


Una arqueta es una cámara de cemento pre armada, con cuatro tapas, diseñada para ser enterrada. Suelen medir unos dos metros de lado.



### Sellado de cables en ductos y en cajas de empalme

El ducto por donde sale el cable debe sellarse para evitar que a través de él pueda ingresar agua a la cámara o a la fibra. Esto se logra con el uso de termo contraíbles.



Algunas cajas de empalmes poseen sellos mecánicos (goma), que permiten prescindir de los termocontraíbles.



## MEDICIONES

### El dB (decibel)

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

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

$$N \text{ [dB]} = 10 \log \frac{P_s}{P_e}$$



Se puede usar para medir ganancia o atenuación (una ganancia negativa significa atenuación) Una ganancia de 3dB significa que la potencia de salida será el doble de la de entrada. Una atenuación de 3 dB (ganancia de -3dB) significa que la potencia de salida será la mitad de la de entrada, es decir, si se tratara de una fibra óptica, en esta se estaría perdiendo la mitad de la potencia óptica.

### El dBm (decibel miliwatt)

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 decir se toma como referencia (0 dBm) a 1 mw :

$$P(\text{dBm}) = 10 \text{ Log}_{10} P(\text{mW}) / 1 (\text{mW})$$

### El dBr (decibel relativo)

Es similar al dBm pero en vez de tomarse una potencia de referencia de 1 mw, se establece una potencia cualquiera de referencia.

En la medición de pérdida de potencia óptica en un tramo de FO, se conecta el emisor al medidor con los jumpers que se usarán en todas las mediciones, se establece la potencia medida (**dBm**) como la de referencia (**dBr**), se reajusta la lectura a cero, y ya se está en condiciones de medir atenuación del tramo en **dB**.

### Tabla de equivalencias

Potencia en watts		Potencia en dBm
1 pW	1pW	-90
10pW		-80
100pW		-70
1.000pW	=1 nW	-60
10.000pW		-50
100.000pW		-40
1.000.000pW	=1 μW	-30

10.000.000pW		-20
100.000.000pW		-10
1.000.000.000pW	=1 mW	0
10mW		+10
100mW		+20
1.000mW	=1 W	+30

En esta tabla puede apreciarse la imposibilidad de manejar un gráfico en watts, y la comodidad de manejar cifras en dB. (pW=picowatt , nW=nanowatt,  $\mu$ W=microwatt, mW=miliwatt)

## Atenuación en F.O.

Es la pérdida de potencia óptica en una fibra, y se mide en **dB** y **dB/Km**. Una pérdida del **50%** de la potencia de entrada equivale a **-3dB**. Las pérdidas pueden ser intrínsecas o extrínsecas.

**Intrínsecas:** dependen de la composición del vidrio, impurezas, etc., y no las podemos eliminar. Las ondas de luz en el vacío no sufren ninguna perturbación. Pero si se propagan por un medio no vacío, interactúan con la materia produciéndose un fenómeno de dispersión debida a dos factores:

Dispersión por absorción: la luz es absorbida por el material transformándose en calor.

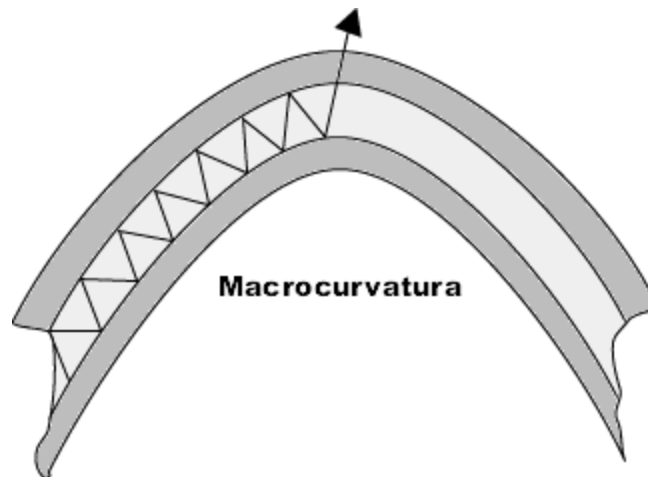
Dispersión por difusión: la energía se dispersa en todas las direcciones.

Esto significa que parte de la luz se irá perdiendo en el trayecto, y por lo tanto resultará estar atenuada al final de un tramo de fibra.

