



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE  
MEXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES ARAGON**

**“TRANSPORTE Y PROTECCIÓN DE DATOS PARA INSERCIÓN Y  
EXTRACCIÓN EN ANILLOS DE FIBRA ÓPTICA”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA  
P R E S E N T A :**

**MEJIA CHAVERO CHRISTIAN.**

**ASESOR: ING. BENITO BARRANCO CASTELLANOS**



**Estado de México**

**2009.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

<b>Indice</b>	<b>I</b>
<b>Introducción</b>	<b>II-III</b>
<b>Capitulo I Comunicaciones y tipos de redes para fibra óptica.</b>	<b>1</b>
1.1 Generalidades	1
1.2 Parámetros Ópticos.	3
1.3 Tipos de Fibras Ópticas.	10
1.4 Atenuación de Fibra Óptica	14
1.5 Sistemas de Transmisión.	22
<b>Capitulo II Cables, Empalmes y distribuidor de fibras</b>	<b>25</b>
2.1 Cables Ópticos.	25
2.2 Empalmes.	39
2.3 Conectores y distribuidor de fibras ópticas	49
<b>Capitulo III Multiplexación por división de ondas y fallas en la red óptica</b>	<b>59</b>
3.1 Funcionalidad de un elemento de red	62
3.2 Sistemas de protección	68
3.3 Uso de equipos de conmutación para protección automática.	71
3.4 Mediciones de un sistema de fibra óptica.	73
3.5 Perdidas de inserción de jumper óptico.	75
3.6 Medición de potencia óptica en Tx.	76
3.7 Medición de potencia óptica en Rx.	77
3.8 Revisión del sistema de protección de alarmas.	78
<b>Conclusiones</b>	<b>84</b>
<b>Glosario</b>	<b>85</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>88</b>

## **INTRODUCCION.**

Las redes de cable han evolucionado y con el paso del tiempo se han convertido en redes híbridas de fibra óptica y cable coaxial (HFC) con el objetivo de dar más y mejores servicios.

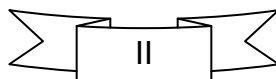
La fibra óptica en comparación con el cable coaxial, tiene varias ventajas técnicas. Por ejemplo, las señales que viajan en la fibra en forma de luz se atenúan muy poco a grandes distancias por lo cual la necesidad de amplificadores disminuye drásticamente. Además, como las señales que transporta la fibra no son de radio frecuencia, están libres de varios tipos de interferencias electromagnéticas y ruidos que afectan en gran medida a las señales que transporta el cable coaxial. Y por último, la fibra óptica tiene una gran capacidad de ancho de banda limitado únicamente por los equipos conectados a ésta.

Debido a las ventajas que tiene la fibra óptica frente al cable coaxial, no se sabe con certeza hasta qué punto lo va a sustituir. Sin embargo, lo que sí está comprobado es que una arquitectura de red con más fibra óptica se convierte en una red más confiable.

Para la operación, instalación, mantenimiento y reparación de una red de telecomunicaciones con fibra óptica, se requiere conocer técnicas especializadas. Es muy importante que el personal del sistema de cable esté capacitado y que cuente con la herramienta apropiada para trabajar con los equipos ópticos.

Así como la fibra óptica entró a las redes de cable, es necesario que la Industria se prepare y esté dispuesta a adoptar nuevas tecnologías que permitan mantener a las redes de cable en óptimas condiciones para seguir compitiendo con otras redes de telecomunicaciones.

Universidades, Instituciones Locales y Gobiernos Autónomos se caracterizan por tener numerosas delegaciones y centros de trabajos dentro de un área metropolitana. Generalmente, este tipo de organizaciones dispone de fibra óptica propia o arrendada para unir sus centros. En la mayoría de los casos esta fibra óptica se encuentra infrautilizada, transportando un único servicio y, la topología de interconexión entre centros, no garantiza la disponibilidad de caminos redundantes.



En el área de telecomunicaciones, los nuevos servicios y tecnologías están cambiando constantemente, por lo que es necesario contar con un adecuado equipo de evaluación y medición.

La demanda de nuevos servicios, los requerimientos de mayor calidad de las comunicaciones y el incremento de la transmisión de voz, datos e imágenes, nos llevan a tener nuevas demandas de sistemas de transmisión con mayores ventajas que satisfagan o que permitan implementar sistemas que cubran estas necesidades de comunicación. Como respuesta a esto, se definió un nuevo sistema conocido como Jerarquía Digital Sincronía, SDH.

Esto ha permitido el optimizar los costos e incrementar la calidad de las telecomunicaciones porque se utilizan sistemas que requieren menos mantenimiento, son más confiables y tienen más capacidad para transportar canales. Pero además de estas ventajas tiene la característica de contar con más facilidades de administración de red lo cual nos lleva hacia la tendencia a formar una red de redes. La SDH será la infraestructura que permita el transporte de grandes volúmenes de datos a altas velocidades, constituyendo lo que algunas revistas han dado por llamar la súper carretera de la información.

SDH ha alcanzado una gran aceptación en el mercado por lo que hoy en día las redes SDH están siendo ampliamente instaladas. Esto dará como resultado el desarrollo de redes más eficientes y un amplio despliegue de servicios de banda ancha, incluyendo datos, video y otras formas de multimedia tales como videoconferencia, correo electrónico, servicios interactivos, video bajo demanda (video-on-demand).



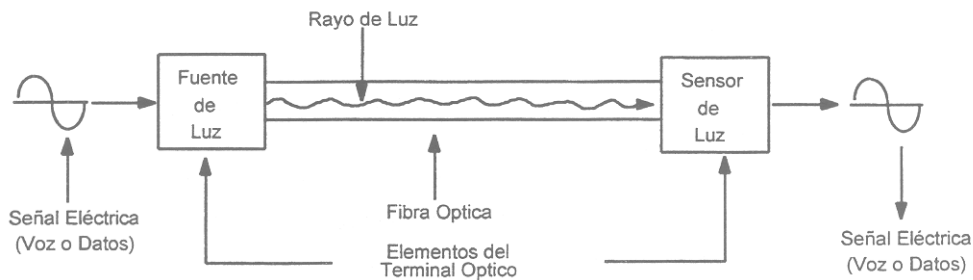
# CAPITULO 1. COMUNICACIONES Y TIPOS DE REDES PARA FIBRA ÓPTICA.

## 1.1 Generalidades

Un sistema de comunicación por fibra óptica contiene básicamente los siguientes elementos:

- Transmisor (Fuente de Luz)
- Medio de Transporte (Fibra Óptica)
- Receptor (Sensor de Luz)

La siguiente muestra a la fibra óptica como medio de transmisión.



**Fig. 1.1 Sistema básico de comunicación por fibra óptica**

En comparación con la comunicación por cobre, la fibra óptica nos brinda las siguientes ventajas:

Ventajas	Descripción
<b>Alta capacidad de transmisión</b>	Las fibras ópticas pueden transmitir grandes volúmenes de información a altas velocidades y permitir la utilización simultánea de gran número de usuarios. La capacidad de transmisión de las fibras esta directamente relacionada con las características intrínsecas de la fibra y del equipo terminal al que se conecte. En algunos sistemas de comunicación se utiliza a velocidades de 140 Mb/s y 565 Mb/s; para tecnología síncrona SDH a velocidades de 155 Mb/s, 622 Mb/s y 2.5 Gb/s.
<b>Dimensiones</b>	Un cable de 2400 pares (TAP), con diámetro externo de 80 mm, puede ser substituido por un cable de fibra óptica con un diámetro de 15 mm.
<b>Peso y Tiempo de Instalación</b>	Un cable multipar de 3.5 km de largo pesa aproximadamente 20,650 kg y requiere de 800 horas-hombre para instalarlo; un cable coaxial para la misma capacidad y longitud, pesa aproximadamente 118,620 kg y requiere de 400 horas-hombre; en cambio un cable de fibras ópticas pesa 350 kg y necesita de 88 horas-hombre (Dependiendo de la estructura del cable)
<b>Atenuación</b>	Conforme se desarrolla la técnica de fabricación de fibras ópticas se obtienen atenuaciones cada vez más bajas, actualmente del orden de 0.4 dB/km a 0.25 dB/km, mientras que los cables coaxiales tienen una atenuación del orden de 33 dB/km.

Ventajas	Descripción
<b>Distancia entre Repetidores</b>	En los enlaces de fibra óptica los repetidores se hacen menos frecuentes. Utilizándose a una distancia promedio de 80 km. (Dependiendo del tipo de fibra óptica y velocidad de transmisión) y manteniendo una señal de alta velocidad. Debido a los avances respecto a las características de las fibras ópticas actualmente la fibra óptica edfa (Tecnología de fibra Amplificadora Dopada con Erbio) promete la eliminación de los regeneradores intermedios y la utilización con equipo multiplexor por división de longitud de onda.
<b>Costos</b>	Mientras el costo de los cables de cobre se incrementa año con año, el costo de los cables de fibra óptica disminuye, debido al perfeccionamiento de las técnicas para producirlos. Si consideramos el costo total del sistema de comunicación, resultará siempre más económico usar fibras ópticas que cualquier otro tipo de cable cuando se necesita transmitir gran cantidad de información entre dos puntos y además se requiere garantizar la calidad del enlace y proteger de cualquier posible interferencia.
<b>Otras ventajas de las Fibras Ópticas</b>	Las fibras ópticas son flexibles, de bajo peso y permiten la propagación a muy altas frecuencias; también son inmunes al ruido, energía, son altamente resistentes e inmunes a interferencias de campos electromagnéticos externos. Por estas y muchas otras razones de importancia, que se expondrán en los siguientes capítulos, se espera un uso internacional de las fibras ópticas en los sistemas de comunicación, telecomunicaciones, protección, redes locales,

Sin embargo, como cualquier sistema de telecomunicación tiene algunas desventajas, por ejemplo:

- Puede resultar más caro si sus ventajas no son correctamente evaluadas.
- Las pérdidas de acoplamiento y su dificultad en aplicaciones de campo por el pequeño tamaño de las fibras ópticas.
- Algunas fuentes luminosas tienen un promedio de vida útil muy limitada.
- Limitante en el ancho de banda, debido a los fenómenos intrínsecos de la fibra óptica.

Las desventajas son realmente pocas y se refiere principalmente a pérdidas por acoplamiento, debido a su pequeño tamaño, además de que se requiere de equipo y personal especializado para su mantenimiento.

Con la información anterior podemos concluir que las ventajas de la utilización de la fibra óptica como medio de transmisión son:

- No existe la diafonía.
- No puede ser interferida.
- Tiene un ancho de banda amplio.
- Totalmente dieléctrica
- Inmune a la corrosión.
- Tamaño pequeño, poco peso, soporta grandes tensiones y tiene mucha flexibilidad.

Por lo que se espera un uso masivo.

## 1.2 Parámetros Ópticos

Estudiar y comprender el principio de operación de las fibras ópticas implica conocer los parámetros ópticos comúnmente utilizados y necesarios para aplicarlos después en los sistemas de transmisión por fibra óptica.

Filamento de material transparente, sólido, dieléctrico, cilíndrico, que opera a frecuencias ópticas, de gran pureza y pequeñas dimensiones, actualmente es el medio de transmisión de mejor calidad y mayor capacidad para transmitir información a altas velocidades en forma de luz. Una fibra óptica está formada por un núcleo y un revestimiento, con diferentes índices de refracción, para poder lograr que exista la reflexión total de la luz dentro de la fibra óptica. En la Fig. 2 podemos observar la forma en la cual se diseñan las fibras y más adelante explicamos el porque es necesario variar de esta forma el índice de refracción ( $n$ ).

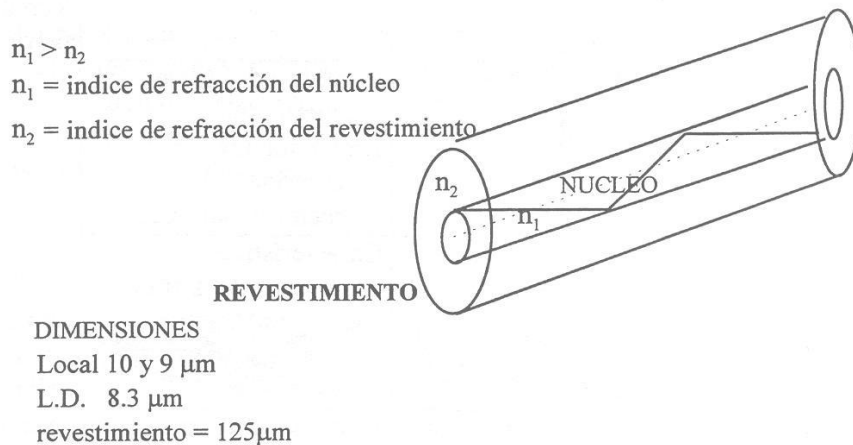


Fig. 1.2 Constitución básica de una fibra óptica.

### Características

La capacidad de transmisión de información que tiene una fibra óptica dependerá de las siguientes consideraciones:

- Diseño geométrico de la fibra.
- Propiedades de los materiales empleados en su elaboración.
- Anchura espectral de la fuente de luz utilizada.
- Capacidad de transmisión del equipo al que se conecte la fibra óptica.



En la tabla se reúnen los diversos parámetros que caracterizan a las fibras ópticas:

<b>Parámetros Estáticos</b>	Ópticos	Apertura Numérica Perfil del índice de refracción	Son constantes a lo largo de la fibra, dentro de las tolerancias propias de fabricación, siendo función de la tecnología usada en la fabricación.
	Geométricos	Diámetro del núcleo, Diámetro del revestimiento, Circularidad, Concentricidad, etc.	
<b>Parámetros Dinámicos</b>	Atenuación	Características intrínsecas de la fibra. Causas extrínsecas (empalmes, conectores, curvaturas, etc.)	Son características de la fibra que afectan a la calidad de la señal que se transmite.
	Dispersión	Dispersión modal. Dispersión del material. Dispersión cromática	

Tabla con las características de las fibras ópticas

## Luz

La luz es una corriente de partículas (fotones) desplazándose en el espacio, describiendo una onda como un movimiento vibratorio. Así cuando hay una carga en movimiento desplazándose en el espacio, la perturbación generada forma un campo electromagnético. La manifestación del pulso tridimensional producida por los campos eléctrico y magnético es lo que conocemos como onda electromagnética (luz)

Para nuestro curso podemos clasificar la luz como coherente y no coherente de acuerdo a las siguientes consideraciones.

### Luz no coherente

La luz blanca es luz no coherente, contiene radiaciones electromagnéticas de diferentes longitudes de onda y estas ondas están desfasadas entre sí, por lo que tendremos dispersión. La luz que utilizamos normalmente de un foco, una vela, una lámpara, son fuentes de luz blanca; la dispersión se manifiesta porque no son capaces de iluminar largas distancias.

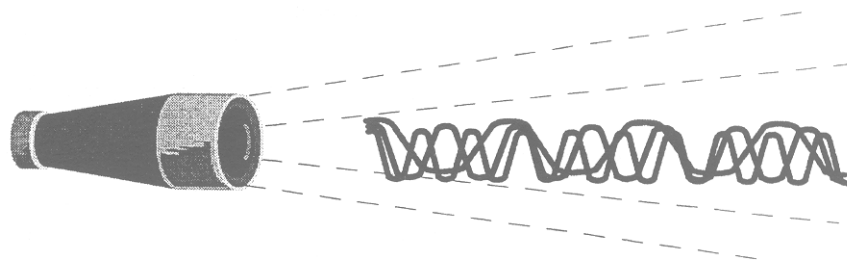


Fig.1.3 Luz no coherente

**Luz coherente**

Con la aparición del LÁSER (Light Amplification by Stimulate Emisión o Radiation) es posible generar un haz de luz concentrada, de gran energía y coherente, es decir, la variación d la longitud de onda de la luz que emite es mínima, es consecuencia puede iluminar largas distancias sin tener prácticamente dispersión.

El ancho espectral de estas fuentes es estrecho (<4mm) y es el tipo de luz que utilizan los transmisores ópticos para la comunicación por fibra óptica.

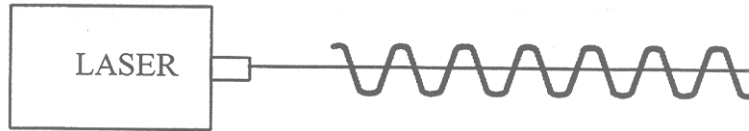


Fig. 1.4 Luz coherente

**Longitud de onda**

Definimos a la longitud de onda ( $\lambda$ ), como la longitud de un ciclo completo de la onda descrita por un fotón al desplazarse en el espacio. Los átomos reciben energía en forma de calor, radiación, etc. Parte de esta energía se almacena en los electrones de la capa exterior, excitándolos a un nivel de energía mayor. Repentinamente, el electrón cae de nuevo al nivel inicial y emite energía en forma de radiación electromagnética, parte de ella como luz visible.

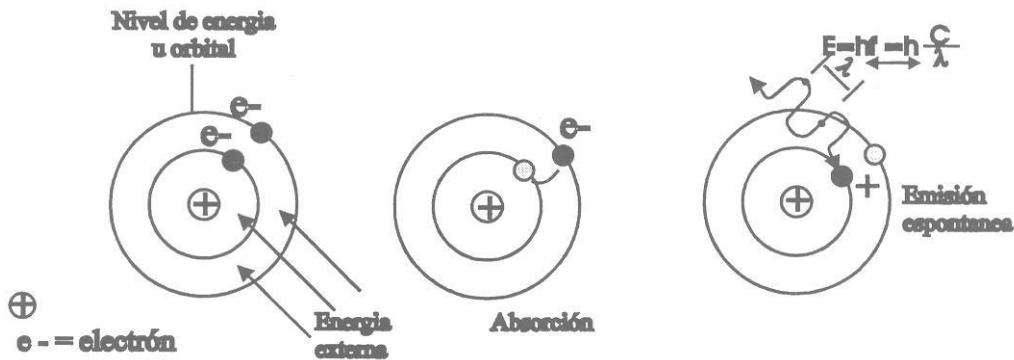


Fig. 1.5 Emisión de luz

La diversidad que existe entre las ondas producidas se debe a las diferentes longitudes de onda. El ojo humano es sensible a aquellas radiaciones luminosas que tienen una determinada longitud de onda y componen el llamado espectro visible (760nm a 400nm)

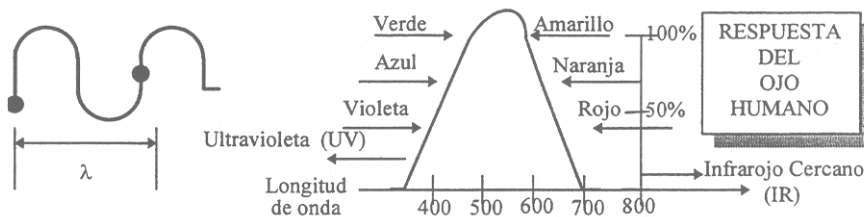


Fig. 1.6 Espectro de la luz visible

Otros tipos de radiaciones no son visibles como: luz ultravioleta UV y luz infrarroja IR

### Ventanas

Como se muestra en la Tabla 1.1 la comunicación con fibras ópticas utiliza longitudes de onda no visibles que se localizan dentro del rango infrarrojo. Esto debido a las características actuales de fabricación que presentan las fibras ópticas, ya que tienen menor pérdida utilizando estas longitudes de onda llamadas "ventanas".

Las longitudes de onda utilizadas son: 850nm, 1300nm, y 1550nm. La última es utilizada para comunicaciones de larga distancia ya que tiene una atenuación mínima.

No. de la banda	Gama de frecuencias	Gama de longitudes de onda en el vacío	Subdivisión métrica	Abreviatura métrica de las bandas e frecuencia	Símbolo en inglés	Abreviaturas y símbolos poco usuales, no aconsejables
4	3-30 kHz	10-100 km	Ondas miriamétricas	B. Mam	VLF	Frecuencias muy bajas, MBF
5	30-300 kHz	1-10 km	Ondas kilométricas	B. km	LF	Ondas largas, frecuencias bajas, BF
6	300-3000 kHz	1-10 km	Ondas hectométricas	B. hm	MF	Ondas medias, pequeñas ondas medias, frecuencias medias, MF
7	3-30 MHz	1-10 dam	Ondas decamétricas	B. dam	HF	Ondas cortas, altas frecuencias
8	30-300 MHz	1-10 m	Ondas métricas	B. m	VHF	Frecuencias muy altas
9	300-3000 MHz	1-10 dm	Ondas decimétricas	B. dm	UHF	Frecuencias ultra altas
10	3-30 GHz	1-10 cm	Ondas centimétricas	B. cm	SHF	
11	30-300 GHz	1-10 mm	Ondas milimétricas	B. mm	SHF	
12	300-3000 GHz	0.1-1 mm	Ondas decimilimétricas			

**Tabla 1.1** Designación de las bandas de radio-frecuencia

## Índice de refracción

En la actualidad, sabemos que la velocidad de fase de la luz en el espacio libre es de:

$$C = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Por lo tanto podemos definir el índice de refracción ( $\eta$ ) como la relación que existe entre las velocidades de la luz, al desplazarse en el vacío y en la materia.

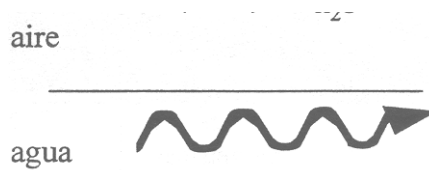
La expresión es:  $\eta = c/v$

$\eta$  = índice de refracción.

$c$  = vel. de la luz en el vacío.

$v$  = vel. de la luz en otro medio.

Por ejemplo, calculemos el índice de refracción del agua a una temperatura estable de (25° C).  $\eta_{\text{H}_2\text{O}} = ?$



Velocidad en el agua  $V_{\text{H}_2\text{O}} = 2.25 \times 10^8 \text{ m/s}$

Aplicando la fórmula

$$\eta_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{c}{v} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2.25 \times 10^8 \text{ m/s}} = 1.33$$

El resultado no tiene unidades y corresponde a una relación entre la velocidad de la luz, al desplazarse en vacío y al desplazarse en el agua.

El menor índice de refracción es 1 porque la máxima velocidad es:

$$C = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

La siguiente tabla muestra el índice de refracción de algunas sustancias.

Substancias	Índice de refracción	Substancias	Índice de refracción
Aire	$\eta = 1.00029$	Helio	$\eta = 1.00003$
Hidrógeno	$\eta = 1.00013$	Agua	$\eta = 1.333$
Diamante	$\eta = 2.419$	Ámbar	$\eta = 1.55$

El índice de refracción de las fibras utilizadas en TELMEX actualmente es :

$$\eta = 1.4700$$

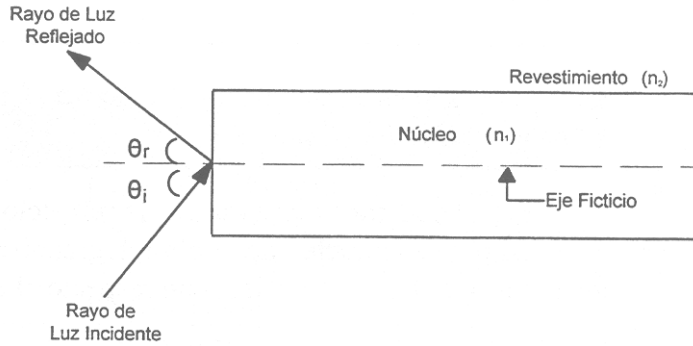
$$\eta = 1.4760$$

**Reflexión**

Fenómeno por el cual una onda que se propaga por un medio e incide sobre otro medio diferente, bajo ciertas características, retorna al primero.

**Descripción**

En la siguiente figura mostramos la reflexión a la entrada de la Fibra Óptica, donde  $\theta_i$  (ángulo de incidencia) es igual a  $\theta_r$  (ángulo de reflejancia)



**Fig. 1.7 Reflexión de la fibra óptica**

Como se podrá observar este fenómeno causa que la mayor cantidad de luz sea lanzada fuera del núcleo de la Fibra Óptica, el cual no es el objetivo.

Los ángulos que forman el rayo incidente y el reflejado con la normal a la superficie de separación de los dos medios son iguales.

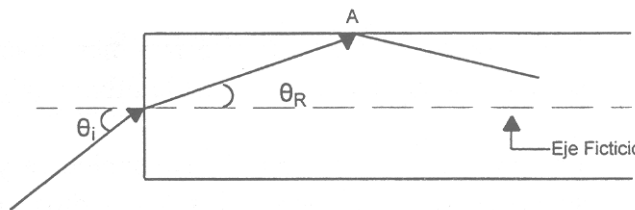
**Refracción**

Fenómeno que se produce por el cambio abrupto en la dirección de propagación de una onda (acústica o electromagnética) al pasar oblicuamente de un medio a otro en el cual la velocidad de propagación es diferente, por ejemplo, se dobla un rayo luminoso que atraviesa oblicuamente la superficie de separación de dos medios transparentes distintos, como el aire, el agua o el vidrio; y cambia de dirección al atravesar la superficie que separa dos masas de distintos índices de refracción.

**Fenómenos**

Este fenómeno es el más importante desde el punto de vista de entrada de luz al núcleo de la Fibra Óptica.

En la Fig. 8 podemos observar que la refracción ayudará a introducir la mayor cantidad de luz al núcleo de la fibra, lográndose esto con ángulos pequeños de los rayos que llegan al núcleo, con respecto al eje ficticio de la fibra.