**Extrínsecas:** son debidas al mal cableado y empalme.

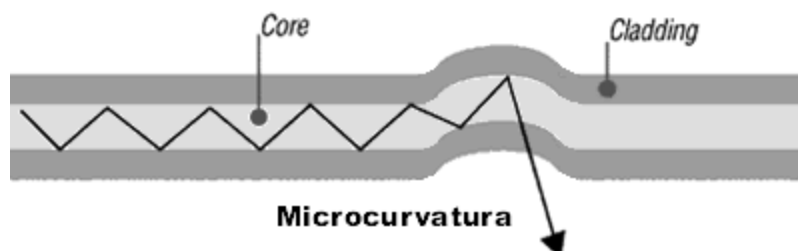
Las pérdidas por curvaturas se producen cuando le damos a la fibra una curvatura excesivamente pequeña (radio

menor a 4 o 5 cm) la cual hace que los haces de luz logren escapar del núcleo, por superar el ángulo máximo de incidencia admitido para la reflexión total interna.



También se dan cuando, al aumentar la temperatura y debido a la diferencia entre los coeficientes de dilatación

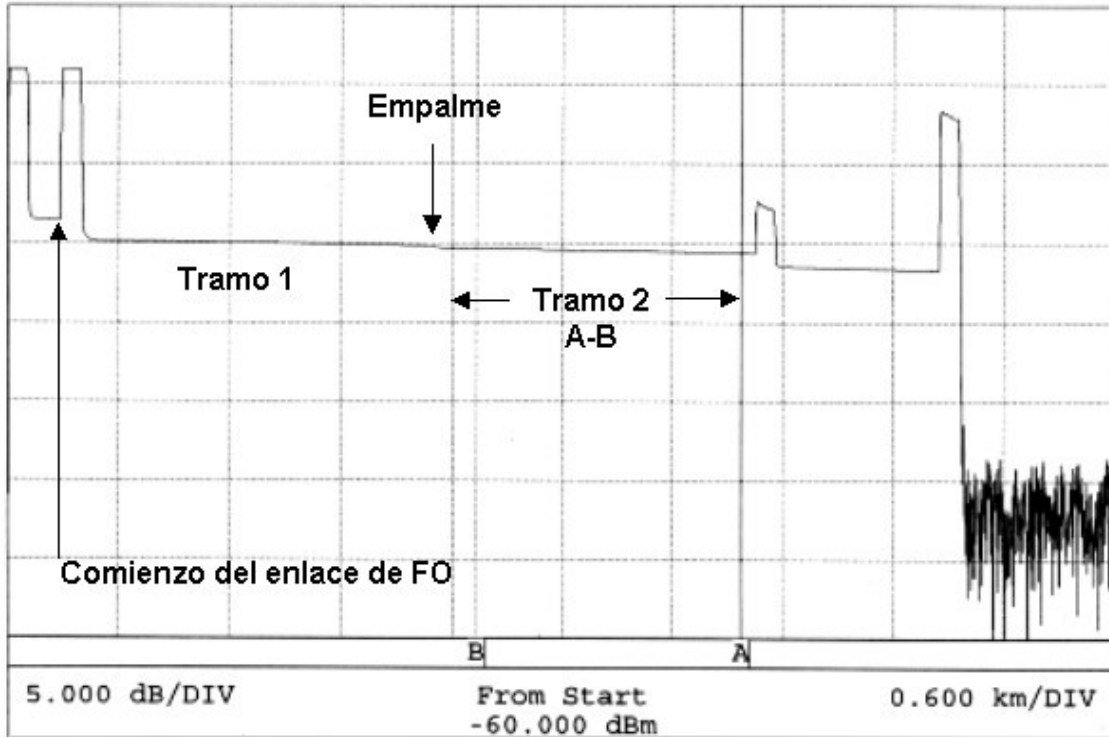
Térmica entre fibras y buffer, las fibras se curvan dentro del tubo.



## 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.

### Medición con OTDR



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

## 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.

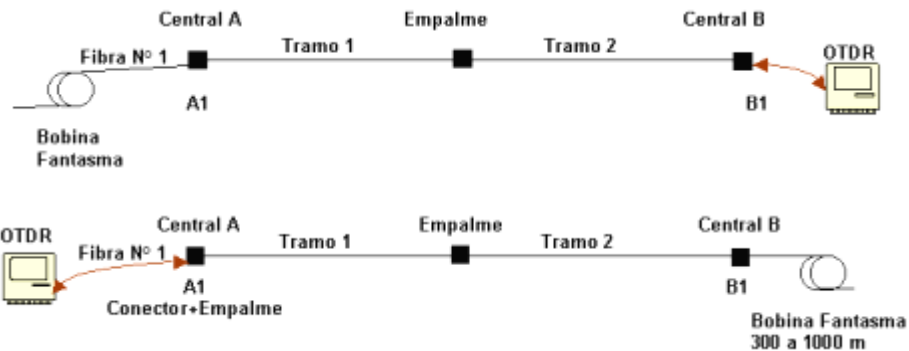
**De retorno o reflectancia:** es la pérdida debida a la energía reflejada, se mide como la diferencia entre el nivel de señal reflejada y la señal incidente, es un valor negativo y debe ser menor a -30 dB (típico -40dB).

En ocasiones se indica obviando el signo menos. 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)

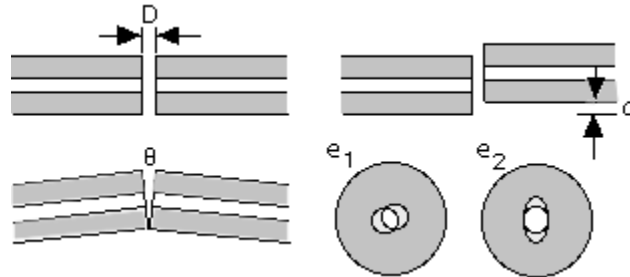


La planilla sería, por ejemplo (para  $\lambda=1550\text{nm}$ ):

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.



***En este dibujo se pueden ver todos los causales de atenuación geométrica***

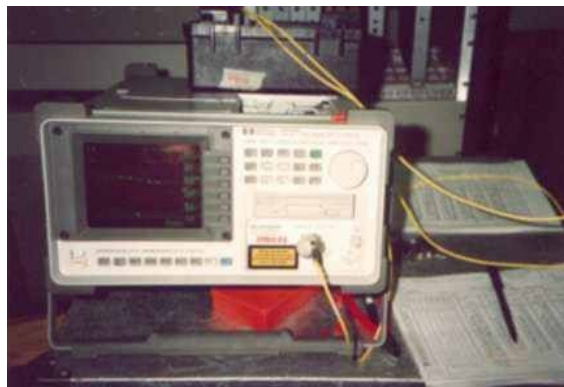
Entonces, para realizar empalmes atenuados una empalmadora puede desalinear los núcleos o darle un ligero ángulo a una de las dos fibras.