**Fig. 1.8 Refracción.**

¿Porqué ángulos pequeños? Fundamentalmente es para cumplir con el aspecto geométrico de la luz (rayos de luz), la ley de SNELL y la condición de reflexión total en la frontera núcleo revestimiento (punto A)

**Ley de SNELL**

La ley de SNELL es una relación trigonométrica que nos permite evaluar el ángulo de entrada adecuado, en función de los índices de refracción ( $\eta_0, \eta_1, \eta_2$ ) para lograr la refracción y la reflexión total interna del rayo de luz.

A continuación mostramos la ley de SNELL:

$$\eta_0 \text{ Sen } \theta_1 = \eta_1 \text{ Sen } \theta_2$$

Índices de refracción	Descripción
$\therefore \eta_0 \eta_1 \eta_2$	Son los índices de refracción del aire, núcleo y revestimiento de la fibra, respectivamente.
$\theta, \theta_R$	Son los ángulos e entrada y refracción de rayo, respectivamente.
Sen	Función trigonométrica tomada con respecto al eje ficticio de la Fibra Óptica.

**Diagrama**

El fenómeno de reflexión total se repite si el índice de refracción en todo el núcleo de la fibra es el mismo. De este modo el rayo llegará al final de la fibra con el mismo ángulo con que incidió en ella.

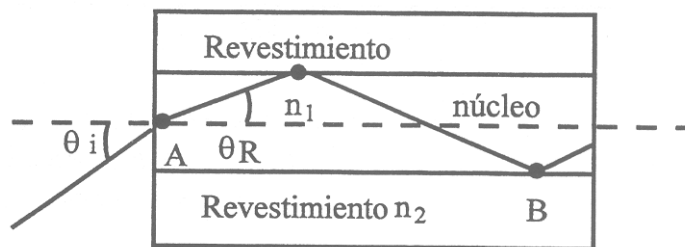


Fig. 1.9 Reflexión total en la fibra óptica.

- A Punto de refracción
- B Puntos de reflexión total.

**Reflejancia**

Por otra parte si existe un ángulo grande de incidencia, tendremos un rebote total del rayo de luz conocido como reflejancia®, dado ésta por la siguiente expresión.

$$R = \left( \frac{\eta_1 - \eta_0}{\eta_1 + \eta_0} \right)^2$$

Existe una condición práctica a considerar, R deberá ser menor o igual al 4% del 100% del rayo de la luz de entrada.

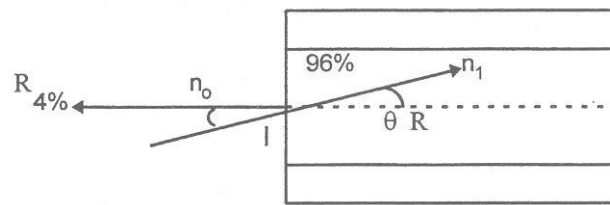


Fig. 1.10 Efecto de reflejancia.

## Apertura numérica

La apertura numérica es un parámetro que indica la cantidad de luz que puede entrar y transmitirse dentro de la fibra óptica con reflexión total. Si el ángulo de incidencia está dentro del cono de aceptación, entonces podemos garantizar que la luz podrá viajar dentro de la fibra por medio de reflexiones hasta el final, presentando mínima atenuación. Esto nos garantiza que la información llegará a su destino con buena calidad y potencia aceptable.

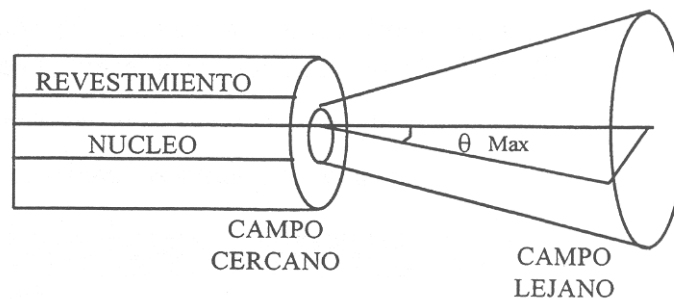


Fig. 1.11 Apertura Numérica

La apertura numérica (AN) es un parámetro muy importante a considerar, cuando se determinan pérdidas en la fibra, ya que es uno de los factores que contribuyen a incrementarla.

$$AN = n_0 \text{ Sen } \theta \text{ max}$$

El tamaño del diámetro de la fibra determina la facilidad con la que la luz puede introducirse. La apertura numérica determina el cono de aceptación de luz, como se observa en la Fig. 11.

Las aperturas numéricas de las fibras ópticas de TELMEX están por debajo de 0.30

## 1.3 Tipos de Fibras Ópticas

Existen varios tipos de fibras ópticas dependiendo de las características de transmisión que se requieran.

Sin embargo, la fabricación de fibras ópticas se tiene como objetivo disminuir la atenuación, para lo cual se han desarrollado diferentes métodos de fabricación.

En esta sección se resume las características más importantes de las fibras ópticas, haciendo hincapié en las utilizadas por TELMEX.

## Modo de propagación

El modo de propagación se refiere en esencia a los caminos ópticos que sigue la luz dentro de la fibra. El modo de propagación dentro de una fibra óptica se determina básicamente de acuerdo a la frecuencia con la que se transmite la onda electromagnética a través de la fibra.

Otros factores que se deben considerar para establecer el modo propio de propagación son: el diámetro del núcleo y la variación del índice de refracción. Sin embargo, el tipo de fibra es otro factor indispensable. Si la fibra es monomodo, solo existe en ella un modo de propagación (idealmente) En cambio, una fibra multimodo, tiene diferentes modos de propagación.

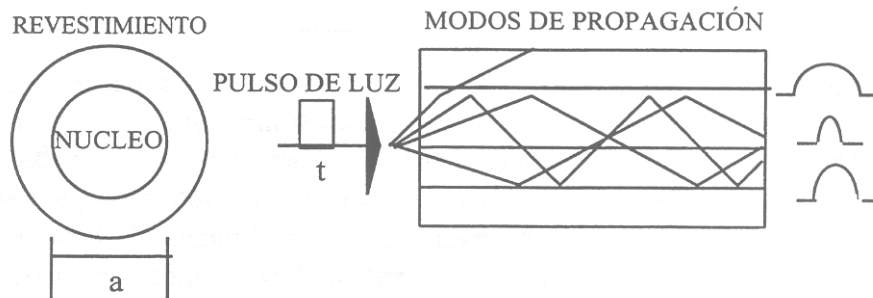


Fig. 1.12 Modos de Propagación

### Perfil de índice de refracción

A la variación del índice con respecto a la distancia se le conoce como perfil del índice. Esta variación nos lleva, fundamentalmente, a tener dos perfiles el de escalón (ó escalonado) y el graduado (ó parabólico). La velocidad de la luz en cada punto esta en función del índice, el cual dará lugar a diferentes velocidades de propagación.

### Clasificación

Las fibras ópticas pueden clasificarse, también, de acuerdo a la cantidad de modos de propagación que presentan y se clasifican en:

- Monomodo
- Multimodo

A continuación se describen las características de las fibras ópticas mas comúnmente utilizadas.

### Fibra Multimodo

Las dimensiones de esta fibra son de 50 a 200  $\mu\text{m}$  para su núcleo y de 150 a 250  $\mu\text{m}$  para su revestimiento primario, el núcleo es lo suficientemente grande para que el haz de luz pueda describir muchas trayectorias al desplazarse dentro de la fibra óptica, esto es, varios modos de propagación, lo que provoca pérdidas llamadas de decepción modal. Su apertura numérica es de alrededor de 0.3. para un kilómetro el retardo  $\Delta t$  varia de 20 a 2 ns y la banda de paso de 20 a 200 MHz.

Las fibras multimodo se clasifican de la siguiente manera:

- Multimodo de Índice Escalonado
- Multimodo de Índice Graduado

#### Multimodo de Índice escalonado

El núcleo de este tipo de fibra tiene un índice de refracción constante, al llegar al revestimiento, el cambio es inmediato, ya que en el revestimiento el índice de refracción es menor, esto provoca que la luz describa trayectorias en forma de zig-zag, provocados por la reflexión total que experimenta el haz de luz al chocar con un medio diferente al núcleo. Esto se observa en la Fig.



13, donde la trayectoria que describe el haz de luz es de zig-zag y el diámetro del núcleo es de 50 a 200  $\mu\text{m}$ .

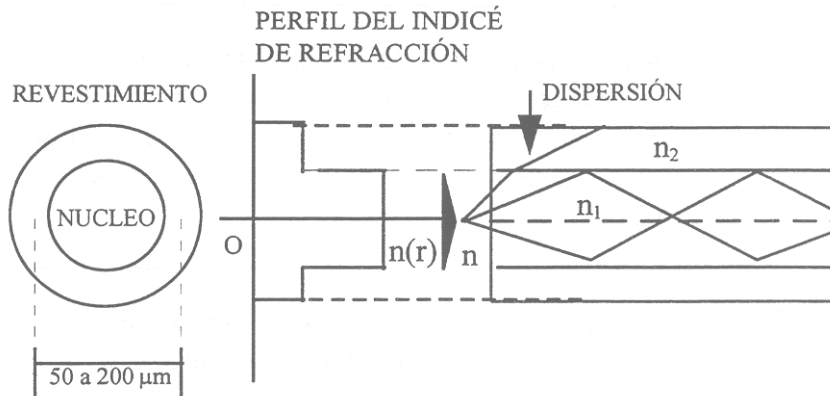


Fig. 1.13 Fibra de índice escalonado

**Fibra multimodo de índice graduado**

Es esta fibra el índice de refracción del núcleo va decreciendo gradualmente en función del radio, hasta llegar al revestimiento, como se observa en la Fig. 14, el diámetro del núcleo, mide de 50 a 100  $\mu\text{m}$ , la apertura numérica es de alrededor de 0.2. El retraso esta en función de la optimización del perfil del índice, del ancho de banda espectral y de la longitud de onda de la fuente luminosa utilizada. Para un kilómetro de fibra, el retardo  $\Delta t$  varía de 800 a 200 ps y la banda de paso es de 500 a 1500 MHz.

Sin embargo, debido a que el índice de refracción del núcleo decrece, los rayos de luz se van flexionando gradualmente regresando al centro del núcleo, esto explica por que en este tipo de fibra la atenuación es menor, comparada con la fibra escalonada, donde el cambio en el índice de refracción es mucho mas brusco.

En las fibras de índice escalonado hay un pequeño retardo, entre los rayos que inciden en la fibra paralelos al eje y aquellos que lo hacen con un cierto ángulo, debido a la diferencia de distancia recorrida. Para solucionar este problema se diseñaron fibras con un núcleo cuyo índice de refracción vaya decreciendo gradualmente desde el eje hasta la frontera con el revestimiento, provocando que las sucesivas refracciones hacia el eje del núcleo hagan que ambos rayos coincidan en tiempo.

Es cierto que la trayectoria que recorren los rayos que inciden con diferentes ángulos es más larga, pero debido a que su velocidad es mayor en las regiones donde el índice de refracción es menor, esto compensa el recorrido, haciendo que lleguen al mismo tiempo que los rayos axiales, con lo que se disminuye la perdida por dispersión modal.

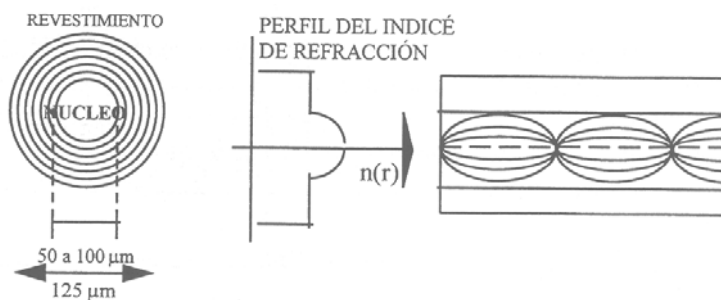


Fig. 1.14 Fibra de índice graduado.

## Fibra Monomodo

Esta clase de fibras se caracteriza por tener un núcleo de diámetro muy pequeño, menor de  $\mu\text{m}$ , y el diámetro del revestimiento primario de  $125 \mu\text{m}$  una diferencia relativa de índice  $\Delta$  del orden de 0.005 por lo tanto una apertura numérica entre 0.12 y 0.14, una atenuación mayor que de 0.4 dB/km y un ancho de banda mayor que 10 GHz.

En una fibra óptica, no es monomodo más que a una cierta longitud de onda, puesto que debe satisfacer la ecuación  $\lambda \geq 3.69 a \eta_1 (\Delta)^{1/2} = \lambda_c$ ,  $\lambda_c$  se llama **longitud de onda crítica** de la fibra.

### Perfil de Índice

Para materializar una fibra monomodo pueden adaptarse muy diversas configuraciones del perfil de índice. La figura refleja varias concepciones, el perfil en forma de W (doble revestimiento) permite ajustar la longitud de onda de dispersión cero en un margen ( $1.3\text{-}1.45 \mu\text{m}$ ; ó  $1.5\text{-}1.7 \mu\text{m}$ ) mucho más amplio del que es posible con la estructura elemental de índice escalonado.

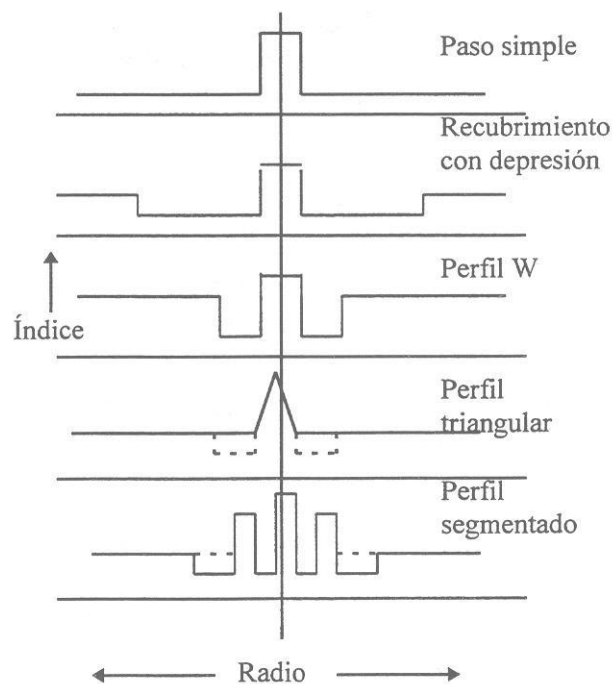


Fig. 1.15 Perfiles del índice de refracción de las fibras monomodo.

Pero las fibras con doble revestimiento no pueden mantener simultáneamente una baja dispersión y atenuación en la banda de  $1.3$  a  $1.6 \mu\text{m}$ ; para alcanzar este objetivo se ha diseñado las fibras con perfil segmentado (revestimiento quádruple). En seguida indicamos las propiedades de las fibras monomodo

**Características**

A continuación se muestran las propiedades de las fibras monomodo.

Longitud de onda de corte, nm.	Atenuación (dB/km)		Longitud de onda de dispersión cero	Intervalo de longitudes de onda de dispersión máxima, ps/nm. Km	Diámetro, $\mu\text{m}$		
	1300 nm.	1550nm.			Campo	Núcleo	Revest
600					4		125
820					5		125
1330	0.4	0.35	1310	4.2/1285-1300	8.7	8.3	125
				17- 1550 nm.			
	0.5	0.30	1310	4.5/1285-1330	10	9	125

**Nota**

En el léxico técnico de TELMEX se ha llamado a las fibras ópticas monomodo como de dispersión normal (índice escalonado), dispersión corrida (índice triangular) y próximamente las de dispersión aplanada (índice segmentado o doble y, w)

La finalidad de las fibras ópticas de dispersión corrida, utilizando el mismo material  $\text{SiO}_2$  (óxido de silicio) es la de obtener menos atenuación pero a longitudes de onda diferentes, a la de 1300 nm, 1550 nm y/o 1350 nm (en esta longitud de onda andamos muy cerca de uno de los picos de absorción por humedad (radical OH), 1380 nm por lo tanto se usa la de 1550 nm).

**1.4 Atenuación de Fibra Óptica**

La luz que se propaga en un conductor de fibra óptica experimenta una atenuación: produce una pérdida de energía. Para cubrir grandes distancias sin emplear regeneradores intermedios es necesario mantener estas pérdidas en el mínimo posible. La atenuación de un conductor de fibra óptica es un parámetro importante para la planificación de redes de cables para telecomunicaciones ópticas y producen principalmente los fenómenos físicos como son absorción y dispersión.

La magnitud de estas pérdidas luminosas depende entre otros factores de la longitud de onda de la luz acoplada. Por eso, para determinar las gamas de longitudes de onda adecuadas para la transmisión óptica con baja atenuación resulta, en general, útil medir la atenuación de un conductor de fibra óptica en función de la longitud de onda (espectral)

**Representación gráfica de la atenuación**

Las pérdidas de potencia óptica, o atenuación, que presentan las fibras ópticas se deben a la absorción del material, la dispersión y las reflexiones al final de la fibra. La atenuación se expresa en decibeles por kilómetro (dB/km). Los valores de este parámetro oscilan entre 0.154 dB/km a 1550 nm, para las fibras monomodo, y 10 dB/km para las fibras plásticas. Las características de pérdida geométrica en un trozo de fibra puede expresarse matemáticamente de la siguiente forma:

$$P_f(L) = P_c 10^{(-\infty L/10)}$$

Donde  $P_f(L)$  = Potencia a una distancia L de la entrada

$P_c$  = Potencia acoplada a la fibra

$\infty$  = Atenuación propia de la fibra, dB/km

La ecuación anterior en Dbm queda de la siguiente manera:

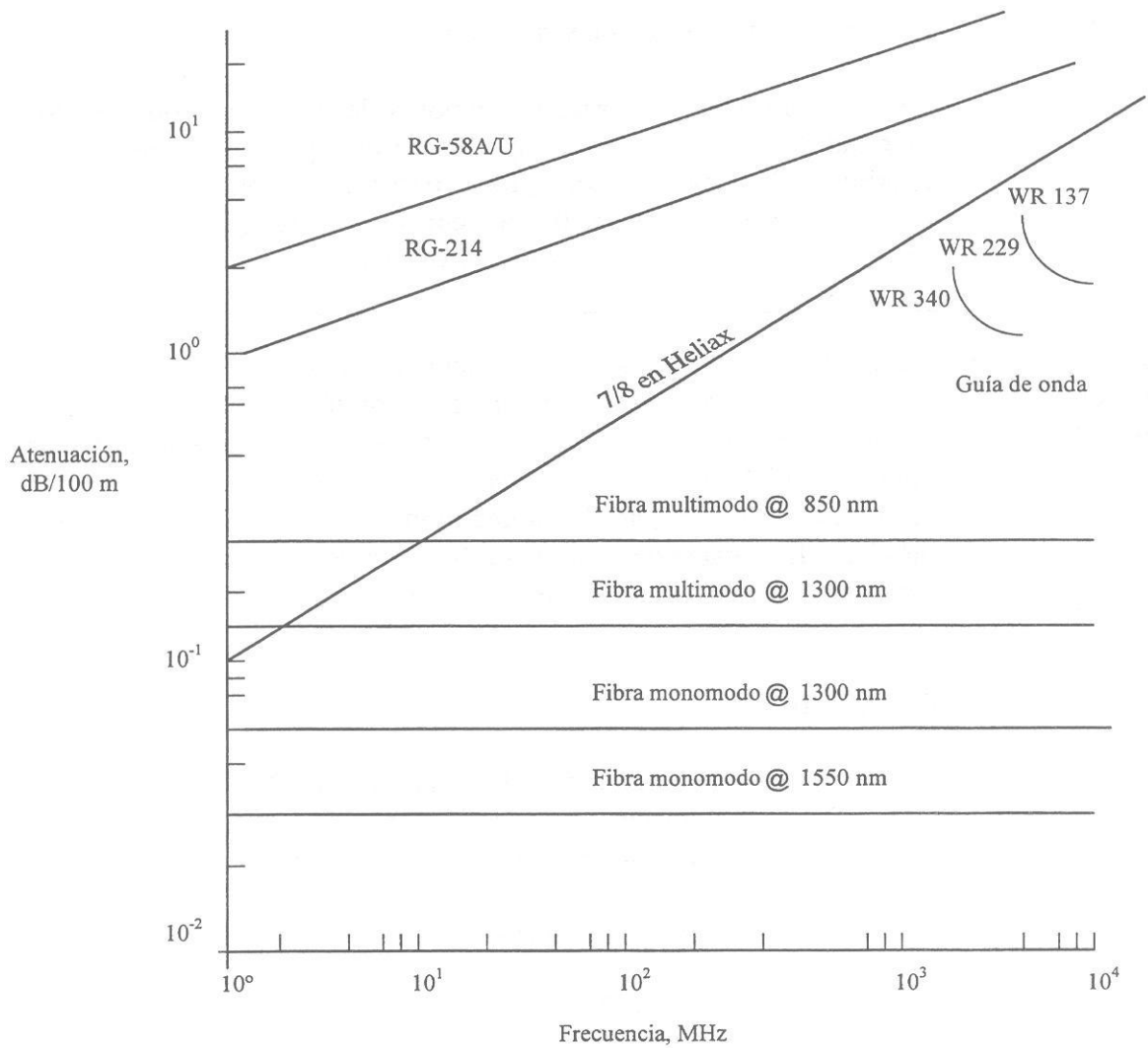
$$P_f(\text{dBm}) = P_c(\text{dBm}) - \infty L$$

La cual corresponde a una ecuación de una línea recta con un punto de intercepción en  $P_c$  y pendiente  $-\infty$ . Cualquier pérdida adicional debida a empalmes, conectores o a la realización del sistema deben restarse de esta ecuación.

**Gráfica**

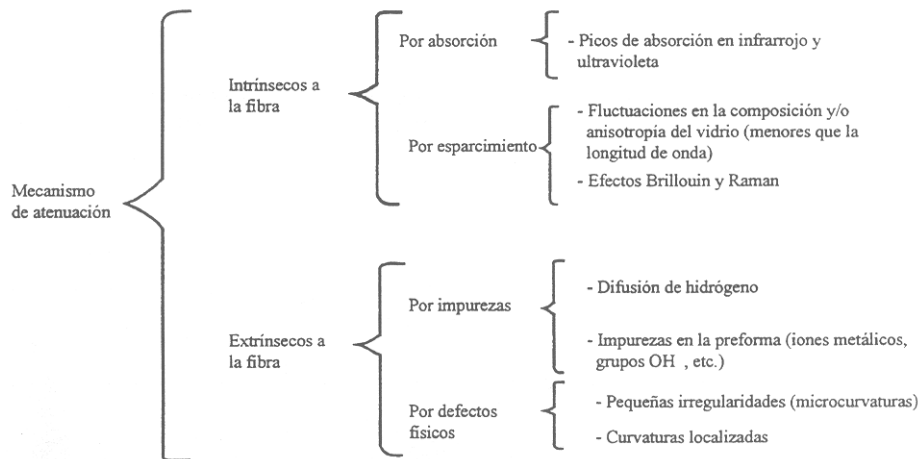
La siguiente gráfica muestra la atenuación de las línea metálicas comunes en comparación con la atenuación de las fibras ópticas comerciales.

Las limitaciones que imponen la distorsión modal y la dispersión cromática no están incluidas.



**Mecanismos físicos de atenuación**

Los mecanismos físicos que ocasionan pérdidas y atenúan la señal óptica al viajar por la fibra óptica admiten una división en dos grandes grupos (ver tabla 2); pérdidas cuyo origen se debe a causas intrínsecas, o pérdidas motivadas por aspectos extrínsecos a la fibra en si misma. Los fenómenos intrínsecos están relacionados con la composición y naturaleza del vidrio y NO PUEDEN ERRADICARSE.



**Tabla 2** Distribución de las pérdidas en transmisión por fibra óptica.

Bajo el concepto de pérdidas extrínsecas se engloban las que son ajenas a la fibra idealmente considerada, y que se originan por causa de impurezas, defectos en la geometría de la fibra, defectos de cableado, tensiones, curvaturas, esfuerzos, etc. La tabla 3 recoge algunos ejemplos comparando la importancia y el peso relativo de las pérdidas por motivos intrínsecos al portador óptico.

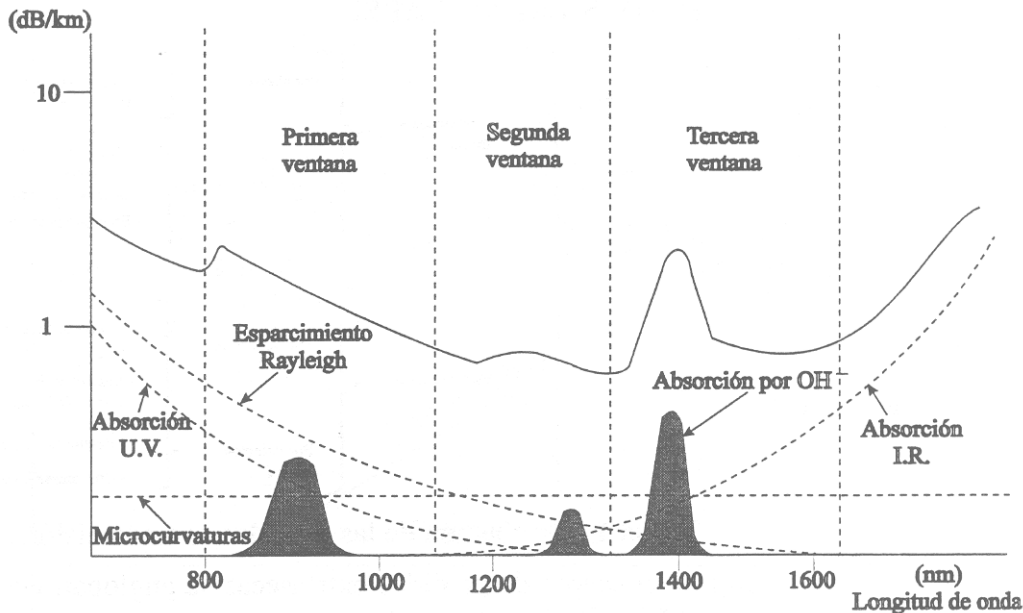
**Mecanismos**

$\Delta$ (%)	Pérdidas a 1,3 mm (dB/km)			Pérdidas a 1,3mm (db/km)		
	Pérdidas Rayleigh	Pérdidas absorción	Totales	Pérdidas Rayleigh	Pérdidas absorción	Totales
0	0,22	0.06	0,22	0,11	0,035	0,13
0,18	0,29	0.09	0,40	0,145	0,05	0,25
0,27	0,33	0.13	0,46	0,16	0,07	0,27
0,39	0,38		0,55	0,19		0,32

**Tabla 3**

## Absorción

En la siguiente figura se representa de forma aproximada el peso de cada una de estas contribuciones (esparcimiento de Rayleigh, absorciones U.V. e I.R., etc.) Cabe resaltar el avance de las técnicas de fabricación y consecuentemente, la rápida tendencia hacia los valores intrínsecos que representan el límite teórico de la atenuación.