## 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.

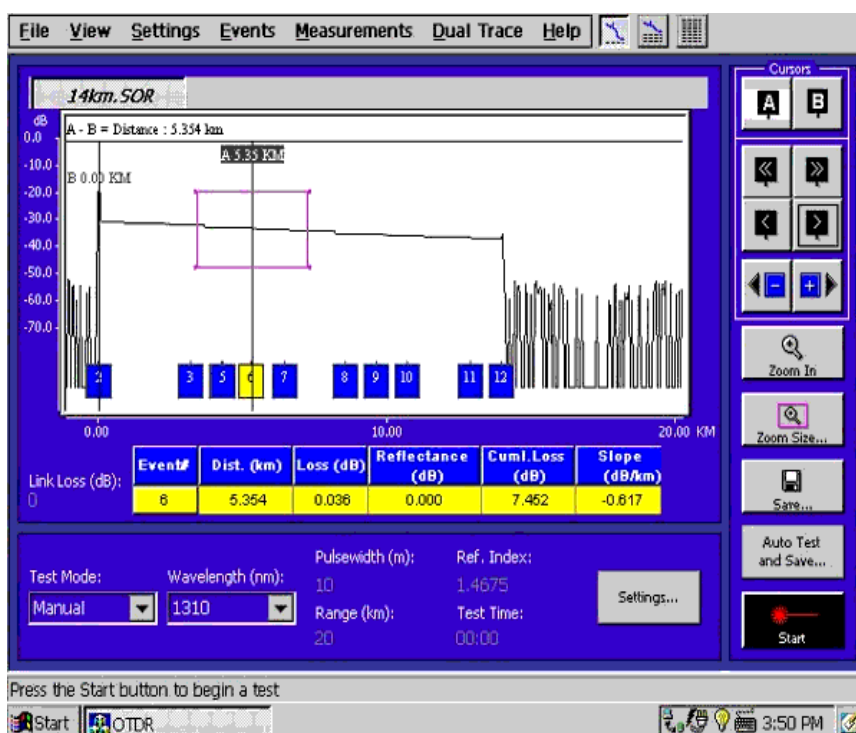




OTDR EXFO FTB7000

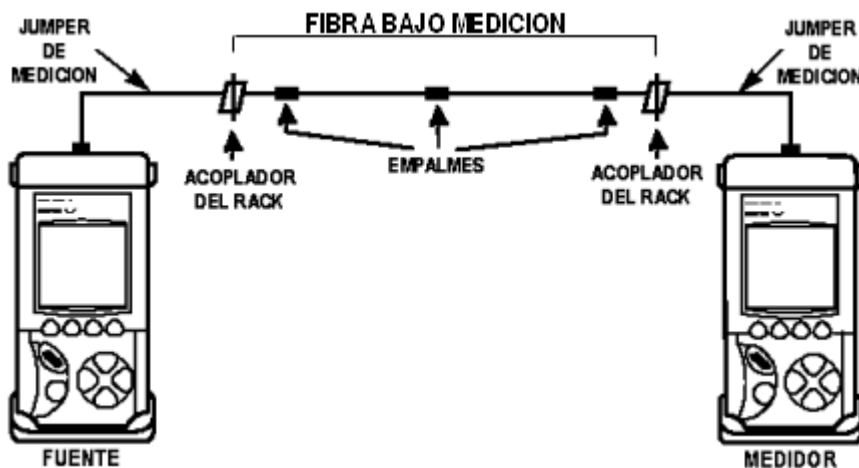


OTDR  
Tektronix  
NetTek



### 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.

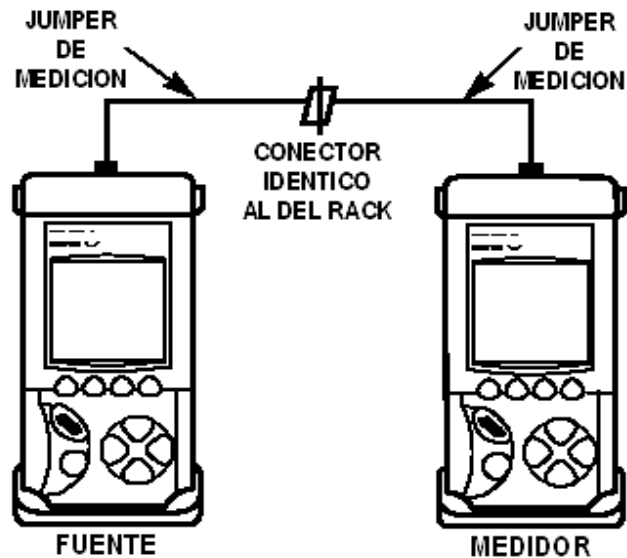


## Cuáles conectores se incluyen y cuáles no?

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

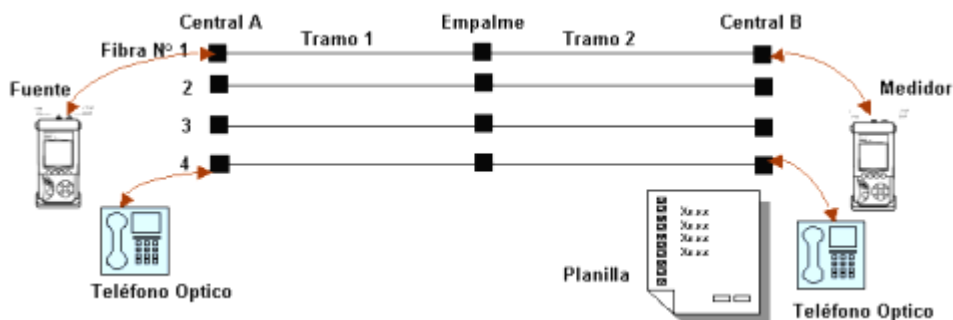
Los ajustamos a CW (continuous wave-onda continua no pulsante) Elejimos la ventana deseada Presionamos ahora en el medidor el botón ABS>REF para almacenar el nuevo valor de referencia entonces, al desconectar los jumpers entre sí y conectarlos a la fibra bajo prueba obtendremos el valor de atenuación de la fibra.



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.

Entonces una Medición de Atenuación Total podría ser:



## Temas complementarios

### Atenuadores ópticos variables

Tienen un conector de entrada y uno de salida. Producen una atenuación por fuga por curvatura (a través de un servomotor) o por algún otro método.



*Atenuador EXFO*

### Identificador lumínico de fibras y roturas

Inyecta una luz visible sobre una fibra. Si hay alguna rotura, en un pigtail por ejemplo, se verá la luz dispersada. O podemos identificar una fibra entre un manojo, produciéndoles una curva, y entonces la que disperse luz será la fibra correspondiente al conector donde colocamos el laser.



*Wavetek VFF5 (Visual Fault Finder)*

### Niveles de potencia óptica para sistemas de comunicaciones

Tipo de red	$\lambda$ [nm]	Rango de potencia [dBm]	Rango de potencia [W]
Telecomunicaciones	1310, 1550	+3 to -45 dBm	50 nW to 2mW
Datos	665, 790, 850, 1300	-10 to -30 dBm	1 to 100 $\mu$ W
CATV	1310, 1550	+26 to -6 dBm	250 $\mu$ W to 400mW