En lo que sigue contemplaremos los mecanismos de absorción en I.R. y en el U.V., así como el fenómeno del esparcimiento Rayleigh, todos dentro del grupo de pérdidas de naturaleza intrínseca. Por lo que se refiera a factores extrínsecos trataremos las pérdidas ocasionadas por impurezas, por curvaturas y por microcurvaturas.

### Absorción ultravioleta, infrarroja o de impurezas

Las bandas de absorción del sílice son evidentes en las proximidades de 825nm, 950nm, 1225nm, 1370nm, 1380nm, 1390nm y el fundamental a 2730nm. Estas bandas se deben a la absorción de los iones residuales de OH⁻. Las concentraciones de OH⁻ de una parte por mil millones atenúan 1 dB/km a 950nm, 3 dB/km a 1225nm, y 40 dB/km a 1370nm. La deshidratación del material durante el proceso de fabricación puede explicarse como una forma de mantener al mínimo los iones de OH⁻.

Otras absorciones de impurezas o modificadores (contaminantes) del índice de refracción son iones metálicos los cuales provocan, también, picos de absorción.

La absorción se produce cuando existe resonancia (o vibración) molecular debido a la igualdad de la frecuencia, natural de resonancia (de la molécula) y de la señal óptica.

### Dispersión en el vidrio

La disminución general de la atenuación entre 500 y 1500nm es el resultado de la dispersión de la luz por la inhomogeneidades microscópicas y a las fluctuaciones de la densidad del material del sílice. Se conoce como dispersión de Rayleigh y produce una dependencia de la atenuación de  $\lambda^{-4}$ . Estas inhomogeneidades\* quedan fijas en la estructura cristalina del sílice cuando se fabrica la fibra. Por lo general, mientras menor es la temperatura de fabricación de la fibra, también es menor la densidad de la fluctuación y la dispersión. La atenuación, provocada por este fenómeno, de las últimas fibras fabricada ha llegado a ser de 0.15 dB/km.

\* moléculas cuyo diámetro ( $2\pi a/\lambda$ ) sea mucho menor que la unidad.

**Pérdidas por doblez**

Cada vez que una fibra se desvía de una posición recta, se producen pérdidas por radiación. Este efecto puede ser significativo en los cables ópticos mal instalados. Las pérdidas de este tipo se clasifican en dos categorías:

- 1.- MACRODOBLECES, con un radio de curvatura constante  $R$ , el cual se presenta en un doblez del tubo conductor. En forma práctica se puede considerar un radio mínimo de curvatura ( $R_{min}$ ) de 20 veces el diámetro del cable.
- 2.- MICRODOBLECES, con pequeñas desviaciones aleatorias alrededor de una posición nominal de línea recta, tal como se observa en los cables de fibra óptica.

**Dependencia de la temperatura**

Los extremos de temperatura tienen adversos en la atenuación de la fibra. Los diseños de revestido de plástico y de tubo hermético pueden utilizarse hasta  $-10^{\circ}$  C.

Por debajo de esta temperatura, la diferencial de expansión térmica entre el vidrio y los recubrimientos de polímeros provoca tensiones que conducen a pérdidas por micro dobleces. Los diseños que utilizan revestimiento de vidrio y los de tubo holgado se utilizan por debajo de  $-50^{\circ}$  C, pero debe tenerse cuidado en la selección de la camisa que a la fibra óptica.

La magnitud de la contracción del cable con la temperatura, cuando se trata de un cable trenzado, se determina principalmente por el elemento central alrededor del cual se trenzan las fibras. Este elemento central actúa como un componente rígido y tiene un coeficiente de expansión térmico similar a la fibra de sílice.

**Medios físicos**

En un sistema de fibra óptica, la potencia en transmisión se mide en dBm y la atenuación provocada por la fibra óptica se mide en dB/km. Un sistema de transmisión por fibra óptica es un típico sistema con pérdida o atenuación, sin embargo, estas son mínimas en comparación con otros sistemas.

<b>Atenuaciones permitidas en los dos medios físicos utilizados más comúnmente en TELMEX</b>		
Par Convencional	Digital $\leq 10$ dB Analógico $\leq 8$ dB	Frec. (MHz) 0.1
Fibra Óptica	Fibra monomodo de dispersión normal $\lambda = 1300\text{nm}$ atenuación $\leq 0.40$ dB/km $\lambda = 1550\text{nm}$ atenuación $\leq 0.30$ dB/km	70
	Fibra monomodo de dispersión corrida $\lambda = 1550\text{nm}$ atenuación $\leq 0.25$ dB/km	< 3000

**Unidades.**

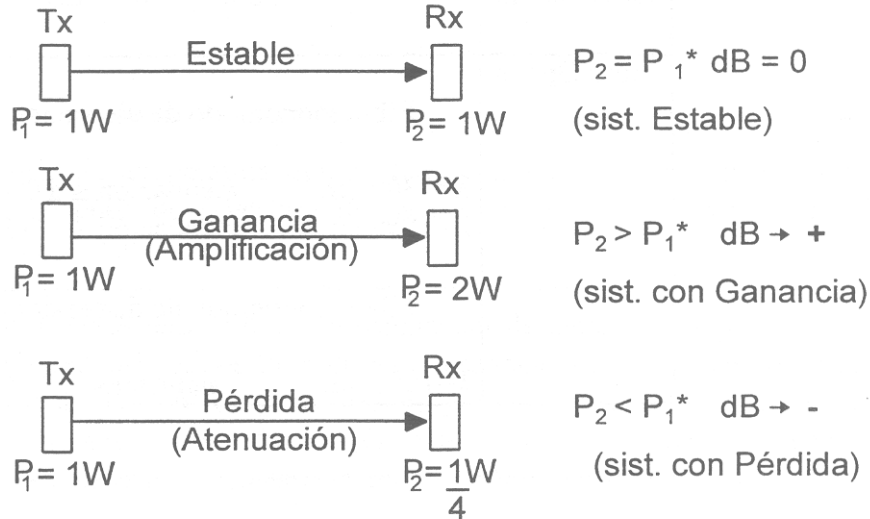
Se define la pérdida o la atenuación en el interior de una fibra como la relación entre las potencias luminosas a la salida y a la entrada, expresada en decibelios y calculada para determinada longitud de onda  $\lambda$ . Literalmente el decibel significa la décima parte de un Bel.

Su definición es:

$$dB = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

**Ejemplo**

Visualizamos con ejemplo y diagramas los tres casos de manifiesto del dB.



\* Se compara la potencia final contra la potencia inicial.

**Fig. 1.16 Atenuación en un enlace**

Cuando en los dB's aparece un subíndice p.ej. dBm, este subíndice (m) me indica que la medición, de los dB's, estará referido a una potencia de 1 miliwatt (mW).

$$dBm = 10 \log \frac{P_2}{1mW} \rightarrow \text{Potencia de referencia}$$



**Coeficiente de atenuación**

El coeficiente de atenuación  $\alpha$  ( $\lambda$ ) depende de la longitud de onda de la luz que se utiliza y se define como la atenuación por unidad de longitud, generalmente en Km., a esa longitud de onda  $\lambda$ . Literalmente el decibel significa la décima parte de un Bel.

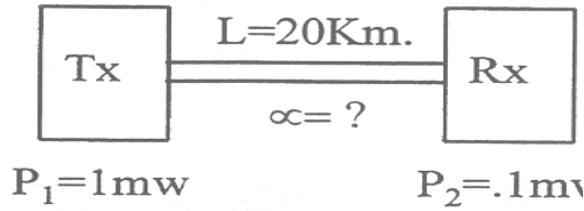


Fig. 1.17

Ejemplo Cálculo del coeficiente de atenuación  $\alpha$  del siguiente sistema:

Aplicado en la formula anterior.

$$\alpha = -0.5 \text{ dB/Km}$$

La perdida del enlace es:

$$\alpha = 10 \log \frac{0.1 \text{ mw}}{1 \text{ mw}} = 10 (\log 0.001 - \log 0.001) \text{ w}$$

$$10 (-4 - (-3) \text{ w})$$

$$10 (-1) \text{ w}$$

$$\alpha = -10 \text{ dB}$$

El signo negativo nos indica que se trata de una atenuación.

**Dispersión**

Es causada, por las características intrínsecas de la fibra y de la anchura espectral de la fuente de luz, sobre la señal en el transcurso del tiempo, lo que provoca ensanchamiento de los pulsos de luz transmitidos a medida que se desplazan en las fibras ópticas y en consecuencia la deformación de los mismos, provocando errores que son los que limitan la calidad de información además de disminuir considerablemente el ancho de banda útil.

La dispersión total en un sistema es la suma cuadrática de 2 efectos:

$$TD^2 = MD^2 + CD^2$$

↑            ↑            ↑  
 Dispersión Total    Dispersión Modal    Dispersión Cromática

Donde:

Dispersión	Descripción
Modal	Se origina debido a que cada uno de los modos que se propagan por la fibra óptica puede seguir una trayectoria distinta en el interior del núcleo. Como además la velocidad de la luz en cada punto depende del índice de refracción, los modos de propagación sufren retardos relativos o que dan lugar a un ensanchamiento temporal de los impulsos de luz. Este efecto lo presenta la F.O. multimodo.
Cromática	Es causada por la variación de las longitudes de onda de la fuente de luz, al propagarse todas las líneas espectrales correspondientes, esta viajan a diferentes velocidades de propagación lo que origina un ensanchamiento en los pulsos. La dispersión cromática puede disminuirse utilizando fuentes de luz con un mínimo ancho espectral para tener la mínima variación de la velocidad de propagación de la luz dentro de la fibra, evitando así un ensanchamiento de los pulsos transmitidos.

### Optimización de la transmisión

Todo ello sugiere la posibilidad de optimizar la transmisión uniendo en una misma longitud de onda la mínima atenuación y la mínima dispersión temporal. Ello se consigue de dos modos posibles:

- Desplazando el punto de mínima dispersión hacia el de mínima atenuación (Técnica de dispersión corrida) y cuyos puntos de trabajo se sitúan en la tercera ventana (por ejemplo 1550nm). Ello se consigue modificando el perfil de índice del núcleo y las condiciones de dopado del mismo.
- Diseñando la fibra de modo que su curva de dispersión sea lo más plana posible y prácticamente casi nula en la región de mínima atenuación, (Técnica de dispersión aplanada). Actualmente esta técnica es de un costo muy alto. En la siguiente Fig.18 se muestra la dispersión como una función de la longitud de onda.

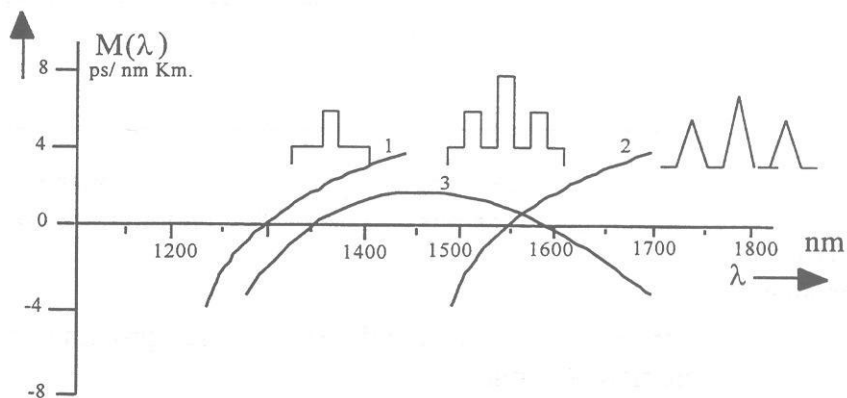


Fig. 1.18 Gráfica de la dispersión

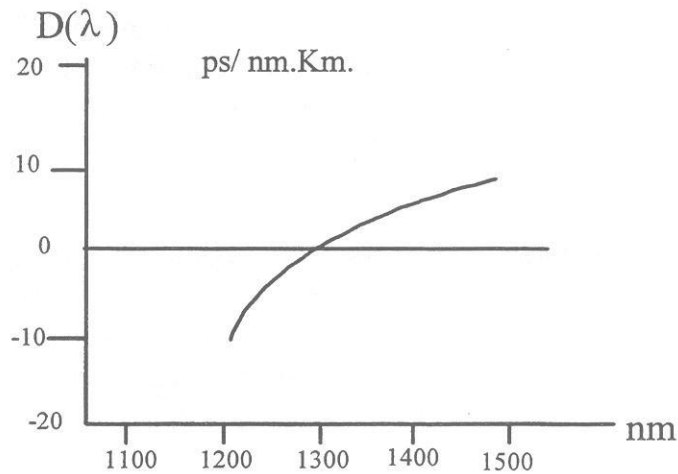
1. Dispersión Normal (perfil de índice escalonado)
2. Técnica de dispersión Corrida (perfil)
3. Técnica de dispersión aplanada.

Los valores promedio máximo para una fibra de dispersión normal son de aproximadamente 3.5 ps/ nm•km a 1310nm., y de 19 ps/nm•km a 1550nm.

Como se observa en las figuras, la fibra de dispersión corrida presenta a 1550nm una mínima atenuación en el punto de mínima dispersión.

### Gráfica del comportamiento de dispersión

En la siguiente figura se observa el comportamiento de la dispersión en función de la longitud de onda.



### Optimización de las características de dispersión

Hemos visto que, por una parte, las atenuaciones mínimas se producen, salvo picos provocados por los iones  $\text{OH}^+$  en longitudes de onda que van de 1200 a 1600nm.

Por otro lado, para longitudes de onda próximas a 1300nm, la dispersión cromática es mínima.

## 1.5 Sistemas de transmisión con Fibra Óptica

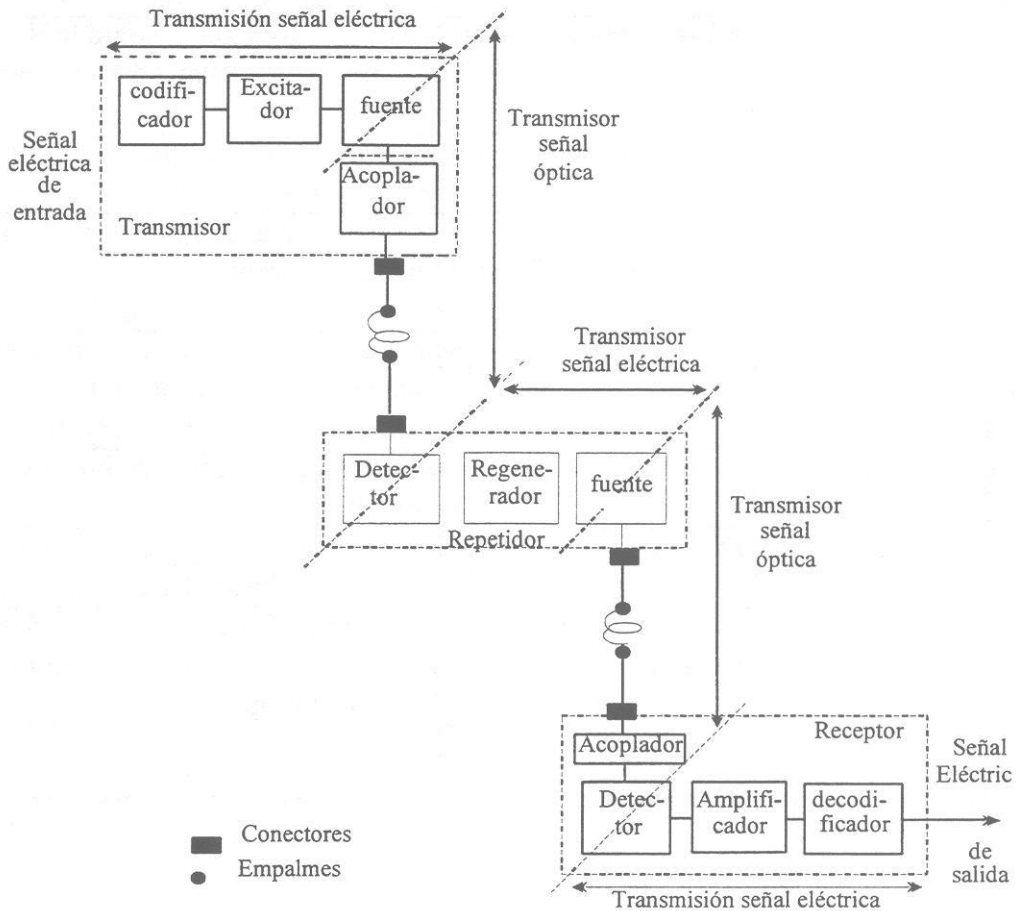
### OLTE

El elemento básico de un sistema de transmisión por fibra óptica es el equipo terminal de línea óptica (OLTE) al comienzo y final de la transmisión óptica y, en el caso de distancias prolongadas serán, los regeneradores intermedios.

### Elementos de un sistema

Los elementos fundamentales que constituye un sistema de transmisión con fibra óptica son: codificador, excitados, fuente emisora de luz, modulador, acoplador de transmisión, canal de información (fibra óptica), regenerador de señal, acoplador de recepción, detector (foto diodo) y un procesador de señal.

La siguiente figura describe el diagrama a bloques básico que constituyen un sistema de transmisión con fibra óptica.



**Elementos de un sistema de F.O.**

En la siguiente tabla se describen los elementos fundamentales que constituyen un sistema de transmisión con fibra óptica.

Elemento	Descripción
<b>Codificador</b>	En transmisión digital, detecta los datos de información, los regenera y ordena en el tiempo con símbolos apropiados para el circuito de la fuente.
<b>Excitador</b>	Modula la corriente que fluye a través de la fuente para producir la señal óptica deseada.
<b>Fuente (Diodo LÁSER o LED)</b>	Provee la onda portadora por medio de la conversión electro-óptica (E/O), corriente de luz.
<b>Modulador</b>	Coloca la información sobre la portadora (si la fuente no puede ser modulada directamente por el circuito excitador)
<b>Acoplador de Tx</b>	Acopla la luz modulada en el canal de información (Fibra Óptica)
<b>Canal de información (Fibra Óptica)</b>	Es el medio que conduce la señal óptica del transmisor-receptor
<b>Regenerador</b>	Aumenta la amplitud y corrige la forma de la señal que se ha deformado durante la transmisión, solo se usará en enlaces que rebase los 75 kms.
<b>Acoplador de Rx</b>	Acopla la luz del canal de información (fibra óptica) en el detector.
<b>Detector (Fotodiodo)</b>	Convierte la señal óptica en una señal eléctrica (convertor opto-eléctrico O/E, luz a corriente)
<b>Procesamiento de la señal</b>	Filtros, amplificadores, ecualizadores, decodificadores, etc., que convierten la señal eléctrica del detector en una forma apropiada para su uso

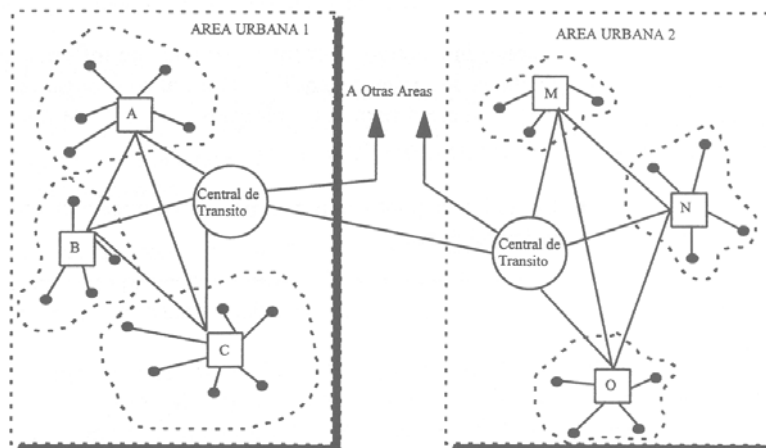
### La fibra óptica en redes pública

Las redes públicas urbanas de enlaces comprenden los circuitos que unen a diferentes centrales de un núcleo urbano para la comunicación de cualquier usuario de una de ellas con cualquier otro de las demás. Estas redes forman estructuras en forma de mallas, de modo que, normalmente, cada central tiene acceso directo a todas las demás de ese núcleo urbano.

En los enlaces de redes Urbanas, las distancias medias entre centrales son de 5-10 Km. (varían de acuerdo al lugar, puede ser mayor) por lo que se permite trabajarlas sin regeneración con fibras del tipo monomodo en la ventana de 1300nm.

En cuanto a la velocidad de transmisión, actualmente se instalan sistemas SDH (Jerarquía Digital Síncrona) en la modalidad de STM 1 (155 Mb/s), STM 4 (622 Mb/s) y STM 16 (2.5 Gb/s), aunque la mayoría de los que están en explotación son de 140 Mb/s y 565 Mb/s.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de planificación de redes en dos áreas urbanas:



Fibra en redes pública

### La fibra óptica en comunicaciones interurbanas

La longitud de los enlaces de estas redes es muy variable, las cuales oscilan por arriba de los 50 km. En los sistemas actuales de fibra monomodo con longitudes de onda de 1550nm para velocidades de 140 Mb/s y velocidades de 656 Mb/s se alcanzan enlaces sin regeneración de 80 km en promedio.

Los regeneradores se colocan en centrales existentes a lo largo de la ruta evitando así la necesidad de su telealimentación. En cuanto a velocidades de transmisión, predominan los enlaces a 565 Mb/s, y en tecnología SDH, los enlaces STM 16 a 2.5 Gb/s.

Actualmente para el eficiente transporte de información transportada, además del servicio de banda estrecha, como la telefonía con sus facilidades adicionales, se deben incorporar servicios como:

- Distribución de programas (uno o varios canales de televisión y sonido Hi Fi)
- Acceso interactivo a diversos servicios de información, tales como bancos de datos de carácter científico, cultural o empresarial. Este tipo de servicios estará sujeto a retardos y bloqueo, no así el de distribución de programas que es unidireccional.
- Conexiones punto a punto para comunicación entre abonados como el vídeo teléfono.

## CAPÍTULO 2 CABLES, EMPALMES, CONECTORES Y DISTRIBUIDOR DE FIBRAS.

La interconexión y acoplamiento de fibras ópticas con diferentes dispositivos, tales como fuentes de luz y detectores, requieren de especial cuidado, ya que en una instalación se deben reducir al mínimo las pérdidas causadas por uniones de fibras ópticas necesarias en el sistema.

El incremento en las pérdidas de un enlace es el factor más importante que introduce cualquier unión de fibras ópticas, por lo cual, deben considerarse sus causas y la magnitud de sus efectos.

En este capítulo mostramos las características propias de los dispositivos de interconexión, utilizados en un Sistema de Transmisión por Fibra Óptica.

### 2.1 Cables ópticos

Una fibra óptica, resultado del proceso de formación de fibras, se asemeja a un cabello largo; su diámetro exterior puede ser pequeño (de 100 a 150  $\mu\text{m}$ ) y puede utilizarse comercialmente en telecomunicaciones. Aunque teóricamente una fibra óptica tiene gran resistencia, sus propiedades ópticas y mecánicas se ven muy afectadas por el medio ambiente, de modo que, es necesario cablear la fibra para mantener estables sus características de transmisión y facilitar la instalación del enlace óptico. Un cable de fibras ópticas o cable óptico puede contener una sola o muchas fibras. El cable óptico debe asegurar un medio ambiente adecuado para las fibras y facilitar su manejo; por lo menos, de manera tan fácil como la de los cables metálicos clásicos.

#### Diseño de cables

Con el propósito de proteger, a las fibras ópticas, del manejo, uso y efectos del medio ambiente, las fibras se arman en cables. El diseño básico del cable óptico se muestra en la siguiente figura.

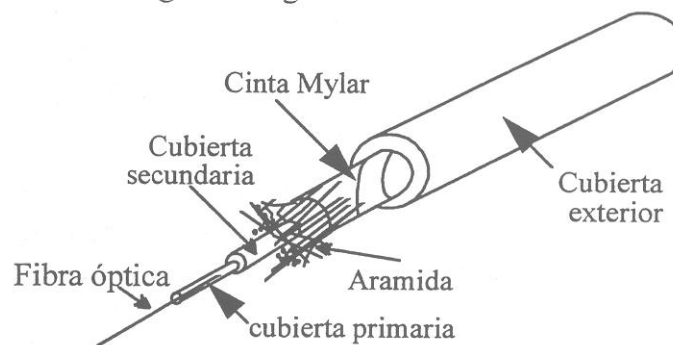


Fig. 2.1

El propósito es proteger la fibra óptica contra:

1. Abuso mecánico por impacto, aplastamiento, presión, flexión o tensión, los cuales provienen de la instalación y del mantenimiento.
2. Temperaturas extremas.
3. Entrada de agua, que puede producir efectos de corrosión o tensiones debido a la congelación.
4. Deterioro químico de los materiales de la camisa del cable.
5. Humo o gases venenosos que se generan en las aplicaciones plenas.
6. Deterioro y atenuación provocada por la radiación.
7. Daños producidos por los roedores en los cables enterrados y por los tiburones en los cables submarinos.

Las fibras ópticas deben disponerse en cables sin que sus características de transmisión se vean degradadas y se mantengan estables por toda la vida de diseño del cable, o sea, por 30 años.

Todas las fuerzas, ya sea radiales y axiales, actúan sobre la fibra óptica y por supuesto, cualquier momento de doblez provocará que las características de la fibra se desvíen. Para prevenir estos efectos, el diseño del cable debe ya sea aislar sustancialmente, las fibras de las fuerzas externas que actúan sobre los cables, o al menos, acojinar las fibras, de manera que estas fuerzas no se conviertan en serias deformaciones.

La segunda consideración de importancia es la probabilidad de ruptura de la fibra.

### Revestimiento para los cable de fibra óptica

Existen cuatro tipos de revestimiento, los cuales son básicamente resinas epoxicas:

- 1) Termo fraguado (tipo plástico) preparado para UV
- 2) Termoplástico (resina sintética que al calentarse se ablanda y al enfriarse recobra su forma original) preparado con calor.
- 3) Termo fraguado preparado con color
- 4) Combinaciones de los tres

Estos revestimientos están disponibles en dos tamaños 250 y 500  $\mu\text{m}$ . El revestimiento de 250  $\mu\text{m}$  se utiliza generalmente para construir un separador en tubo holgado (de 1 a 3mm), y el de 500 $\mu\text{m}$  para cables con separado apretado ( de 0.5 a 1mm). El revestimiento más delgado mejora la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción y la resistencia a las pérdidas por dobleces.

### Estructuras separadoras de tubo

En el proceso de fabricación, hay dos posibilidades para el tipo de construcción de la estructura separadora de tubo.

- 1) Amortiguador apretado, que es comúnmente un plástico duro o semiduro, que se encuentra en íntimo contacto con la fibra recubierta.
- 2) Amortiguador de relleno, en el cual la capacidad sobredimensionada (vacía) del tubo extruido o ranura del cable se rellena con un compuesto resistente a la humedad para excluir la presencia de agua.

La estructura de tubo ajustado proporciona una mayor resistencia a la compresión y a la tensión. Sin embargo, aumenta la sensibilidad del cable a los efectos de las temperaturas extremas.

La configuración de tubo holgado (rellenos) se utiliza principalmente en cables de fibra monomodo para minimizar las tensiones axial y longitudinal en la fibra durante la instalación o por la contracción térmica (o expansión). La estructura de tubo holgado también permite una mayor densidad de empaque de las fibras. En un mismo tubo pueden acomodarse típicamente de 6 a 12 fibras.

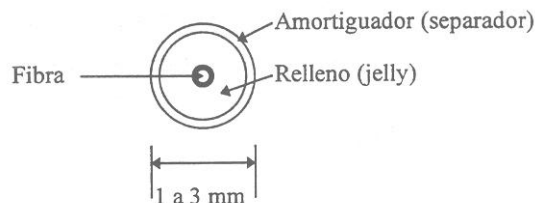


Fig. 2.2

### Elementos de refuerzo

Para minimizar las características de elongación y contracción del cable, se le agregan elementos de refuerzo.

Las propiedades de estos se indican en la siguiente tabla:

**Características selectas de los elementos tensores de los cables ópticos**

Tipo	Carga de ruptura lb	Diámetro, pulg	Elongación de ruptura, %	Peso, lb/100pie
Fibra de vidrio	480	0.045	3.5	1.4
Kevlar	944	0.093	2.4	1.8
Acero	480	0.062	0.7	7.5

Para aplicaciones interiores por lo general se acostumbra una capa de Kevlar que rodea el tubo primario que contiene la fibra. Para aplicaciones exteriores, aéreas o de enterramiento directo, el elemento estructural central es normalmente una combinación de acero, fibra de vidrio epóxica o Kevlar. Sirve como corazón alrededor del cual se trenzan las fibras amortiguadas.

### Carga de tracción sobre el cable

Para prevenir la generación de efectos permanentes en las propiedades de la fibra durante la instalación, la máxima fuerza de tracción debe limitarse alrededor de 182 Kgf (400 lb). Esto debe ser adecuado para el cable y la mayor parte de las instalaciones en ductos. Por ejemplo, una carga de tracción de 13 Kgf (29 lb) es la que se requiere normalmente para tirar de 1 km de cable de 1.6 cm de diámetro a través de un conducto de múltiples curvas. Pueden utilizarse tubos de polietileno o lubricante para reducir la fricción entre la camisa del cable y las superficies interiores del ducto.

Por lo general, la carga en el extremo del cable del que se tira se hace cada vez mayor durante la instalación.

## Tipos de cables ópticos

### Tipos de cables

Los cables ópticos se dividen por su uso en:

- Cables para interiores.
- Cables para exteriores.
- Cables especiales.

A continuación se describe cada uno de ellos.

### Cables para Interiores

Los cables para interiores son los que se usan dentro de los edificios, o de la llamada planta interna, estos cables en general deben tener buena flexibilidad y ser no propagadores de la flama, por lo regular son totalmente dieléctricos y contienen una sola fibra.

Los cables monofibra nos sirven para interconectar equipo óptico (jumper óptico) ó bien los utilizamos para rematar las fibras del cable que llega del exterior (pig-tail) en un distribuidor de fibras ópticas.



La construcción típica de este tipo de cables monofibra es como se muestra en la siguiente figura.

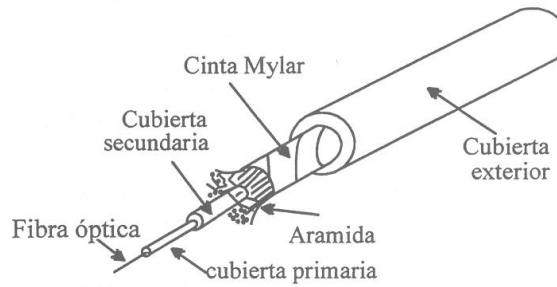


Fig. 2.3

La siguiente tabla describe los componentes del cable monofibra para interiores.

Componente	Descripción
Cubierta exterior	Esta cubierta es de PVC o de polietileno
Cinta mylar	Se usa como barrera térmica
Aramida	Sirve como elemento de tensión transversal y longitudinal totalmente dieléctrico
Cubierta secundaria	Mide aproximadamente 1mm de diámetro
Gel de petrolato	Se usa como elemento inundante dentro de la protección secundaria para bloqueo de humedad
Cubierta primaria	Mide aproximadamente de 250 $\mu\text{m}$ de diámetro
Fibra Óptica	Mide aproximadamente 125 $\mu\text{m}$ de diámetro

Cuando lleva dos fibras (dúplex) su construcción es la de dos cables monofibras unidos por medio de una lengüeta en la cubierta externa.

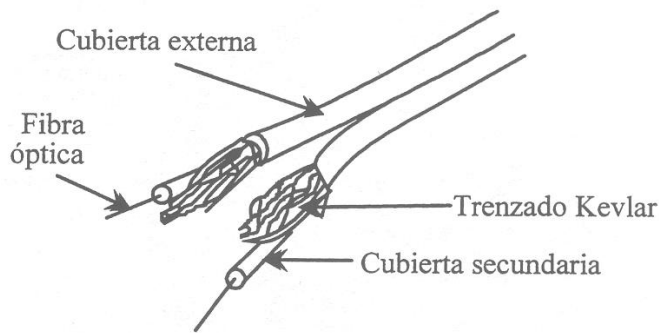


Fig. 2.4 Estructura de cables para interiores.

En los cables multifibra se da una infinidad de diseños caracterizándose todos ellos en tener la cubierta externa de PVC antifuego, y en no llevar armaduras.

### Cables ópticos para exteriores

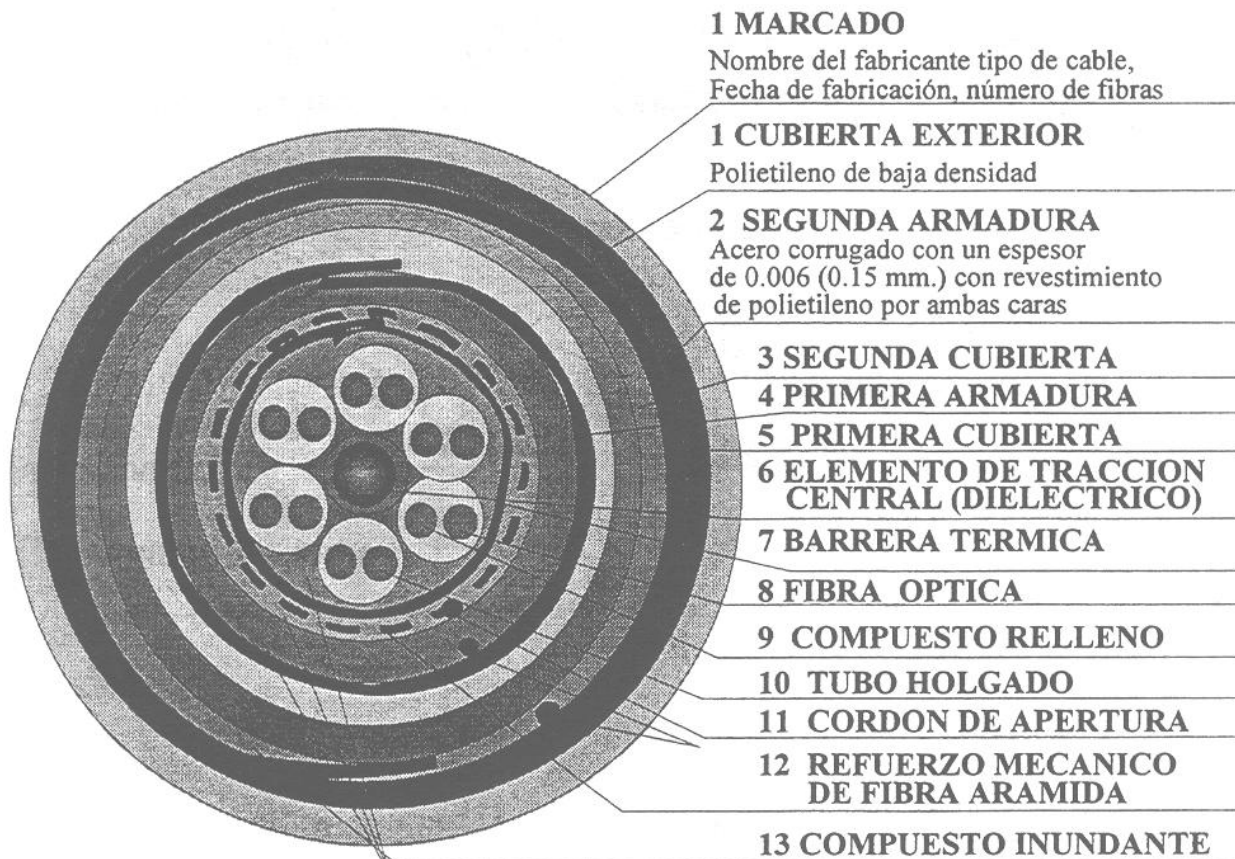
Los cables para exteriores son por lo regular cables multifibra en diferentes capacidades (6, 12, 24, 36, 48, 72, o más fibras ópticas)

Son diseñados para ser instalados en diferentes lugares como:

- En el aire
- Enterrado
- Conducido por ducto
- Bajo el agua

Algunas consideraciones importantes para la instalación y el mantenimiento son: la facilidad de manejo, tiempo de empalme, operaciones de terminación, tiempo de reparación y estabilidad en las características de transmisión.

Los cables ópticos para exteriores tienen básicamente la siguiente construcción.



Estructura de los cables ópticos para exteriores

Fig. 2.5

### Cables especiales

Este tipo de cables se fabrican especialmente para satisfacer alguna demanda específica, con diferentes tipos de estructuras de acuerdo a su uso y condiciones de operación, por ejemplo:

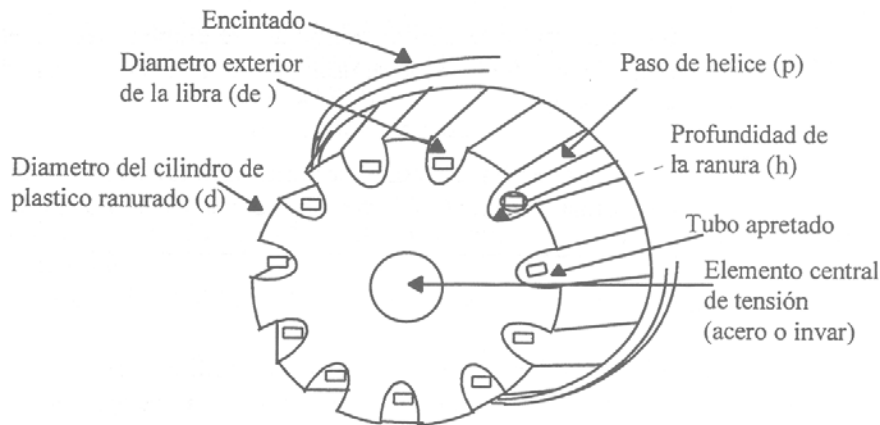
- Cable de núcleo ranurado
- Cable con elemento de tensión exterior.

A continuación se describe cada uno de ellos.

#### Cable de núcleo ranurado

Este diseño incorpora al miembro central de tensión una cubierta plástica de gran espesor con ranuras en la periferia (de 6 a 12 ranuras) que van en forma helicoidal. En estas ranuras se alojan las fibras, estas fibras pueden ir con cubierta secundaria de tubo apretado, o bien, únicamente con cubierta primaria, pudiendo ir en cada ranura más de una fibra dependiendo de la densidad de fibras que requieren en el cable. Los espacios libres que no son ocupados por la fibra son llenados con jelly, y posteriormente encintados con mylar, formándose así el núcleo del cable.

La desventaja principal de esta estructura es que se obtienen cables con dimensiones mayores que con la de elemento central, ocasionando que su radio mínimo de curvatura sea más grande y el cable en general es un poco más difícil de preparar para labores de empalme y terminación.



Núcleo ranurado

Fig. 2.6

#### Cable con elemento de tensión exterior

Este diseño emplea un elemento de tensión externo, el cual envuelve a las fibras, estas fibras pueden encontrarse reunidas por medio de una espiral de plástico, o bien unidas a una cinta plástica formando una estructura rectangular compacta.

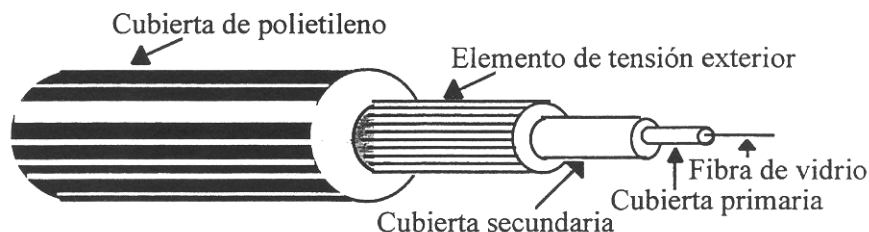


Fig. 2.7 Estructura de un cable con elemento de tensión exterior

Las fibras ópticas pueden ir únicamente con cubierta primaria o con cubierta secundaria de tubo apretado. En general este tipo de diseño se emplea cuando se requiere una muy alta densidad de fibras con dimensiones muy reducidas, o bien cuando requerimos una muy alta resistencia a la tensión.

Sin embargo, este tipo de estructura se emplea frecuentemente en los cables monofibra y dúplex que se usan para la interconexión a los equipos (pig tails y jumpers)

Sobre el miembro de tensión externo se colocan los demás elementos que conforman el cable (cubiertas, armaduras, barreras contra la humedad, etc.)

### Cables de fibra óptica usados en TELMEX

Identificación TELMEX	Características principales	No de Fibras
TM1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Núcleo de Tracción (Metálico o Dieléctrico)</li> <li>• Armadura sencilla</li> <li>• Fibra óptica de Dispersión normal</li> </ul>	6
		12
		18
		24
		36
72		
TM4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Núcleo de Tracción (Dieléctrico)</li> <li>• Refuerzo de fibra Aramida</li> <li>• Con doble armadura</li> <li>• Fibra Óptica Dispersión Normal</li> </ul>	6
		12
		18
		24
		36
72		
TM7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Núcleo de Tracción Metálico o no Metálico</li> <li>• Armadura sencilla</li> <li>• Fibra Óptica de Dispersión Corrida</li> </ul>	6
		12
		18
		24
		36
72		
TM8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Núcleo de Tracción no Metálico</li> <li>• Refuerzo de fibra Aramida</li> <li>• Con doble armadura</li> <li>• Fibra Óptica</li> <li>• Dispersión Corrida</li> </ul>	6
		12
		18
		24
		36
72		

- Los cables TM1 y TM4, contienen fibras ópticas monomodo de dispersión normal.
- Los cables TM7 y TM8, contienen fibras monomodo de dispersión corrida.

Los cables a utilizar, contienen tubos holgados con diferente capacidad de fibras ópticas en su interior. A continuación se detalla la forma en que se distribuyen las fibras, dependiendo del año de fabricación y cantidad.

**TM1**

Las características de cables de fibra óptica tipo TM1 son los siguientes:

Numero de fibras	Numero de fibras por tubo	Diámetro del cable (mm)	Peso aprox. (kg/km)	Longitud del cable en carrete (m)
6	6 fibras/tubo y 5 de relleno	13.2	170	
12	2 fibras/tubo	13.2	170	
18	3 fibras/tubo y 3 tubos de relleno			
24	4 fibras/tubo y 6 fibras/tubo	14.9	220	
36	6 fibras/tubo	14.9	220	
72	12 fibras/tubo	17.7	330	

**TM4**

Las características de cables de fibra óptica tipo TM4 son los siguientes:

Numero de fibras	Numero de fibras por tubo	Diámetro del cable (mm)	Peso aprox. (kg/km)	Longitud del cable en carrete (m)
6	2 fibras/tubo y 3 de relleno 6 fibras/tubo y 5 de relleno			
12	2 fibras/tubo	16.2	290	
18	6 fibras/tubo y 3 tubos de relleno	17.3	310	
24	4 fibras/tubo y 6 fibras/tubo			
36	6 fibras/tubo			
72	12 fibras/tubo			

**TM7**

Las características de cables de fibra óptica tipo TM7 son los siguientes:

Numero de fibras	Numero de fibras por tubo	Diámetro del cable (mm)	Peso aprox. (kg/km)	Longitud del cable en carrete (m)
6	2 fibras/tubo y 3 de relleno 6 fibras/tubo y 5 de relleno	11.5	250	4,200
12	2 fibras/tubo	13.0	2.70	4,200
18	6 fibras/tubo y 3 tubos de relleno	13.0	2.70	4,200
24	4 fibras/tubo y 6 fibras/tubo			
36	6 fibras/tubo			
72	12 fibras/tubo			

**TM8**

Las características de fibra óptica tipo TM8 son los siguientes:

<b>Numero de fibras</b>	<b>Numero de fibras por tubo</b>	<b>Diámetro del cable (mm)</b>	<b>Peso aprox. (kg/km)</b>	<b>Longitud del cable en carrete (m)</b>
	2 fibras/tubo y 3 de relleno	13.5	330	4,200
	2 fibras/tubo	15.5	350	4,200
	6 fibras/tubo y 3 tubos de relleno	18.0	370	4,200
24	4 fibras/tubo y 6 fibras/tubo			
36	6 fibras/tubo			
72	12 fibras/tubo			

## Características de las fibras ópticas

Como se vio en el capítulo 1, existen varios tipos de fibras ópticas, cada una con características específicas para utilizarse en diferentes sistemas.

Los cables de fibras ópticas que se utilizan en TELMEX contienen fibras monomodo de dispersión normal y de dispersión corrida, como se muestra en las tablas anteriores.

A continuación tenemos las características de cada una de ellas.

### Fibra óptica monomodo de dispersión normal

Las características más importantes de la fibra óptica monomodo, de dispersión normal, que se encuentran en los cables ópticos TM1 y TM4, se muestran en la siguiente tabla.

Características	Rango o medida
Atenuación	<dB/km @ 1300-1310nm <dB/km @ 1550nm
Longitud de onda de corte de fibra	1190 nm $<\lambda_c < 1330$ nm
Diámetro del modo propagación	9.30 $\pm$ 0.5 $\mu$ m @ 1300nm
Longitud de onda de dispersión cero	1301.5 nm $<\lambda_o < 1321.5$ nm
Diámetro del núcleo	8.3 $\mu$ m
Diámetro del revestimiento	125.0 $\pm$ 2.0 $\mu$ m
No circularidad del revestimiento	<2%
Diámetro de protección primaria	250 $\pm$ 15 $\mu$ m
Concentricidad de protección primaria	>0.70
Índice de refracción	1.470 @ 1300nm

### Fibra óptica monomodo con técnica de dispersión corrida

Las características más importantes de la fibra óptica monomodo de dispersión corrida, en los cables ópticos identificados como TM7 y TM8, tiene las siguientes características.

Características	Rango o medida
Atenuación	0.25 dB/km @ 1550nm
Longitud de onda de corte de fibra	1200nm $\pm$ 100nm
Diámetro del modo propagación	8.10 $\pm$ 0.65 $\mu$ m @ 1500nm
Longitud de onda de dispersión cero	$\leq 2.7$ ps (nm•km) rango de 1525 a 1575 nm
Diámetro del revestimiento	125.0 $\pm$ 2 $\mu$ m
No circularidad del revestimiento	<2%
Diámetro de protección primaria	250 $\pm$ 15 $\mu$ m
Concentricidad de protección primaria	$\geq$ 0.70
Índice de refracción	1.476 @ 1550nm

**Código de colores**

**Descripción**

En TELMEX encontramos, cables para exteriores con la siguiente estructura.

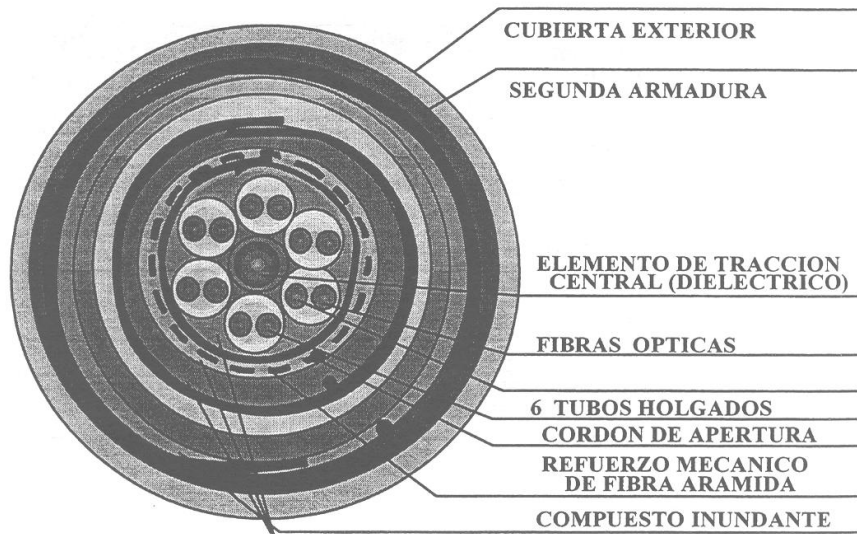


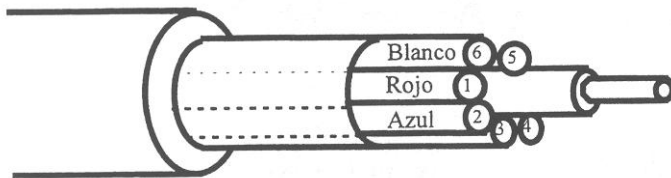
Fig. 2.8

Este tipo de cable es llamado comúnmente, cable de tubo holgado, la capacidad varía de 6 a 72 fibras ópticas. Para evitar confusión en el empalme de cables ópticos, es necesario identificar cada fibra de acuerdo a un código de colores.

El código de colores varía dependiendo del fabricante y de la estructura del cable. A continuación tenemos las tablas con el código de colores, para los cables de tubo holgado.

**Cable de tubo holgado**

El código de colores en este cable empieza por enumerar los tubos de acuerdo a la siguiente tabla.



Número de tubo	Color
1.	Rojo
2.	Azul
3.	Blanco
4.	Blanco
5.	Blanco
6.	Blanco

Fig. 2.9



A partir del segundo semestre de 1994 el código para los tubos es el siguiente:

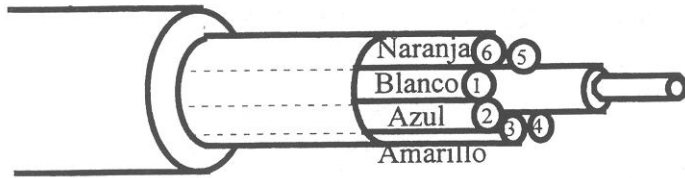


Fig. 2.10

Número de tubo	Color
1.	Blanco
2.	Azul
3.	Amarillo
4.	Rojo
5.	Verde
6.	Naranja

Dentro de cada tubo el código de colores para las fibras ópticas no cambia y se muestra a continuación:

Número de fibra	Natural
1.	Natura
2.	Azul
3.	Amarillo
4.	Rojo
5.	Verde
6.	Naranja
7.	Violeta
8.	Café
9.	Gris
10.	Negro
11.	Rosa
12.	Blanco

**Cable unitubo**

El cable unitubo es de pequeñas dimensiones debido a su estructura. Las principales partes que componen este cable se ven en la siguiente figura.

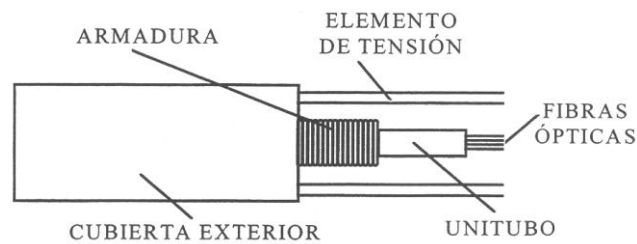


Fig. 2.11

- Contiene dos elementos de tensión laterales, que le dan soporte y resistencia a la tracción longitudinal y transversal.
- Armadura de tipo corrugado, para protección contra roedores.
- La cubierta secundaria consiste de un solo tubo holgado, con diámetro aproximado de 1 cm.
- Como bloqueo contra la humedad se utiliza el de petrolato.

- En el interior de la cubierta secundaria, se encuentran las fibras ópticas con cubierta primaria e inundada con gel de petrolato.

Las fibras ópticas en este tipo de cable se agrupan con cintas identificadores de colores, de acuerdo a la siguiente tabla.

No. de fibra	Lxe. (A.T.&T)	Unitubo Alcatel
1.	Gpo. Azul. Azul	Azul
2.	Naranja	Naranja
3.	Verde	Verde
4.	Café	Café
5.	Gris	Plata o Gris
6.	Blanco	Blanco
7.	Cpo. Naranja. Azul	Azul
8.	Naranja	Naranja
9.	Verde	Verde
10.	Café	Café
11.	Gris	Plata
12.	Blanco	Blanco
13.	Gpo. Verde. Azul	Azul
14.	Naranja	Naranja
15.	Verde	Verde
16.	Café	Café
17.	Gris	Plata
18.	Blanco	Blanco
19.	Gpo. Café. Azul	Azul
20.	Naranja	Naranja
21.	Verde	Verde
22.	Café	Café
23.	Gris	Plata
24.	Blanco	Blanco

### Cable óptico submarino

Los cables submarinos tienden a convertirse en el principal medio de telecomunicación del próximo siglo, pues proporcionan mayor seguridad que los satélites y las microondas, son inmunes a la interferencias y operan con mayores capacidades y velocidades de transmisión.

En diciembre de 1994 fue puesto en operación el Sistema Trasatlántico de Cable Submarino de Fibra Óptica Columbus II, por medio del cual Teléfono de México proporciona a los clientes mayor confiabilidad y seguridad en sus comunicaciones de larga distancia internacional, con menores interferencias y mayor calidad, desde hoy hasta el año de 2015.

Este cable submarino es capaz de transmitir señales de voz, datos e imágenes, con una capacidad de 23 mil canales, lo que representa incrementos del 500% en capacidad y velocidad con respecto a los medios disponibles actualmente. Con ello se pueden transmitir simultáneamente hasta 320 mil llamadas telefónicas y opera una velocidad de transmisión de 565 Mb por segundo por cada par de fibra.

Su extensión total es de 12.200 km, con puntos de amarre en Cancún, México, Estados Unidos, España, Portugal e Italia. Tiene una vida útil de 25 años y una confiabilidad de solo cuatro fallas de diseño en dicho lapso.

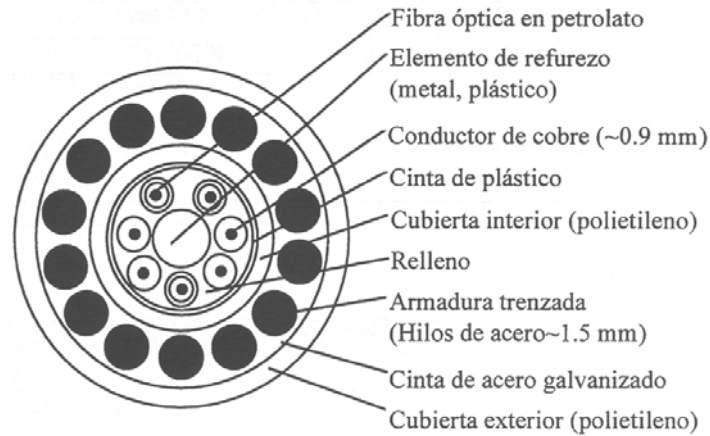
Desde junio de 1995 el 65% de tráfico internacional ente México y Europa que anteriormente se manejaba vía satélite, se transmite a través del nuevo sistema de cable submarino de fibra óptica Columbus II.

El Columbus II representa el más ambicioso proyecto multinacional impulsado por una empresa hispanoamericana para proporcionar servicios de transmisión avanzada y satisfacer las necesidades de comunicación desde ahora y hasta más allá de los albores del próximo siglo.

### Estructura de los cables submarinos

Los cables submarinos requieren diseños apropiados a las exigentes condiciones mecánicas a que se ven sometidos. De hecho, la estructura del cable depende de que sea para aguas profundas o para la plataforma continental.

La siguiente figura muestra la estructura de este tipo de cable.



Estructura del cable submarino

Fig. 2.12

Se identifica un núcleo óptico (en este caso: 3 fibras) alrededor de un elemento central de refuerzo, este núcleo va encerrado dentro de un trenzado de hilos de acero y protegido por una cinta plástica y una cubierta de polietileno. Los hilos de acero se cubren con una cinta de acero, encima de la cual se aplica la cubierta exterior de polietileno.

### Especificaciones técnicas

La tabla reúne algunas características mecánicas exigibles para estos tipos de cables, distinguiendo entre aguas profundas y plataforma continental.

Parámetro	Cable para aguas profundas	Cable de plataforma continental
Resistencia a la tracción	9-11 TM	≅ 8TM
Elongación máxima	≤ 0.5%	≤ 0.65% -0.5%
Radio de curvatura	≤ 0.75%	≤ 1.25 m
Carga lateral	≥ 15TM/M	≥ 6TM/m
Profundidad máxima	7-8000 m	

## 2.2 Empalmes

Las uniones de fibras pueden ser fijas o temporales, en las primeras la unión se lleva a cabo por un empalme permanente, y en las segundas se utilizan conectores que pueden ser removibles.

El tipo de unión que se elija dependerá de las necesidades y de la instalación por ejemplo, si se requiere una unión permanente de tramos largos de fibra óptica con muy bajas atenuaciones, se hace un empalme de fusión, por otra parte cuando se necesita reparar rápidamente un corte de fibra, se utilizaran los empalmes mecánicos.

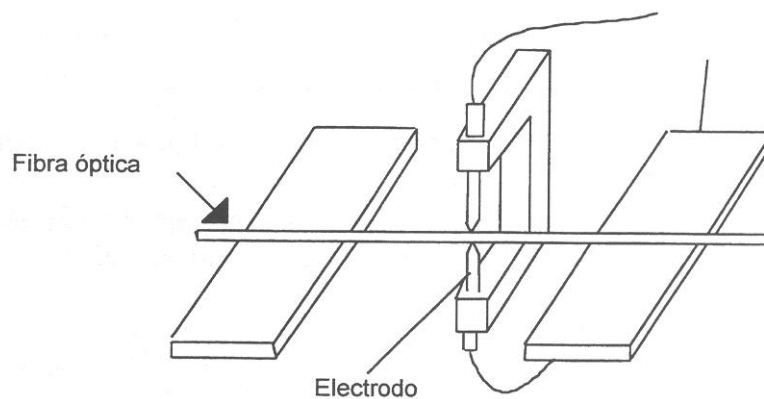
Se habla de empalmes cuando se refiere a una interconexión permanente de fibras ópticas. Cuando se realiza la interconexión entre fibras, los núcleos deben estar alineados entre si para tener un empalme de bajas pérdidas. El pequeño diámetro de las fibras hace de este factor un elemento crítico.

### Tipos de empalmes

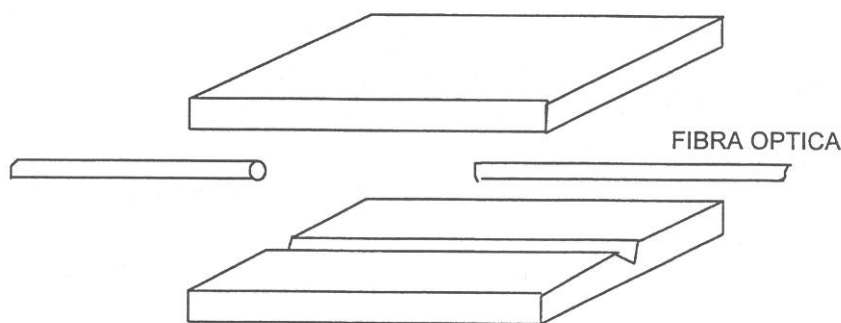
Los tipos de empalme de fibras ópticas que se manejan actualmente son:

- Empalmes sobre sustrato ranurado (Mecánico)
- Empalmes de fusión por arco eléctrico.

En la Fig.1 se muestra en forma sencilla los dos tipos de técnica de empalme.



a) Empalme de fusión por arco eléctrico



b) Empalme mecánico.

Fig. 2.13 Tipos de empalmes

## Empalmes mecánicos.

Cuando se tiene un corte de fibra óptica, y se necesita restablecer inmediatamente el servicio, utilizaremos empalmes mecánicos. Este tipo de empalme no debe ser permanente, debido a las pérdidas que produce.

En enlaces de corta distancia, donde se pueden tolerar pérdidas considerables, se utilizan empalmes mecánicos en los cuales las fibras son unidas a través de diferentes métodos como:

- Varillas (de acero o vidrio)
- Ranura en forma de V.
- Elastomérico.
- Otros métodos.

### Métodos de varillas

Este es uno de los primeros métodos utilizados de empalmes mecánicos. Por lo general se utilizan tres, o más varillas (de acero o vidrio), acomodadas según la Fig.2, para que en el orificio central se alinien las fibras a unir.

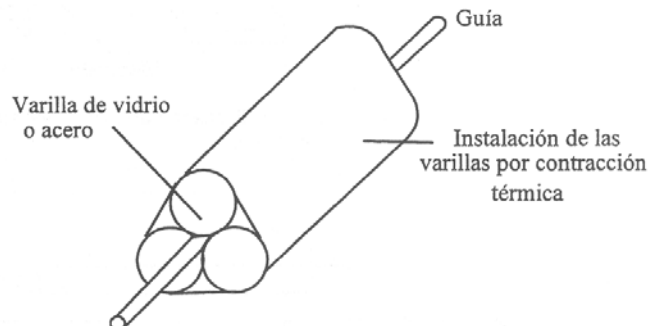


Fig. 2.14 Empalme mecánico por método de varillas.

Se puede agregar una sustancia epóxica para adherir las fibras y además actuar como acoplador óptico.

Las varillas son de un diámetro mucho mayor que el de la fibra y deben tener dimensiones muy precisas con tolerancias menores a  $0.04^*m$ .

### Métodos de ranura en V

El método más usado de empalme mecánico es el de ranura en V (V-Groove), en el que las fibras ya cortadas y preparadas se colocan en ambos extremos de una ranura acanalada en forma de V, que alinea las fibras para la unión, y se agrega un adhesivo con un índice de refracción igual al del núcleo de la fibra.

La unión se logra mediante una tapa que sujete las fibras, manteniéndolas en contacto. El material acanalado puede ser silicón, material cerámico, acero o aluminio. Las fibras se unen en la mitad del canal y se ponen en contacto con la ayuda de bloques móviles; supervisando la unión ya sea a simple vista o con una lupa.

Existen distintos tipos de empalmes con el método de ranura en "V", el más sencillo utiliza una tapa plana, como la mostrada en la figura a). También puede utilizarse una tapa con otra ranura en "V" como se ve en la figura b) e inclusive existe un diseño con 3 secciones ranuradas (ver las

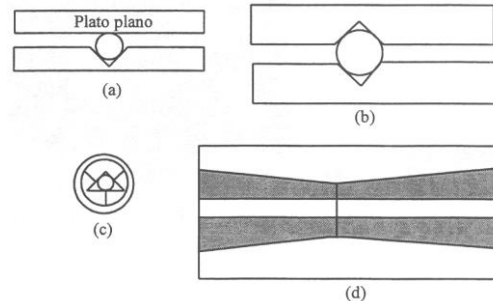


Fig. 2.15 Empalme mecánico por ranura en V

figuras c) y d)), éstas ofrecen una alineación de la fibra en forma más precisa, con la desventaja que requieren de precisión lo cual, eleva el costo.

En este método se tiene la limitación de unir sólo fibras con diámetros de revestimiento iguales con una alta concentricidad. Las ventajas del método son: su facilidad y su rapidez de elaboración.

#### Método elastomérico

Otro método de empalme es el elastomérico, que consiste en dos tubos de materiales elásticos con un pequeño orificio en el centro y de diámetro ligeramente menor que el del revestimiento de la fibra, con un ensanchamiento en ambos extremos del orificio para facilitar la inserción de la fibra. Cuando se efectúa la inserción, el diámetro del orificio se expande de tal forma, que el material elástico ejerce una fuerza simétrica sobre la fibra. Esta pureza hace que los ejes de las fibras a unir, queden automáticamente alineadas sin importar si son de diferente diámetro.

Además, con ello se eliminan las fallas angulares y radiales reduciendo las pérdidas en el empalme. Ver la Fig.4.

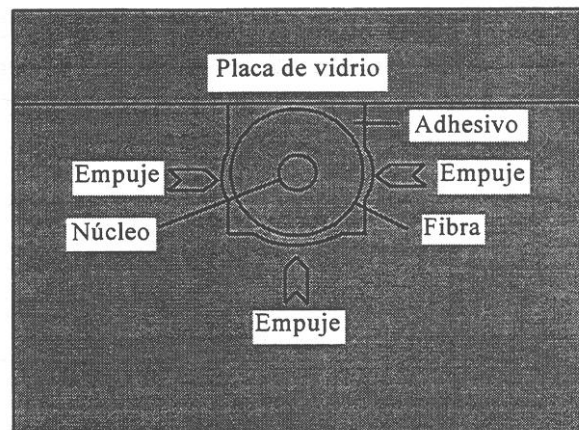


Fig.2.16 Placa de vidrio

## Empalmes de fusión

El empalme por fusión es el método más utilizado y consiste en aplicar calor en una zona específica entre las fibras a unir, suavizándolas y fusionándolas. Las fibras deben prepararse precisamente en sus extremos quitándoles las cubiertas secundaria y primaria, cortando las caras de los extremos para que estén planas y perpendiculares al eje limpiando la fibra de grasa y polvo.

Para aplicar calor a la unión, se utiliza principalmente un arco eléctrico aunque también se tiene fusión por gas o por láser. Para evitar movimientos indeseables de la fibra, ésta es sujeta por un sistema de bloques móviles o por sujetadores mecánicos.

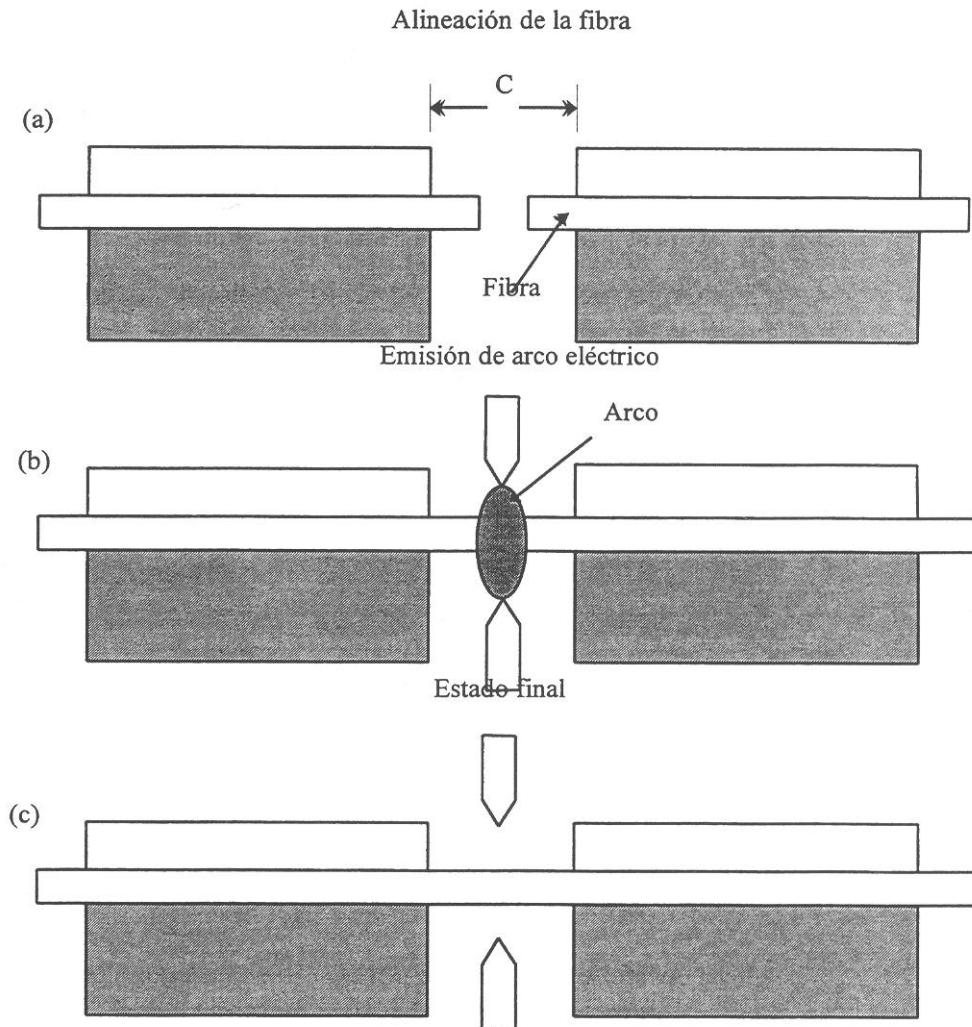
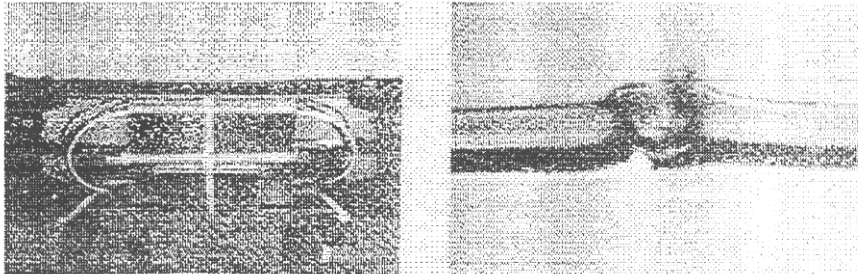


Fig. 2.17 Proceso de empalme

Cuando los extremos de las fibras presentan imperfecciones pueden generarse burbujas de aire y deformaciones del núcleo durante la elaboración del empalme. Para evitarlo, se hace un prefusión, la cual consiste en aplicar calor durante un lapso muy pequeño, mucho menor que la fusión, con la que se redondean los extremos suavizando su superficie, evitando con esto las imperfecciones mostradas en las figuras.



**Fig. 2.18 Imperfecciones en un empalme**

El tiempo de fusión y el calor aplicado deben estar cuidadosamente controlados para obtener un empalme eficiente. Para la optimización de este método, se alimenta luz en un extremo de una de las fibras a empalmar y en la otra fibra se recoge la luz de la misma forma. Midiéndola y observándose que la potencia óptica recibida sea mayor, se tendrá la alineación óptica de la fibra.



Empalme angosto por  
exceso de distancia entre los extremos



Empalme redondo por  
exceso de arco y/o alimentación de fibra

**Fig.2.19 Fallas intrínsecas**

Mediante métodos de fusión se logran atenuaciones por empalme entre 0.2 y 0.1 dB llegando a tener inclusive menos de 0.01 dB para fibras idénticas.

Una vez hecho el empalme por fusión este se debe proteger con una manguita termocontráctil que sustituya las cubiertas primaria y secundaria de la fibra y además almacenarse de tal forma que no reciba esfuerzos de tensión.



## Empalmadora de fusión

A partir de finales de los 70's, se comenzaron a desarrollar las primeras máquinas para empalmar fibras ópticas por fusión. El principio básico con el cual son diseñadas, es la aplicación de calor en el punto de unión de las fibras, para la fusión de éstas.

La siguiente figura muestra el mecanismo de alineamiento de la fibra óptica en la empalmadora de fusión.

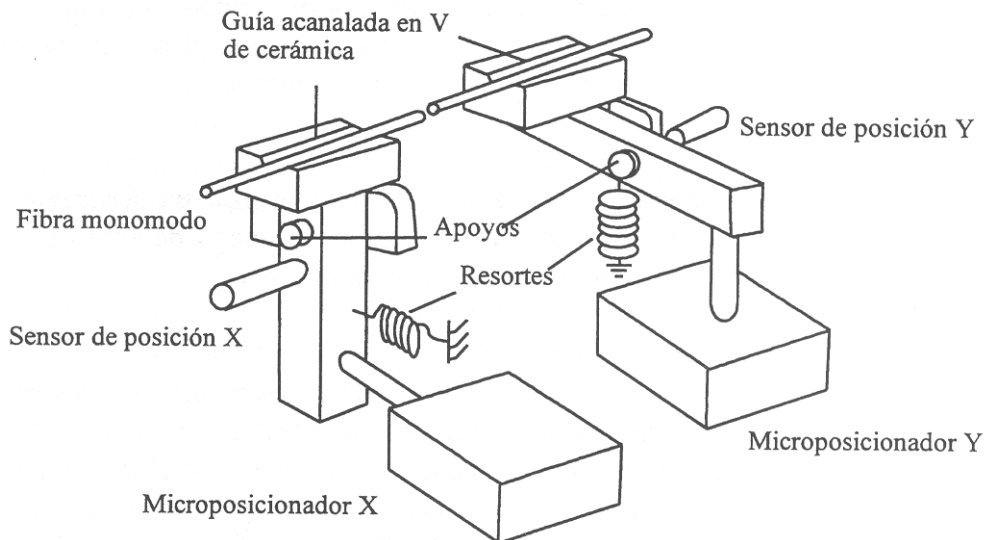


Fig. 2.20

Con ello se tiene una unión permanente y no requiere materiales adicionales como pegamentos.

### Parámetros

Para poder lograr una unión con pérdidas aceptables, la máquina para empalmar debe manejar y monitorear varios parámetros, como son:

**Posición** Con el objeto de alinear las fibras para tener un buen empalme, se utilizan posicionadores de presión en las tres dimensiones, como se observa en la figura anterior.

**Calor** Para regular la cantidad de calor aplicado al punto de unión de las fibras, se manejan 2 parámetros, el tiempo de aplicación de la fuente de calor y la intensidad de fuente de calor.

Las fuentes de calor han variado conforme se han desarrollado las máquinas para empalmar, comenzando primero con fusión por gas, después por arco eléctrico formado por dos electrodos y finalmente se ha desarrollado la aplicación del láser para la fusión.

El primer método, resultó con grandes pérdidas ya que el mismo quemador de gas generaba impurezas en la unión de las fibras. El último método es aún muy costoso aunque sigue en desarrollo. Por lo que el método de fusión por arco eléctrico es el comúnmente utilizado, en él se controla la corriente aplicada a los electrodos.

**Alineamiento** Para poder alinear la fibra se debe utilizar un sistema de monitoreo, el cual por lo general está construido por un juego de espejos y lentes amplificadas por un microscopio o una pequeña cámara de video.

**Estimación de pérdidas** Con el desarrollo de estos equipos, se han facilitado los procesos para elaborar el empalme, automatizándose cada vez más el funcionamiento, poder estimar las pérdidas en el empalme, tener un equipo ligero, manejable y compartido con toda clase de fibras, sobre todo con pérdidas cada vez menores.

## **Evolución de los empalmes**

En la evolución de los empalmes por fusión, se han establecido “generaciones de empalmadoras”

### **Primera generación**

Así, la primera generación la constituye el sistema totalmente manual en donde el operador alinea las fibras observando éstas a través de un microscopio. Para la medición de las pérdidas en el empalme se tiene el equipo de medición de enlace, el cual puede estar a varios kilómetros de distancia.

### **Segunda generación**

La segunda generación, agrega un sistema de inyección de detección de luz (LID). Este se basa en el comportamiento óptico de la fibra al curvarse.

En la fibra, al sufrir un doblez, varía el ángulo de incidencia de la luz sobre el revestimiento, dando como resultado que parte de la luz pueda entrar o salir al exterior de la fibra. Para inyectar la luz se dobla la fibra en un diámetro de al menos 8 mm, pero no menor de 6 mm, para que la fibra no sufra una tensión excesiva.

Con este sistema se pueden alinear incluso las fibras con núcleos excéntricos, ya que lo que se compara es la cantidad de luz que se transmite de un núcleo a otro. El equipo utilizado comúnmente tiene un sistema con el cual se puede tener una evaluación de las pérdidas obtenidas en el empalme, en base a comparar referencias de campo y así saber si un empalme es bueno o no.

### **Tercera generación**

Una tercera generación surgió con el sistema de alineamiento de perfiles de índice de refracción (PAS-Profile Alignment System) El sistema reemplaza el microscopio por una cámara de video donde se obtiene una señal de posición de los núcleos de las fibras a unir.

Esta señal se utiliza para alinear automáticamente las fibras. De esta forma, la alineación puede efectuarse a diferencia de la generación anterior, sin doblar ni comprimir la fibra.

El sistema también hace estimaciones de las pérdidas en el empalme. Sin embargo, estas estimaciones no siempre corresponden a las pérdidas reales, leídas por un OTDR, ya que solamente consideran dos parámetros para la estimación, de las diferencias de nivel y las compensaciones del núcleo y del revestimiento.

Además de que la estimación se efectúa fuera del área crítica donde se efectúa el empalme. Por ello, es conveniente utilizar un equipo de medición para determinar las pérdidas reales.

### **Cuarta generación**

Existe ya un equipo de empalme por fusión desarrollado por ERICSSON, el cual se considera de cuarta generación. Es este equipo, la estimación se hace en la zona crítica del empalme y además toma 7 parámetros para elaborar la estimación a saber:

Tipo de deformación en el núcleo, amplitud de la deformación y su longitud, la diferencia de nivel del núcleo y el revestimiento y variación de diámetro exterior y de la línea vertical blanca que aparece en la zona de empalme.

Como la estimación se efectúa precisamente en el momento de la fusión, el sistema se denomina procesamiento de imagen del empalme caliente. (WSIP- Warm Splice Image Processing) La imagen también procede de una cámara de video, la cual alimenta a un microprocesador, para que efectúe la alineación automática mediante servomotores de precisión y haga la estimación de las pérdidas en la unión.

La empalmadora de fusión FSU-900 se considera de cuarta generación, tiene un 5% de error con respecto a la medición hecha en un OTDR.

El tiempo que toma el equipo para elaborar el empalme y estimarlo es de alrededor de 1 minuto. No requiere de personal especializado y tiene capacidad de cambiar todos los parámetros para elaborar el empalme como son tiempos y corrientes de fusión. Estos cambios se puede hacer, vía teclado, incorporado a la máquina.

Otra ventaja a la que también se ha llegado con este equipo es su poco peso (alrededor de 7 kilos), su durabilidad, posibilidad de observar el empalme en un monitor, posibilidades de empalmar distintos tipos de fibras o fibras de perfil de índice de refracción llamado hundido.

## Perdidas en empalmes de fibra óptica.

### Clasificación

Por las causas que las provocan, las pérdidas pueden dividirse en: extrínsecas e intrínsecas.

### Pérdidas extrínsecas

Las pérdidas extrínsecas a la fibra son causadas por desalineamiento mecánico de la unión de las fibras. Este desalineamiento causa pérdidas de radiación ya que el cono de radiación de la fibra emisora no compagina con el cono de aceptación de la fibra receptora.

Existen tres tipos principales de desalineamiento:

1. **Separación longitudinal**, la cual ocurre cuando las fibras a unirse están sobre un mismo eje, pero tienen un espacio entre las caras de sus extremos.

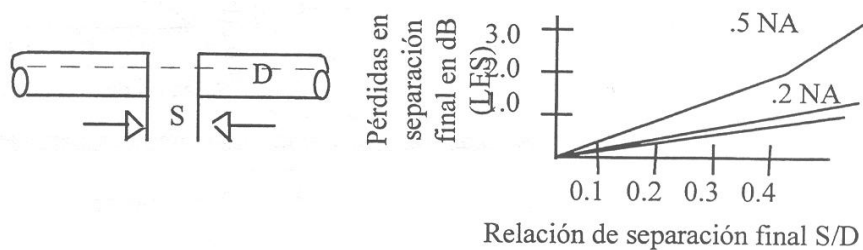


Fig. 2.21 Falla longitudinal

2. **Desalineamiento o falla angular**, la cual sucede cuando los ejes de las fibras forman un ángulo y las caras de los extremos de las fibras dejan de estar paralelas. Ver Fig. 14

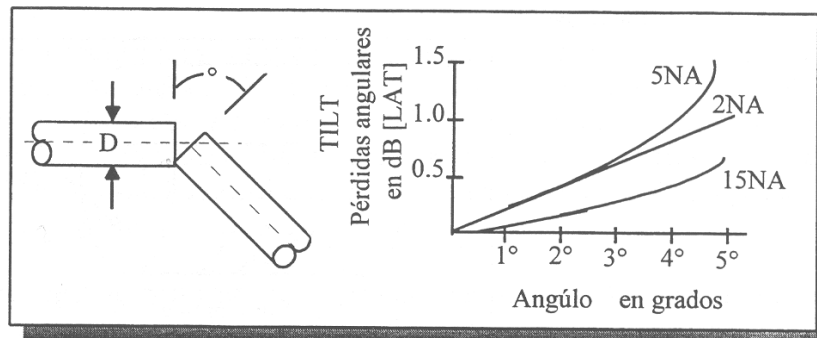


Fig. 2.22 Falla angular

3. **Desplazamiento o falla axial**, en donde los ejes de las fibras no están colineales sino que está separadas paralelamente por una distancia determinada ver Fig. 15

Esta última falla es la más usual y a su vez, la que genera más pérdidas, ya que al reducir el área del traslape entre los núcleos de las fibras, se disminuye la potencia óptica que pasa de la fibra transmisora a la receptora.

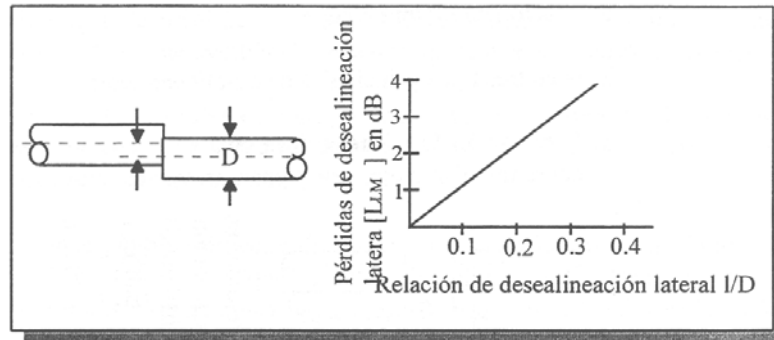


Fig. 2.23 Falla axial

Las pérdidas que se generan por desalineamiento mecánico en la unión de fibras, están en función del método o los instrumentos utilizados para unir las fibras. También deben considerarse como causa de pérdidas, las imperfecciones superficiales en las caras de los extremos de las fibras a unir, ya sea en empalmes o conectores. Por ello es importante preparar adecuadamente estas caras para evitar deflexiones o reflexiones en la unión de las fibras.

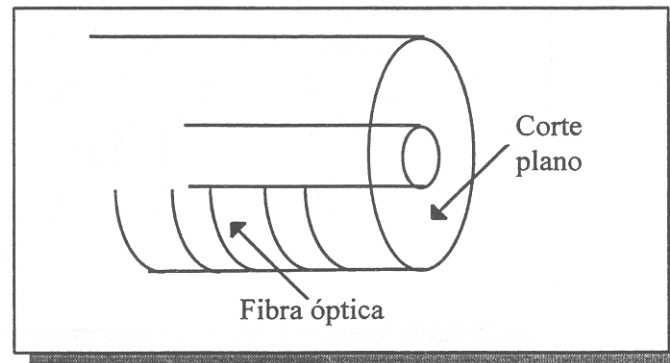


Fig. 2.24 Corte plano

### Pérdidas intrínsecas

Por otra parte, las pérdidas intrínsecas son ocasionadas por variaciones en la geometría de la fibra y sus características de diseño, estas pérdidas también tienen un efecto importante en las pérdidas totales del sistema.

Los parámetros de variación en la geometría son:

1. Deformaciones del núcleo.
2. Elipticidad del núcleo.
3. Apertura numérica.
4. Perfil del índice de refracción.
5. Concentricidad del núcleo y el revestimiento, como se muestra en la Fig. 17

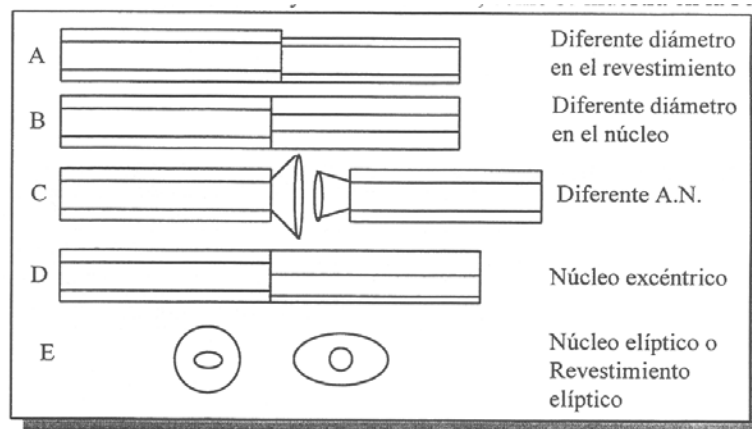


Fig. 2.25 Diagrama mostrando las posibles pérdidas causadas por propiedades intrínsecas de las fibras.

De estos parámetros, los que generan mayores pérdidas son las variaciones del diámetro del núcleo, sobre todo cuando la fibra transmisora tiene un núcleo de mayor tamaño que la fibra receptora, y la variación de apertura numérica, ya que si la fibra transmisora tiene una apertura numérica mayor que la fibra receptora, toda la potencia óptica que se salga del cono de aceptación de la fibra receptora estará perdida.

Este tipo de pérdidas son causadas por la fibra durante su proceso de fabricación, y la forma de disminuirlas es mediante la utilización de fibras ópticas de alta calidad, que cumplan con rigurosas especificaciones y aseguren pérdidas intrínsecas despreciables al unirlos entre sí.

## 2.3 Conectores y distribuidor de fibras ópticas

Los conectores son principalmente usados para conectar una fibra a un transmisor o un receptor. La preparación e un conector óptico (por ejemplo, la instalación de la fibra, el pulido, etc.) requieren cierta práctica.

La mayoría de los conectores existentes se basan en la técnica de acoplamiento, su principal ventaja radica en que no se degradan.

Además, no son tan sensibles a la presencia de polvo como los conectores a tope.

### Tipos de Conectores.

Cuando se requiere unir dos fibras ópticas en forma rápida y temporal, se utilizan los conectores. Estos, en base a sus principios de diseño, se pueden dividir en dos tipos de conectores:

- De acercamiento mecánico de precisión de los extremos de la fibra.
- De acercamiento óptico de los frentes de onda de las fibras a unir.

En el primer caso, se utilizan estructuras que requieren de precisión lateral, azimutal y longitudinal para lograr el alineamiento requerido de la fibra. En el segundo caso, se utilizan lentes para ayudar en el alineamiento de las dos fibras a unir, logrando mejores tolerancias angulares.

Los conectores más utilizados son los de primer tipo, y e él se encuentran muchas variedades que combinan costos, pérdidas ópticas, durabilidad, etc. Las variedades más comunes según la estructura del conector son:

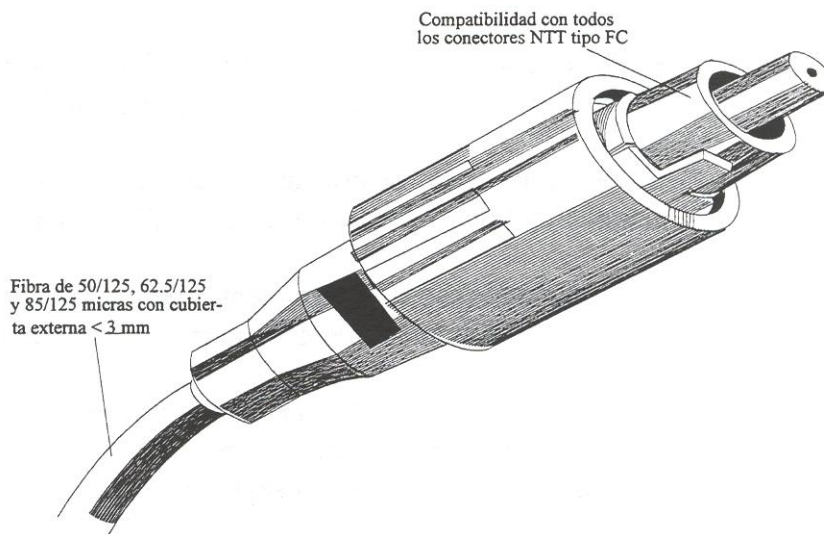
- Conector de Férula o Casquillo.
- Conectores Bicónicos.
- Conectores D4.
- Conectores de Excentricidad Ajustable.

### Conectores de férula o casquillo

En estos conectores, la fibra óptica se coloca dentro de una casquilla protectora de precisión. En la unión se deben alinear los casquillos y cuidar que los extremos del conector estén pulidos.

Se debe mantener la concentricidad entre la fibra y el casquillo, ya que de ello dependen las pérdidas en el conector. El conector FC (férula o casquillo), en donde la fibra es descansada en un casquillo que contiene en su interior una capilaridad concéntrica encargada del centrado y fijación de la fibra.

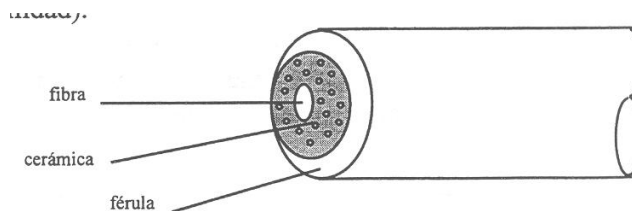
Al montar la fibra al conector, la fibra es preparada con resina epóxica en la cavidad del casquillo para lograr la fijación adecuada de la fibra. El casquillo es de cerámica por lo general cubierta de acero.



**Fig.2.26 Conector F.C**

Requiere de un pulido en equipo automatizado. Tiene pérdidas entre 1 y 0.6 dB para fibras monomodo. Se pueden lograr menores pérdidas mejorando la técnica de pulido presentando una superficie más plana. Es altamente durable (1000 inserciones)

El diseño FC-PC (Physical Contact), presenta en la punta del casquillo, en lugar de una superficie plan, una superficie esférica de un radio aproximado de 60 mm, para que las fibras estén en un real contacto físico en la unión. Este factor reduce las reflexiones y las pérdidas llegando a tener menos de 0.5 dB por conector. Se utiliza en transmisión de voz y datos en alta velocidad, (tiene alta durabilidad)



**Fig.2.27 Férula PC**

### Conector SMA

El tipo SMA (Subminiatura-A) es un conector muy utilizado en equipo de transmisión de datos. Como su nombre lo indica, tiene un tamaño muy pequeño, además de buena durabilidad y amplia disponibilidad en el mercado.

Es uno de los conectores más fáciles de ensamblar, ya que requiere de un mínimo de herramientas y de habilidad. Sus pérdidas no son tan bajas como FC-PC y se encuentran entre 0.7 y 2 dB.

Además, se puede tener la cubierta externa del conector en distintos materiales dependiendo de la aplicación, pudiendo ser de acero, bronce niquelado o plástico.

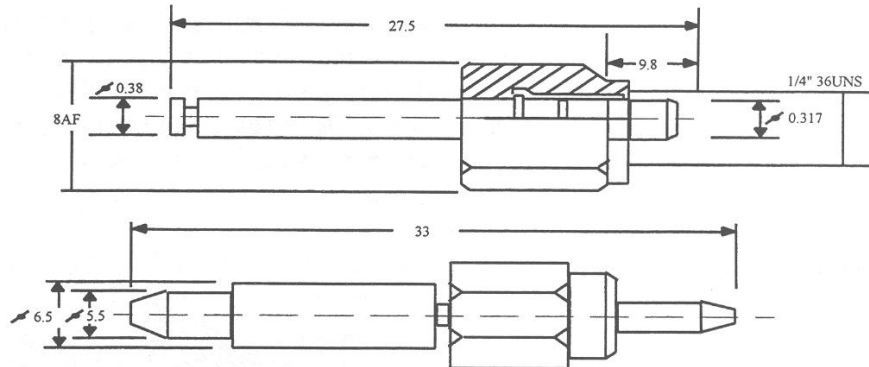


Fig.2.28 Estructura de un conector SMA

### Conector D4

El conector D4 es similar al FC e inclusive tiene la versión D4-PC. Tiene pérdidas aproximadas de 0.7 dB y una durabilidad de 1000 inserciones. Se utiliza en equipo de telecomunicaciones.

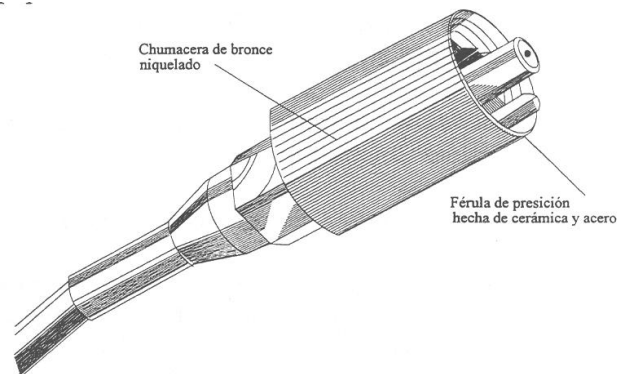


Fig. 2.29 D4-PC



### Conector bicónico

Esta tecnología es ampliamente utilizada en la fibra multimodo para telecomunicación en transmisión de datos. Consiste en dos conos concéntricos que se encargan de alinear la fibra en el casquillo. Se obtienen pérdidas menores a 1 dB. El casquillo es de cerámica encapsulado en metal y la cubierta es de cuarzo combinado con metal epóxico. Incluye un resorte para ajustar el punto de contacto.

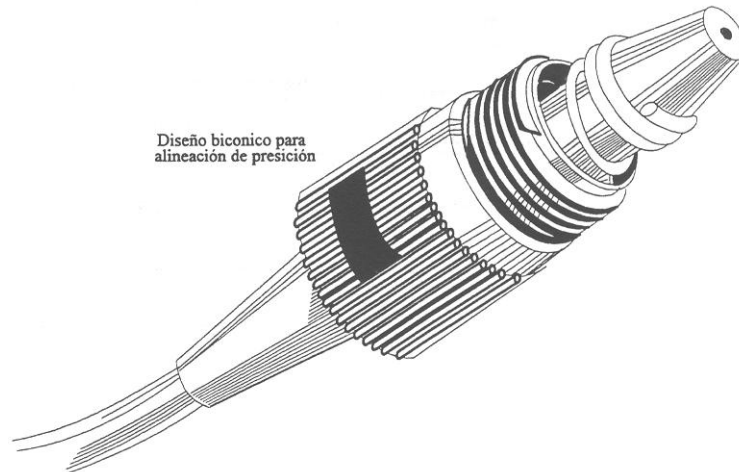


Fig. 2.30 Bicónico

### Conectores de excentricidad ajustable

En estos conectores se logra un alineamiento transversal preciso al rotar una fibra con respecto a la otra, estando ambas fibras excéntricamente montadas.

El alineamiento óptico se logra cuando la señal monitoreada a través del conector es máxima. En estos casos se tienen pérdidas menores de 0.5 dB en fibras monomodo.

Una vez hecho el ajuste del conector para la fibra montada, se fija para que no sea alterada, aunque haya la necesidad de hacer nuevamente un ajuste, la mayor complejidad del conector y su mayor costo son desventajas, la precisión lograda mediante este método es única.

Como ejemplo de este tipo de conector es el fabricado por DIAMOND, el cual debe ajustarse el centrado de la fibra con un microscopio. Además contiene un casquillo que puede rotar 30° con respecto a todo el conector.

Otra variedad son los conectores RADIAL con tecnología OPTABALL, consiste en dos alineamientos, uno el de la fibra en el casquillo, donde se ajusta radialmente la fibra auxiliándose en el patrón de luz emitida por el conector al ser alimentado por una potente luz blanca.

El ajuste se hace mediante cuatro tornillos radiales diferenciales con auxilio de una herramienta especializada.

El segundo alineamiento se lleva a cabo entre los casquillos a unir, estos son insertados en una esfera con un orificio, asegurando así que los ejes axiales de ambos casquillos y ambas fibras coincidan.

A continuación se muestra la estructura de los conectores:

- Conector de excentricidad ajustable.
- Conector radial.

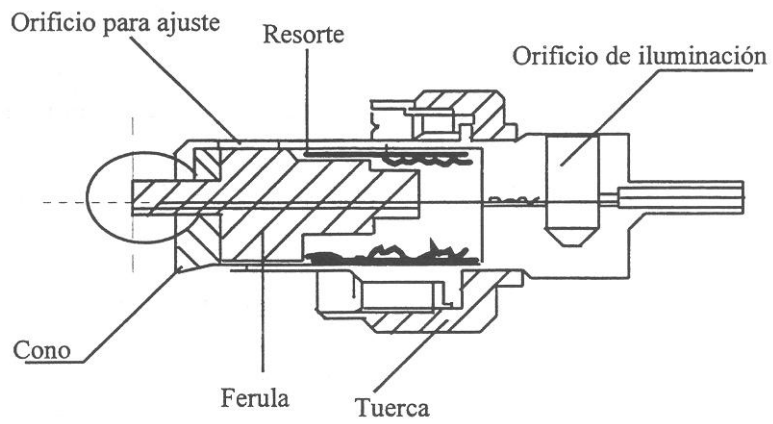
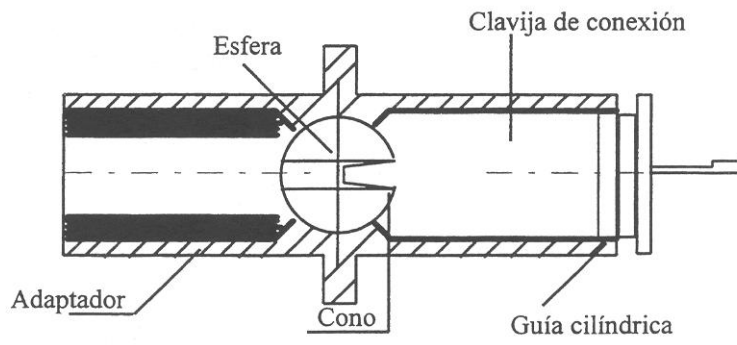


Fig. 2.31 Excentricidad Ajustable

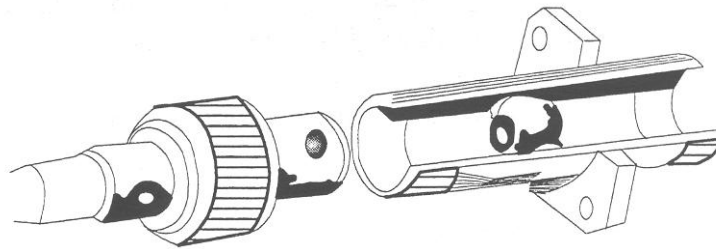


Fig. 2.32 Conector radial

### Atenuador óptico.

En sistemas con trayectos de transmisión cortos la potencia óptica en las unidades de recepción es demasiado alta.

A fin de reducir esta potencia, se utiliza un atenuador óptico, que se coloca entre el cable (panel interfaz óptico) y la entrada del receptor.

Un atenuador óptico es un dispositivo que hace pasar por un filtro la luz transmitida de una fibra a otra, reduciendo así la potencia óptica.

Los filtros tienen valores de atenuación fijos: 6dB, 12 dB, 18 dB o 24 dB.

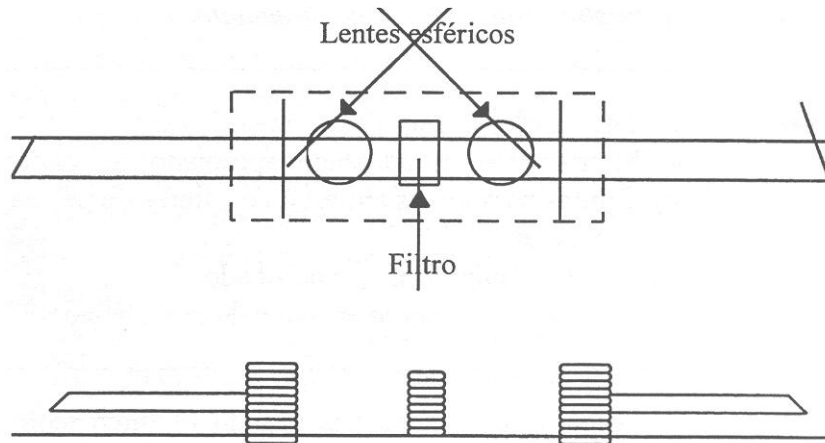


Fig. 2.33 atenuador óptico (LBO)

Existe otro atenuador que utiliza la separación o acercamiento de las fibras por ejemplo, el atenuador tipo "barrilito" Ericsson.

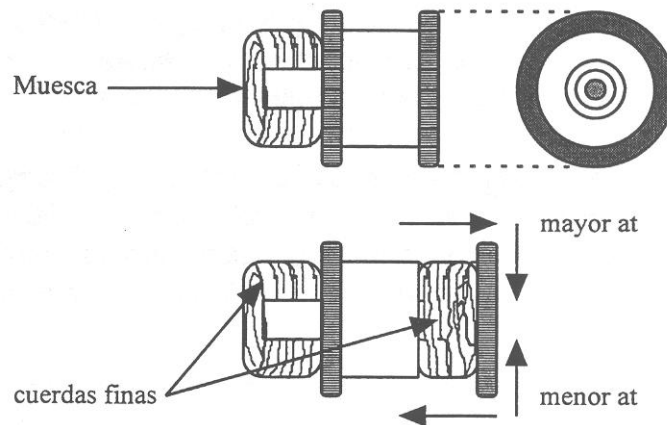


Fig. 2.34

## Limpieza de los acopladores y conectores ópticos

- 📖 Antes de realizar cualquier inspección de un conector óptico, es esencial que se desconecte la fuente óptica. Esto se confirmara utilizando un medidor de potencia óptica para asegura que no exista potencia óptica en el conector antes de utilizar un microscopio.
- 👉 Todos los conectores ópticos se deben tratar con el máximo cuidado y mantenerse las más altas normas de limpieza, ya que de otra forma su funcionamiento se verá afectado seriamente. En caso de que un conector de la fibra, se desconecte, los extremos libres se DEBEN proteger con las capuchas cubre polvo, de inmediato.

### Materiales

Son necesarios los siguientes materiales:

- a) Microscopio con adaptador apropiado para conector de fibra.
- b) Tejidos para lentes antiestáticos, libres e pelusa.
- c) Cotonetes.
- d) Solventes par limpieza aprobado.
- e) Removedor de polvo en aerosol (antiestático)

### Inspección

Inspeccione el conector utilizando el microscopio. Existen dos problemas principales en cuanto a la basura en el conector óptico, el polvo y la grasa a los que se adhiere el polvo. El polvo aparece a manera de “manchas”, “escamas” o aún fibras (de telas o de cabello) La grasa aparece como “manchas” o “burbujas” y comúnmente se produce por huellas digitales.

Siempre que sea posible, deberá ser inspeccionado tanto la parte lateral como el borde de los casquillos con el fin de detectar ralladuras o raspaduras serias (visibles a simple vista). Después de esto, el casquillo deberá ser inspeccionado empleando un microscopio.

Se debe prestar particular atención al área central de la fibra. Generalmente, si el final de la fibra está lisa y libre de rajaduras, el casquillo estará en buen estado. Son permisibles ligeras picaduras en el revestimiento metálico, pero ninguna rajadura obvia o daño que se extienda al área central o núcleo.

Siempre habrá ciertas marcas de rayas en los conectores o en el cable de la fibra, sin embargo, las marcas de rayas que obviamente sean profundas, son usualmente evidencia de daño producido por cuerpos ajenos.

Si estas marcas son pronunciadas o se extienden de o hacia la fibra, entonces se debe retirar dicho conector y volver a terminar el cable.

**Limpieza**

## Conector óptico

Paso	Acción
1.	Limpia el polvo utilizando el removedor de polvo en aerosol.
2.	Inspecciona nuevamente. En caso de que haya evidencia de polvo persistente vuelve a limpiar con un paño seco.
3.	Limpia el polvo.
4.	Inspecciona nuevamente. En caso de que exista grasa o suciedad persistente (marcas de dedos, etc.) aplica una pequeña cantidad de solvente del dispensador en un tejido y limpia el conector con el tejido.
5.	Quita todo el polvo utilizando el removedor de polvo en aerosol.
6.	Reinspecciona y repite el procedimiento de limpieza, en caso de se necesario.

## Acoplador óptico

Paso	Acción
1.	Inspecciona y, en caso de ser necesario, procede de (1) a (6) de la tabla anterior.
2.	Limpia todo el polvo utilizando el removedor para polvo en aerosol.
3.	Vuelve a inspeccionar. En caso de que exista suciedad o grasa persistente, primero retira los sellos (en caso de estar adaptados) utilizando un palillo de madera. Aplica parte de solvente en la punta de un cotonete y limpia la basura.
4.	Limpia todo el polvo seco.
5.	Vuelve a reinspeccionar y repite el procedimiento de limpieza, en caso necesario.

## Distribuidor de Fibras Ópticas (D.F.O.)

El D.F.O. tiene como objetivo la interconexión de la Red con el Terminal Óptico. Esta interconexión es efectuada por medio de empalmes de fusión. El D.F.O. Fundamentalmente lo constituye el BASTIDOR y las cajas de DISTRIBUCIÓN.

En las cajas de distribución se alojan los empalmes de fusión (Interconexión Red-Terminal Óptico)

En los D.F.O. se conectan los equipos de medición (OTDR y/o medidor de potencia óptica) con ayuda de un JUMPER óptico con conectores tipo FC.

Las conexiones de los cables ópticos, en D.F.O. se harán de arriba hacia abajo por un lado el cable y por otro el pig tail óptico.

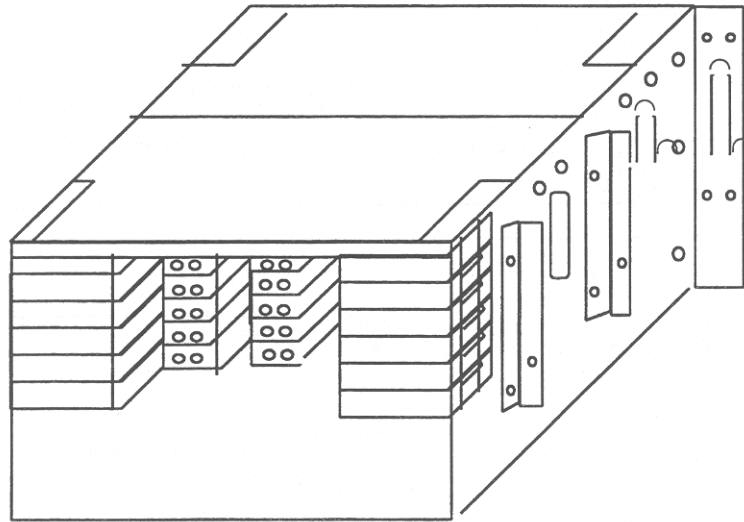


Fig. 2.35 Distribuidor de fibras ópticas.

## Diagramas

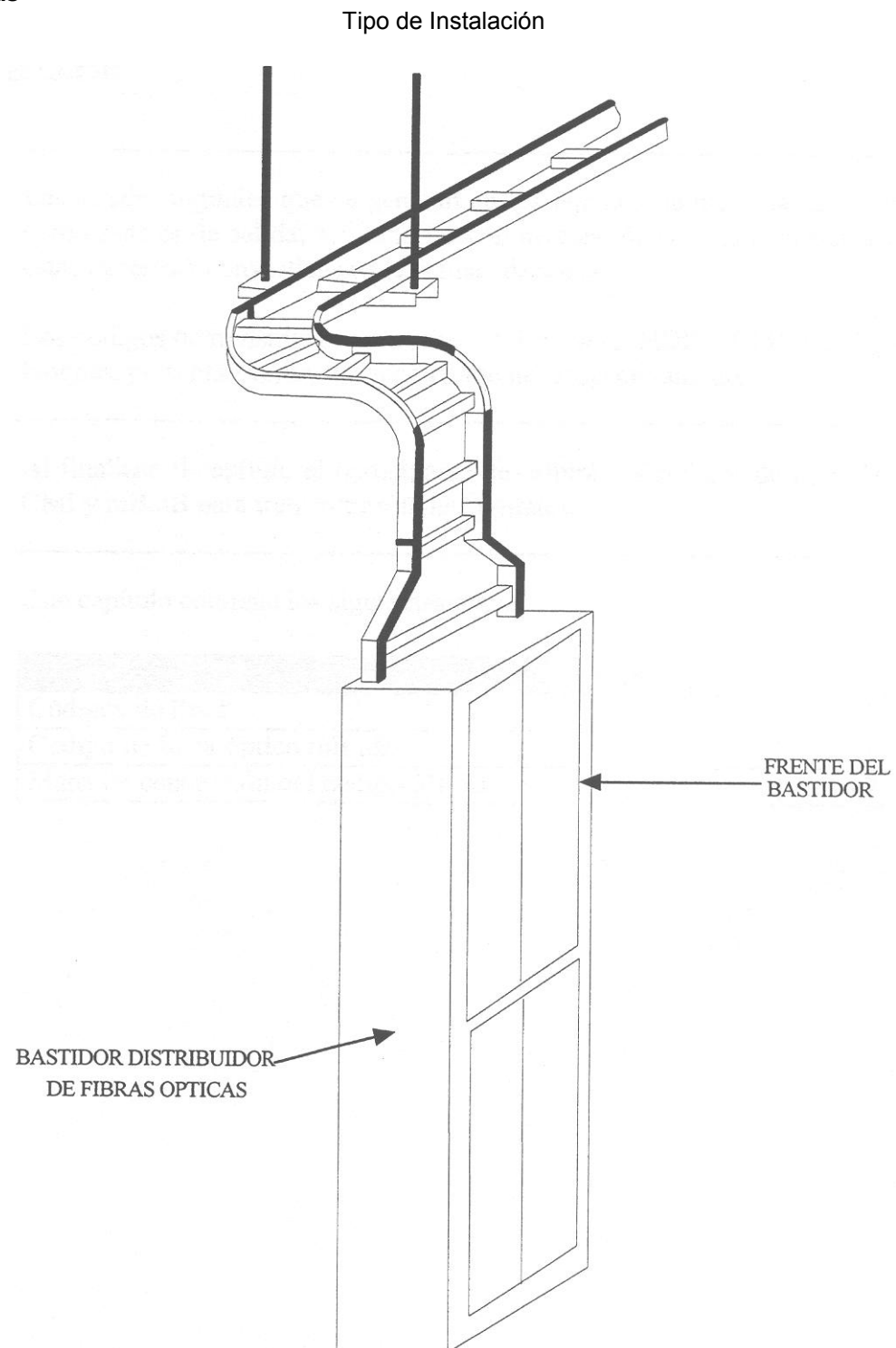


Fig. 2.36 Bastidor distribuidor de fibra óptica.

## CAPÍTULO 3

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE ONDA Y FALLAS EN LA RED ÓPTICA

La tecnología conocida como multicanalización por división de longitud de onda (WDM por sus siglas en ingles), a pesar de existir desde hace varios años, es hoy en día uno de los temas de mayor interés dentro del area de la infraestructura de redes ópticas. En los estados unidos, en donde las redes de fibra óptica han evolucionado considerablemente, WDM se ha consolidado como una de las tecnologías favoritas, debido a las enormes ventajas que ofrece en la optimización del uso d del ancho de banda. Su implementación en los mercados de Europa, Asia y América latina crece día con día, y son cada vez más las redes de cable que la utilizan para ofrecer multiservicios.

Los enlaces de comunicación óptica permiten el envió simultaneo de diferentes longitudes de onda a través de una sola fibra dentro de la banda espectral que abarca los 1300 y los 1600 nm. Esta es una importante característica , posible gracias a la tecnología WDM, que consiste en combinar varias longitudes de onda dentro de la misma fibra, conceptualmente, esta forma de multicanalización es similar a FDM(multicanalización por división de frecuencia, por sus siglas en inglés), utilizada en sistemas satelitales y de microondas. Mientras FDM consiste en transmitir varias señales al mismo tiempo a través de un solo canal de banda ancha, modulando primero cada una de ellas en una subportadora distinta y, posteriormente, reuniéndolas para formar una señal, WDM reúne diferentes longitudes de onda para formarla señal que se transmitirá. De manera similar a otras formas de multicanalización, WDM requiere que cada longitud de onda sea debidamente espaciada de las demás, con el objeto de evitar la interferencia intercanal.

A pesar de esta técnica de multicanalización, utilizada principalmente en redes de fibra óptica, se denomina de manera amplia WDM, es más común escuchar el termino convencional DWDM (Multicanalización Densa por Division de Onda, por sus siglas en ingles), el cual, aunque no denota ninguna región de operación o condición de implementación adicional, toma su nombre a partir de una designación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y se refiere únicamente al espaciamiento requerido en la especificación UIT-T G.692.

Actualmente, DWDM no es vista tan solo como la técnica para ampliar la capacidad de una red de fibra óptica, sino más bien, como una tecnología robusta en el “backbone” de redes multiservicios y redes de acceso móvil, que permite satisfacer el crecimiento en volumen y complejidad que presentan los servicios de telecomunicaciones. Las principales ventajas que ofrece DWDM se enlista a continuación:

- Aumenta dramáticamente la capacidad de un punto a otro de la red de fibra óptica, lo cual es considerado la aplicación clásica de DWDM. Esto se debe principalmente a la posibilidad de transmitir varias señales dentro de una sola señal y a las altas tasas de transmisión que soporta.
- Permite transportar cualquier formato de transmisión en cada canal óptico. Así, sin necesidad de utilizar una estructura común para la transmisión de señales, es posible utilizar diferentes



longitudes de onda para enviar información sincrónica o asíncrona, analógica o digital, a través de la misma fibra.

- Permite utilizar la longitud de onda como una nueva dimensión, además del tiempo y el espacio, en el diseño de redes de comunicación.

En un enlace punto a punto de fibra óptica existe una fuente de luz localizada en el extremo transmisor y un fotodetector en el extremo receptor. Las señales originadas por diferentes fuentes ópticas utilizan fibras diferentes y únicas como medio de transmisión. Puesto que toda fuente óptica tiene un ancho de línea limitado, es decir, el rango de longitudes de onda que puede emitir es pequeño, el ancho de banda de la fibra es desperdiciado puesto que únicamente se hace uso de una pequeña porción de este en la fibra. Los multicanalizadores WDM permiten acoplar diferentes longitudes de onda dentro de una fibra común. De la misma manera, un dispositivo WDM puede recuperar las longitudes de onda que se transmitieron a través de la fibra óptica.

Cada uno de los canales WDM es diseñado para dejar pasar una longitud de onda o una banda de longitudes de onda en particular. Por ejemplo, un sistema WDM de dos canales podría estar pensando para dejar pasar las bandas de 1310 y 1550 nm. El sistema podría utilizarse para enviar dos señales ópticas a través de una fibra común: una señal con longitud de onda de 1310nm se transmitiría a través del canal de 1310nm, y una señal de 1550nm se enviaría por el canal WDM de 1550nm.

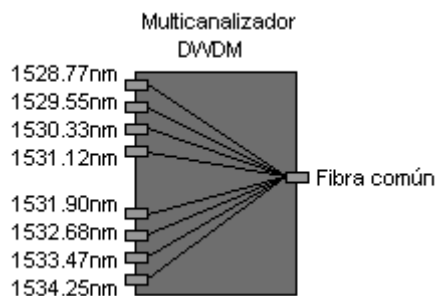
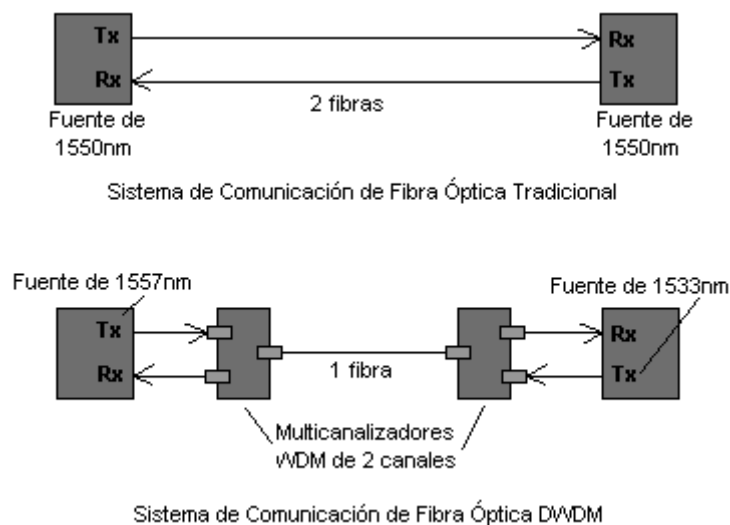


Figura 3.1. DWDM de 8 Canales

Los canales WDM se comportan como filtros que únicamente permiten el paso de las señales ópticas especificadas para cada canal, de tal forma que transmitir una señal de 1310nm a través de un canal de 1550nm no funcionaría. A pesar de que actualmente se desarrollan técnicas para alojar más de 2000 canales en una sola fibra, los multicanalizadores más comunes que existen cuentan con 2, 4, 8, 16, 32 ó 64 canales. Aquellos que integran dos canales cuyas longitudes de onda se localizan entre las bandas de 1310 y 1550nm se conocen como WDMs de banda amplia. Un multicanalizador WDM de banda angosta es aquél que integra dos o cuatro canales dentro de la banda de los 1550nm. DWDM pertenece a esta categoría WDM de banda angosta y está diseñado para un espaciamiento entre canales de 100GHz (~0.8nm). Debido a este espaciamiento, DWDM puede acoplar ocho o más canales dentro de la banda de los 1550nm (Ver figura 3.1).

Al momento de implementar tecnologías WDM, es muy importante que los multicanalizadores utilicen fuentes láser con diferentes longitudes de onda, y que estas fuentes se sintonicen de acuerdo a las longitudes de onda o bandas específicas del multicanalizador.

De no utilizar las longitudes de onda correctas, el sistema podría no funcionar adecuadamente. Valdría la pena señalar que antes de implementar tecnología WDM eran necesarias dos fibras en un sistema de comunicación. Una de ellas estaría conectada al transmisor óptico, mientras que la otra provendría del receptor, permitiendo una comunicación bidireccional, conocida como "full-dúplex". Con la llegada de WDM, sólo se requiere de una fibra para proporcionar comunicación "full-duplex", sin importar el número de canales que se tengan. Por ejemplo, en un sistema WDM de cuatro canales se tienen dos sistemas de comunicación a través de una sola fibra; para ocho canales WDM se mantendrían cuatro sistemas de comunicación en la misma fibra. En consecuencia, es muy notable la reducción de fibra óptica de la planta (Ver figura 3.2).



**Figura 3.2. Sistemas de Comunicación de Fibra Óptica Tradicional y WDM**

Las bandas que se utilizan en las comunicaciones ópticas tienen sus propios nombres. La banda C, por ejemplo, corresponde a las longitudes de onda entre 1530 y 1565nm, y sus sub-bandas son conocidas como banda azul (1527.5 " 1542.5nm) y banda roja (1547.5 ? 1561.0nm). Existen otras bandas conocidas como banda L (1570 - 1610nm) y banda S (1525 " 1538nm), actualmente siendo investigadas para su posterior implementación. Las técnicas WDM se especifican en términos de la longitud de onda de sus canales (en nanómetros) y con base en su configuración de transmisión? recepción. En ocasiones suele especificarse la longitud de onda de un canal como su frecuencia correspondiente en terahertz. La relación entre frecuencia y longitud de onda se da por la siguiente expresión, en la que el valor 299792 es el estimado de la velocidad de la luz en el vidrio ( $\sim 2.99 \times 10^8$  m/s), con el punto decimal ajustado para su correcto uso en la fórmula. Frecuencia (en THz) =  $299792 / \text{Longitud de onda (en nm)}$  A partir de esta expresión se podrá comprender que para un sistema DWDM, cuya separación de canal, según el estándar de la UIT, es de 100GHz ( $\sim 0.8$ nm), dos canales adyacentes, el primero con una frecuencia de 192.0THz y el segundo de 192.1THz, cuentan con longitudes de onda respectivas de 1561.42nm y 1560.61nm. Además de hacer notar, mediante este ejemplo, la relación entre frecuencia y longitud de onda de dos canales adyacentes, convendría

resaltar también que la separación entre canales, de acuerdo al estándar de la UIT, es precisamente de 100GHz o de aproximadamente 0.8nm, tanto para frecuencias como para longitudes de onda. Mientras dos canales adyacentes se encuentren más cerca uno del otro, menor será la banda espectral correspondiente a cada uno de ellos, lo cual hace posible alojar más canales dentro de una misma fibra. Al considerar el número de canales que DWDM puede alojar, nos sorprendemos inmediatamente. Sin embargo, no es el número de canales lo más importante, sino la velocidad que cada uno de ellos puede alcanzar y la flexibilidad que esta tecnología ofrece a los operadores en términos de escalabilidad. Por poner un ejemplo, un sistema cuya estrategia de crecimiento sea gradual, podrá iniciar implementando DWDM a 100Mbps por canal e incrementar la capacidad de cada uno hasta más de 40Gbps. DWDM representa uno de los bloques de red más recomendados para ofrecer multi-servicios. El equipo necesario para integrar esta tecnología a una red de fibra óptica abarca fuentes transmisoras condicionadas a determinadas longitudes de onda, multicanalizadores, amplificadores, filtros, dispositivos que separen las señales multicanalizadas y herramienta adecuada para el mantenimiento de la red. La configuración que se utilice puede ser punto a punto o de tipo anillo. La flexibilidad y capacidad que DWDM ofrece, hace de esta tecnología una alternativa ideal para satisfacer las necesidades de crecimiento de la red hacia una nueva generación de servicios. Su capacidad y flexibilidad permiten integrar el tráfico de una variedad de redes diferentes, incrementando el número de usuarios, proveyendo aplicaciones y servicios complejos y acelerando las tasas de transmisión. Definitivamente se trata de una tecnología prometedora para los sistemas de fibra óptica.

Las funciones de protección y restauración pueden ser usadas para incrementar la disponibilidad de una red de transporte, lo cual se logra mediante la sustitución de las entidades de transporte dañadas o degradadas. El proceso de sustitución normalmente se inicia mediante la detección de una falla, degradación de desempeño o requerimiento externo (por ejemplo, por parte del sistema de administración de la red)

Existen tres funciones básicas en los equipos de transmisión SDH: Terminación de línea, multiplexión y cross-conexión. En el pasado, estas funciones eran proporcionadas por piezas diferentes e independientes del equipo, pero con la introducción de **SDH** es posible combinar estas funciones en un simple elemento de red.

### 3.1 Funcionalidad de un Elemento de Red

**Multiplexión:** Es la combinación de diversas señales de baja velocidad en una única señal de alta velocidad, con lo cual se consigue una máxima utilización de la infraestructura física. Los sistemas de transmisión síncronos emplean la Multiplexión por División en el Tiempo (TDM).

**Terminación de línea/Transmisión:** En una dirección la señal digital tributaria es terminada, multiplexada y transmitida en una señal de mayor velocidad. En la dirección opuesta, la señal de mayor tasa de transmisión es terminada, demultiplexada y reconstruida la señal digital de tributario.

Esta es la tarea de terminales de línea. Las redes de transmisión síncrona usan típicamente fibra óptica como enlaces de transporte físico así que esto requiere la terminación y transmisión de señales ópticas.

En sistemas PDH (Jerarquía Digital Plesiocrona) las tareas de terminación, multiplexión y transmisión requieren diferentes módulos independientes de equipamiento, pero en SDH (Jerarquía Digital Síncrona, Por sus siglas en inglés) estas funciones pueden ser combinadas en un único elemento de red.

**Cross-Conexiones:** Las cross-conexiones en una red síncrona suponen el establecer interconexiones semi-permanentes entre diferentes canales en un elemento de red. Esto permite que el tráfico sea enviado a nivel de contenedor virtual. Si el operador necesita cambiar los circuitos de tráfico en la red, el encaminamiento puede conseguirse cambiando conexiones.

Esta descripción podría sugerir que una cross-conexión es similar a una conmutación de circuito, pero hay diferencias fundamentales entre ellas. La principal diferencia es que una conmutación trabaja como una conexión temporal la cual se realiza bajo el control de un usuario final, mientras que una cross-conexión es una técnica de transmisión usada para establecer conexiones semi-permanentes bajo el control del operador, a través de su sistema de gestión de red. El operador cambiará esta conexión semi-permanente según cambie el patrón del tráfico.

La función de cross-conexión no significa la necesidad de bloques de equipamiento independientes. La funcionalidad de cross-conexión SDH puede residir en casi cualquier elemento de red, siendo el más obvio el multiplexor ¿add-drop?

Otros términos empleados en las funcionalidades de los elementos de red SDH son la consolidación y la agregación.

La consolidación se produce cuando tráfico en rutas parcialmente ocupadas puede ser reorganizado en un simple camino con mayor carga de densidad de tráfico.

El grooming se produce cuando el tráfico incidente, el cual es dirigido hacia diversos destinos es reorganizado. El tráfico para destinos específicos es reordenado en caminos junto con otro tráfico para ese destino. Por ejemplo, el tráfico de un tipo específico como el ATM o tráfico de datos con diferentes destinos puede ser separado del tráfico PSTN (Public Switching Telephone Network o red telefónica conmutada) y ser transportado por una ruta diferente.

#### **Tipos de Conexiones:**

En un sistema SDH podemos establecer diferentes tipos de conexiones entre elementos, como son las siguientes:

- **Unidireccional** es una conexión de una vía a través de los elementos de red SDH , por ejemplo enviar tráfico únicamente.

- **Bidireccional** es una conexión de dos vías a través de los elementos de red, teniendo funciones de envío y de recepción de información.

- **Extrae y continúa (Drop & Continue)** es una conexión donde la señal es bajada a un tributario del elemento de red pero ésta también continúa por la señal de agregado hacia otro elemento de red. Este tipo de conexiones puede ser usado para difusiones y mecanismos de protección.

- **Difusión (Broadcast)** es una conexión donde un contenedor virtual entrante es llevado a más de un contenedor virtual de salida. En esencia, una señal entrante al elemento de red puede ser transmitida a varios lugares desde el contenedor virtual. Este tipo de conexión puede ser empleado para difusiones de vídeo por ejemplo.

**Tipos de Elementos de Red:** La recomendación de la ITU-T G.782 identifica ejemplos de equipos **SDH** a través de combinaciones de funciones **SDH**. Están clasificados en multiplexores (de los cuales hay siete variantes) y cross-conectores (donde hay tres variantes). Para simplificar, solamente se considerarán tres tipos de elementos de red SDH: Sistemas de línea, multiplexores add-drop (ADM) y cross-conectores digitales.

**Terminales de Línea:** Es el tipo de elemento de red SDH más simple. Éste implementará únicamente la terminación de línea y la función de multiplexión, de modo que su utilización es típica en configuraciones punto a punto. Algunos flujos tributarios serán combinados en el terminal de línea para generar un flujo agregado de mayor velocidad y esto será transmitido a un enlace óptico. Elementos de red son requeridos en los dos puntos finales de este enlace y una conexión fija de circuitos de cliente es establecida entre estos dos puntos terminales.

**Multiplexores Add-Drop (ADM):** Estos equipos ofrecen la función de cross-conexiones junto con la de terminal de línea y multiplexión. En **SDH** es posible extraer (**Drop**) un contenedor virtual e insertar en sentido contrario (**Add**) otro contenedor virtual a la señal **STM (Modo de transferencia sincrona)** directamente sin necesidad de despeinarla según vimos anteriormente. Esta ventaja fundamental de los sistemas síncronos significa que es posible conectar flexiblemente señales entre interfaces de elementos de red (agregados o tributarios). Esta capacidad de enrutamiento permite que la función de cross-conexión sea distribuida por la red, resultando mejor que concentrarla en un enorme cross-conector dedicado.

En el caso del terminal de línea, los enlaces establecidos eran circuitos fijos punto a punto. La funcionalidad añadida a un **ADM** permite que sea establecida una red más flexible en la cual los circuitos de cliente que transiten la red puedan ser más fácilmente variados.

Esta flexibilidad puede ser demostrada por una red de **ADMs** encadenados. Considerando el enlace de transporte como una línea de bus, en cada parada (**ADM**) el pasaje (circuitos de tráfico) podrá elegir entre descender o mantenerse en el transporte.

En un **ADM** circuitos de tráfico individuales pueden ser llevados fuera del flujo agregado mientras que el resto del tráfico continúa pasando a lo largo de la cadena de elementos. Esto crea una estructura en bus, en la cual una señal puede bajar o mantenerse en el bus en cada punto **ADM**.

Varios **ADMs** pueden ser conectados por el bus y la conectividad de cada **ADM** será donde los circuitos de tráfico son bajados o pasarán, propiedad que puede ser cambiada por el operador en función de las necesidades de tráfico. Así, una conexión flexible entre algunos puntos es creada, como si fuera una línea fija entre cada uno de esos puntos. Si un cliente quiere portar su circuito de tráfico hacia un nodo diferente, esta petición puede ser enviada remotamente al equipo, reconfigurando a distancia las conexiones en el **ADM**.

Diferentes tipos de multiplexores ofrecen diferentes niveles de cross-conectividad. Un **ADM** como los descritos realizará la función add-drop simple en la que algunos contenedores virtuales pueden ser extraídos, otros pueden ser insertados y el remanente es pasado a través sin cambio alguno. **ADMs** también pueden ofrecer intercambio de intervalo de tiempo, mediante una cross-conexión de un contenedor virtual de un lugar en el lado Este a un lugar diferente en el lado Oeste.

También se puede realizar conexiones entre puertos tributarios, de modo que proveen funcionalidad de cross-conexión entre tributarios, también conocida como "horquillado".

Los **ADM** son particularmente útiles para crear redes en anillo. Las señales son introducidas en el anillo vía interfaces tributarios de los **ADM**, los cuales son acoplados en la señal agregada de mayor velocidad de transmisión dentro del anillo para transportarlas a los otros nodos.

Los anillos son la configuración común de red porque pueden incrementar la supervivencia de la red. Las redes pueden ser objeto de fallo de nodos o roturas de enlaces por lo que es requerida una resistencia que prevenga la pérdida de tráfico.

Pero, ¿Cómo se lleva esto a cabo? En una red punto a punto cada enlace debe ser duplicado para proporcionar un camino alternativo para el tráfico que podría estar afectado por el fallo. En un anillo, el tráfico puede ser simplemente divergido por el otro camino en torno al anillo. En **SDH** esta reconfiguración puede llevarse a cabo por acción de un elemento de red sin la intervención de un elemento de gestión de red externo.

Un **ADM** puede ser configurado como un concentrador para usar en aplicaciones de red multi-site. El propósito de estos concentradores es consolidar diferentes terminales en el agregado óptico de mayor capacidad. Este arreglo elimina el coste y la complejidad de las configuraciones multi-terminal y cross-conexiones redundantes

**Tipos de Multiplexores:** Los multiplexores pueden ser clasificados de diferentes maneras, por ejemplo, por el tipo y flexibilidad de conexiones que pueden ser hechas. Los Multiplexores son comúnmente clasificados por la tasa de bits de la señal agregada soportada. Por ejemplo, un "Multiplexor STM-4" aceptará tributarios de una variedad de tasas **PDH** y **SDH** (2 Mbps, 34 Mbps, 140 Mbps, y STM-1) y multiplexa estos en una señal agregada **STM-4**.

Los multiplexores pueden ser también clasificados como parciales y completos sistemas de acceso. Un **ADM** de acceso completo puede acceder a cualquier tráfico contenido en su carga dentro del agregado **STM-N**. Esto es, todo el tráfico agregado puede ser conectado internamente y pasado a puertos tributarios. En contraste, un multiplexor de acceso parcial únicamente puede acceder y conectar a sus puertos tributarios una porción de su tráfico agregado, siendo el resto de tráfico conectado directamente a través del multiplexor a la señal agregada.

Los multiplexores pueden ser actualizados. Esto típicamente se refiere al remplazamiento de puertos agregados con puertos agregados que puedan transmitir a una velocidad mayor. Por ejemplo, un multiplexor **STM-1** puede remplazar su tarjeta agregado por una tarjeta **STM-4**. La velocidad de la señal agregada del multiplexor se incrementará a **STM-4**, pero sólo una porción del tráfico agregado podrá ser conectado a los puertos tributarios de dicho multiplexor. En este caso, el multiplexor se convertiría en un equipo de acceso parcial.

La capacidad de actualizar los multiplexores a agregados de mayor capacidad permite a los operadores de red actualizar sus enlaces a mayores velocidades a medida que la capacidad de tráfico demandado se incrementa. La flexibilidad es, de todos modos, parcial, ya que únicamente una porción de tráfico agregado puede ser accedido por el multiplexor. Las conexiones de tráfico entre agregados y tributarios está limitada y hace más difícil acomodar los cambios de patrones de tráfico. Algunos cross-conectores están diseñados para que la capacidad de cross-conexión efectiva incremente, es decir que las conexiones son incrementadas al ser actualizada la velocidad de transmisión del agregado.

**Cross-Conectores Dedicados:** Tal y como describimos anteriormente, la cross-conectividad de los **ADMs** permite que la función de cross-conexión sea distribuida a lo largo de red, pero también es posible tener un único equipo cross-conector. Los cross-conectores digitales (**DXC**) son los más complejos y costosos equipamientos **SDH**.

No es la inclusión de bloques con funciones de cross-conexión lo que distingue a los **DXCs** de los **ADMs**, pero la presencia de supervisión de las conexiones en mayor o menor orden si que lo hace. Esto es, la característica distintiva de un **DXC** es su capacidad de proporcionar supervisión de las conexiones.

Todos los **DXC** proporcionan funcionalidad de cross-conexión y sería inusual implementar un **DXC** sin cross-conexión completa entre todas las entradas y salidas. Los **DXCs** también incorporan esas

funciones de multiplexión y terminación de línea, las cuales son esenciales como interfaz entre la matriz de cross-conexión y el resto de la red.

Hay dos tipos de cross-conectores **SDH** dedicados, generalmente conocidos como 4/1 DXCs y 4/4 DXCs.

4/1 DXCs puede normalmente aceptar combinaciones de entradas de 2, 155 y 622 Mbps y cross-conectar VC-12s, incluso algunos podrán también cross-conectar VC-2s, VC-3s, y VC-4s. Estos módulos de equipamiento más complejos son conocidos como 4/3/1 DXCs. 4/1 DXCs son, de todos modos, instalados en los puntos de red donde:

Sea necesaria una reorganización de la ruta principal y de circuitos, como por ejemplo entre el núcleo de la red y redes regionales.

Sea necesaria supervisión de las conexiones, como por ejemplo, en la pasarela con otra red.

Los cross-conectores 4/1 extrae contenedores virtuales de una variedad de enlaces **SDH** (principalmente STM-1, STM-4 y STM-16) y los reenruta.

4/4 DXCs son normalmente diseñados para aceptar entradas de 140, 155, o 622 Mbps y están optimizados para conmutar únicamente VC-4s. Los cross-conectores 4/4 son componentes de núcleo de red y proporcionan capacidades tales como gestión de ruta de alto nivel y restauración de red.

Tres factores limitan la capacidad de tráfico de un **DXC**: el número y tamaño de los puertos tributarios y el tamaño del núcleo interno de conmutación. En la práctica, la capacidad del puerto tiende a ser exhaustivo ante la capacidad de conmutación del núcleo, y es la principal razón para la actualización del cross-conector.

La flexibilidad de los **DXCs** significa que pueden implementarse en cualquier configuración. La provisión de supervisión, de todos modos, convierte al **DXC** en un complejo y caro elemento de red y la inclusión de protocolos de auto-curado de anillo incrementan la complejidad. Esto es, que para construir anillos auto-recuperables es más usual emplear **ADMs** donde añadir protocolos de anillo es menos complejo al no estar presente funciones de supervisión de conexiones.

**Regeneradores y Repetidores:** Los elementos de red también pueden ser configurados para extender la longitud de los tramos entre nodos, y por tanto realicen funciones de intercambio de tráfico.

Las señales que viajan a lo largo de un enlace de transmisión acumulan degradación y ruido. Los multiplexores configurados como regeneradores convierten la señal óptica en eléctrica, la cual es regenerada ("limpiada"). La señal regenerada es convertida de nuevo a señal óptica agregada y transmitida.



Por ejemplo, un enlace troncal STM-16 entre dos ciudades donde los ADM's están situados en ambos puntos, pero el tramo intermedio es demasiado largo y la señal puede estar degradada hasta el punto que el **ADM** receptor no pueda llegar a reconstruir la señal transmitida. Un **ADM** configurado como regenerador se introducirá en una localización intermedia entre las dos ciudades para reconstruir la señal y eliminar así la posible introducción de errores.

Los amplificadores ópticos son otra opción para extender el alcance de las señales ópticas. Estos trabajan como repetidores, reimpulsando la señal. La señal no sufre ninguna transformación a eléctrica.

De este modo, el tramo se amplía por potencia inyectada en la señal que no está limpia de degradaciones ni ruido, así que dependiendo de la longitud del enlace, y tipo de fibra, puede que sea requerido un regenerador también.

### **3.2 Sistemas de protección**

La seguridad debe estar basada primeramente en el criterio de diversidad esto es, por cada grupo de circuitos que sirvan para unir dos puntos, es necesario tender un doble camino físico, evitando en la medida de lo posible que estos dos caminos físicos tengan alguna infraestructura en común.

Se deben buscar configuraciones de redes soportadas por anillos. Por el contrario se deben evitar en lo posible la realización de redes en "estrella".

Se deben buscar ahorros dimensionando los equipos de transmisión a lo que es estrictamente necesario.

#### **Enlaces con fibra óptica en medio rural**

En sitios con una cantidad menor o igual a 4,000 abonados en servicio al año 1995 no se deben emplear sistemas de protección.

En sitios con una cantidad mayor a 4,000 abonados en servicio al año 1995 y con la posibilidad de tener a mediano plazo (3años) un segundo camino físico, no se debe instalar sistemas de protección.

Si llegase a ser posible realizar un segundo camino a un costo razonable y si existe una gran cantidad de abonados a comunicar (4,000 ó más), se deben usar sistemas de protección en configuración (1+1) con conmutación automática.

#### **Enlaces con fibra óptica en medio urbano**

En sitios con una cantidad menor o igual a 2,000 abonados en servicio al año 1995, no se deben emplear sistemas de protección.

En sitios con una cantidad mayor a 2,000 abonados en servicio al año 1995 y con la posibilidad de tener a mediano plazo (3años) un segundo camino físico, no se debe instalar sistemas de protección.

Si llegase a ser posible realizar a un segundo camino a un costo razonable y si existe una gran cantidad de abonados a comunicar (2,000 ó más), se deben usar sistemas de protección en configuración (1+1) con una conmutación automática.

### Tipos de configuración

A continuación se presenta una breve descripción de los sistemas de protección utilizados para ofrecer una mayor confiabilidad de los sistemas de transmisión por fibra óptica.

En todos los casos en que el equipo de transmisión lleve protección sobre el mismo medio de transmisión, este debe ser protegido mediante el empleo de diferentes sistemas de configuración como:

- Configuración (1+0)
- Configuración (1+1)
- Configuración (N+1)
- Configuración (N+M)

#### Configuración (1+0)

En esta configuración sólo se encuentra operando el canal de servicio, por lo que en caso de falla, el equipo no contará con protección.

Si el daño no es del equipo, por ejemplo, un daño por excavación al cable, el equipo deberá utilizar otra vía como medio de transmisión. Esto es posible si se encuentra en una red de anillo.

#### Configuración (1+1)

La señal se envía por ambas líneas, la regular y la protección. En el receptor la línea con la señal de mayor calidad es seleccionada.

A esta configuración se le designa 1+1, no hay necesidad de coordinar las señales local y remota de línea supervisada. Este tipo de configuración se basa en el principio de tener una línea de servicio.

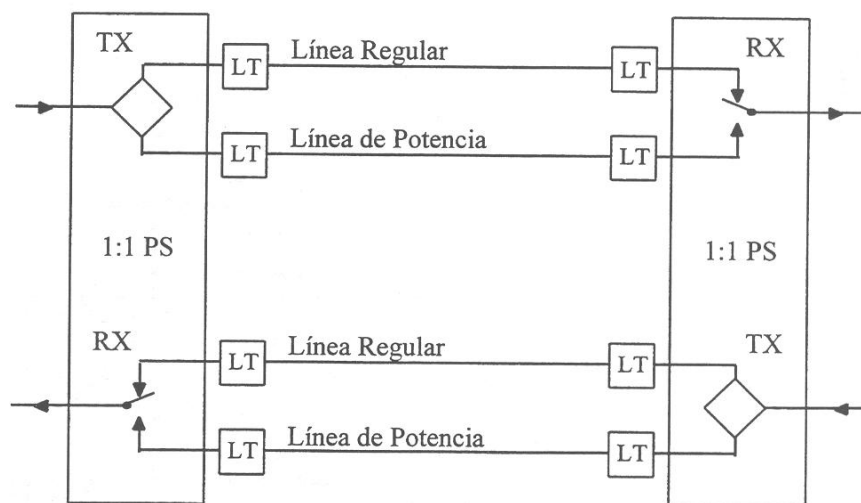


Fig. 3.3 Configuración (1+1)

### Configuración (N+1)

En esta configuración se cuenta con una sola línea funcionando con protección de N línea de servicio operando regularmente. N puede llegar hasta 12 líneas.

La línea de protección se encuentra disponible para sustituir a cualquiera de las líneas de servicio en caso de falla. Como es posible la ocurrencia de fallas en más de una línea de servicio en forma simultánea, entonces se asigna prioridad en la conmutación.

### Configuración (N+M)

Este tipo de configuración de protección, tiene la arquitectura más compleja y se refiere a N números de líneas operando ó en servicio con M líneas destinadas a la protección de las líneas en servicio.

### Diagrama de configuración (N+1)

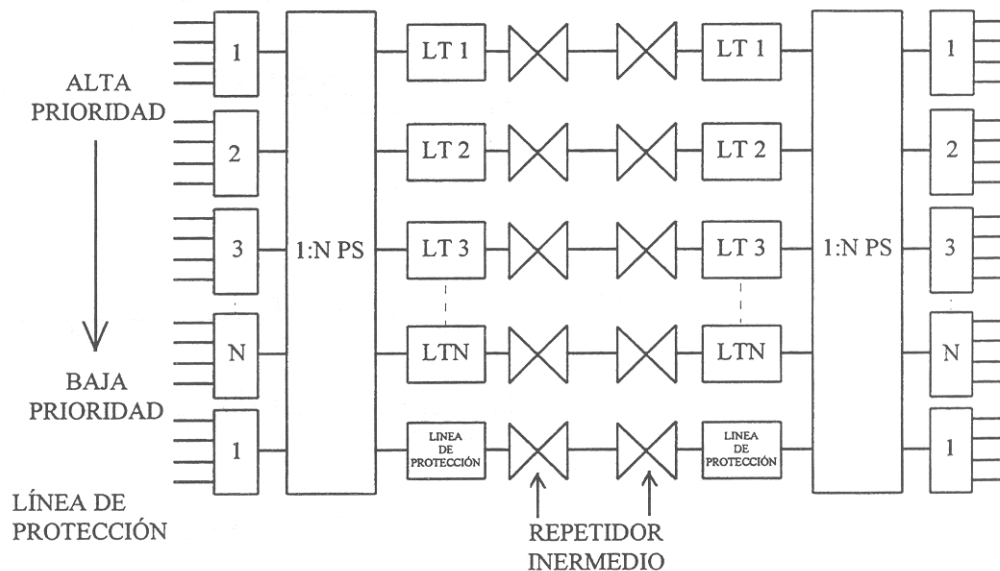


Fig. 3.4 Configuración (N+1)

### 3.3 Uso de equipos de conmutación para protección automática

En todos los casos en que el equipo de transmisión lleve protección sobre el mismo medio de transmisión, este debe ser protegido mediante el empleo de sistemas de configuración (1+1)

Con la facilidad para emigrar a un arreglo (N+M) si fuera necesario, empleándose en todos los casos conmutador de protección automática.

Para los casos de enlaces de servicios RDI (circuitos y líneas digitales privados punto a punto), en la red troncal se deben emplear sistemas de protección automática (1+1) con trayectorias diferentes, aprovechando de esta manera las ventajas de usar las redes soportadas por anillos.

#### Configuración en anillos

Para áreas donde la red es de muy alta capacidad y se necesita una gran confiabilidad, se utiliza configuraciones de anillos de fibra óptica "autorespaldados".

Esta estructura de anillo puede reconfigurarse sin la gestión de red externa, si ocurre una falla en el equipo ó en el cable, manteniendo la continuidad de servicio.

Se han definido diferentes tipos de arquitectura de anillos como:

- Anillo dedicado de trayectoria conmutada.
- Anillo de protección compartida.

#### Anillo dedicado de trayectoria conmutada

Envía el tráfico en ambos sentidos por el anillo y utiliza un mecanismo de protección para conmutar la señal en el extremo receptor cuando se detecta una falla. Suponga una señal en el sentido de transmisión y recepción que se enruta en el enlace directo a un sentido y en el enlace complementario en el sentido inverso, esta señal viaja por todo el anillo.

La transmisión de protección y de servicio viaja en sentido contrario una con respecto a la otra. En la recepción, se selecciona la mejor señal y se utiliza. De esta manera también se tiene protección a nivel físico de la fibra en caso de ruptura de cable.

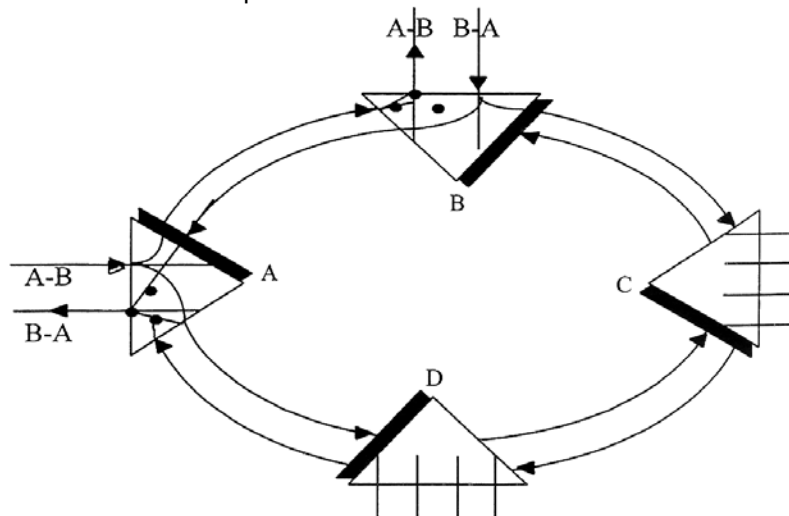


Fig. 3.5 Diagrama de anillo de trayectoria conmutada.

### Anillo de protección compartida

Los dos sentidos de la misma señal se enrutan por la misma trayectoria (enlace directo), la señal solo pasa por el enlace que se le ha asignado ("control de enrutamiento")

El autorrespaldo en caso de falla del enlace directo, se hace cambiando la señal al enlace complementario del anillo.

La protección se realiza "por sección", es decir, la sección es la entidad protegida.

El recurso de protección se encuentra a nivel de la mitad de la carga útil y se encuentra disponible mientras el funcionamiento es el adecuado, eventualmente se puede usar para transmitir el tráfico extra.

La gestión de este anillo es más compleja pues requiere la visión total del anillo y de sus elementos de red.

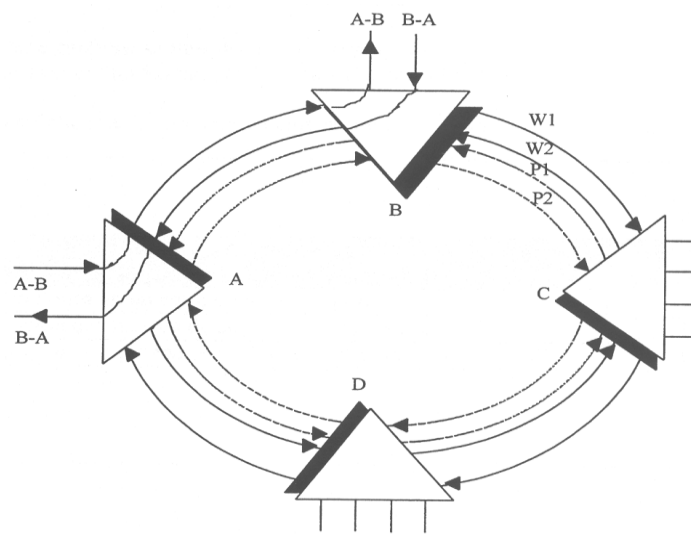


Fig. 3.6 Arquitectura de anillo Bidireccional

### 3.4 Mediciones en un sistema de fibra óptica

Los equipos mencionados para la transmisión digital por fibras ópticas tienen equipos de supervisión y alarmas propios del sistema en el marco de una filosofía de conservación de la UIT-T.

Esto garantiza el buen funcionamiento durante las “24 horas del día”. La calidad de transmisión y la disponibilidad de toda la ruta son trabajos decisivos para el personal de mantenimiento y finalmente para el explotador de la red.

Para mantener el funcionamiento óptimo de la red de fibra óptica, en TELMEX, se necesita de personal capacitado y equipo adecuado. En este subtema se muestra la forma en que se deben realizar las mediciones básicas sobre un Sistema de Transmisión por Fibra Óptica.

Las prácticas se dividen en secciones como se muestra en el contenido.

#### Mediciones en un equipo terminal óptico

Una de las pruebas más completas y más utilizadas consiste en medir la potencia óptica en transmisión (TX) y en (RX). Para realizar esta medición utilizamos el maletín de prueba OMK 43, el cual consta de diferentes instrumentos necesarios para las mediciones en la instalación y el mantenimiento de sistemas por fibra óptica.

Material y equipo

- Maleta OMK 43
- Pérdidas de inserción por jumper
- Medición de potencia óptica en TX
- Medición de potencia óptica en recepción RX
- Sensibilidad
- Medición de corriente de polarización
- Medición de frecuencias
- Medición de la temperatura del LÁSER

#### Maleta OMK 43

Para mediciones en redes con fibras ópticas monomodo y longitudes de onda de 1300nm y 1550nm, la maleta OMK 43 ofrece un juego óptimo de instrumentos. Cuenta con una fuente LÁSER, un medidor de potencia óptica y un atenuador variable. Este atenuador es necesario para la medición de la sensibilidad del receptor.

#### Generador LÁSER

Los generadores de luz LÁSER para fibras ópticas sirven como fuente para medidas de atenuación en sistemas de fibra monomodo. La fuente LÁSER OLS-25 es una fuente de luz doble con salidas para 1300nm y 1550 nm.

El nivel de transmisión es estable y no se altera por cambios de temperatura. Los generadores LÁSER tienen una potencia de salida de -10 dB. Por esto son clasificados en el grupo de LÁSER 1 ya que no son peligrosos y no requieren medidas especiales de seguridad.

### **Medidor de potencia óptica (MPO)**

Este instrumento mide los niveles y atenuaciones lumínicas en sistemas de transmisión por fibra óptica a longitudes de onda de 850, 1300 y 1550nm. Estos aparatos pueden contener en uno sólo diferentes fotorreceptores para las ventanas ópticas de trabajo. En cuanto a la sensibilidad y precisión existen también diferencias en las diversas marcas.

Los detectores (fotodiodos) están integrados de forma fija en los instrumentos. Su sensibilidad espectral abarca la gama completa de longitudes de onda (800-1700nm) Los fotodetectores (fotodiodos) pueden ser del tipo de Germanio o de Arseniuro de Galio e Indio.

### **Medidor de potencia óptica**

La adaptación del MPO al cable o la fibra desnuda se lleva a cabo mediante el adaptador correspondiente.

Existe MPO que contienen un diagrama antirreflexión integrado en el adaptador el cual impide los efectos reflectivos de la superficie frontal del conector, esto hace que la atenuación del adaptador sea menor.

### **Atenuador óptico**

Debido a sus características de transmisión óptimas a 1300 y 1550 nm, se ha establecido firmemente el uso de la fibra monomodo en el campo de las telecomunicaciones, empleándose con exclusividad en las nuevas instalaciones. Mientras que en los sistemas de transmisión L.D. se utiliza cada vez más la longitud de onda de 1500nm, las redes de enlace corto y medio utilizando una longitud de onda de 1300 nm con fibras monomodo.

Los receptores de los equipos terminales deben cubrir un amplio margen dinámico debido a las longitudes de línea variables con diferente atenuación. Por determinar la sensibilidad del receptor, se necesitan atenuadores ópticos junto con un medidor de potencia óptica.

Los atenuadores ópticos en TELMEX pueden ser:

- Fijos
- Variables

La atenuación de la potencia óptica (haremos mención a un equipo particular OLA-25 de W &G tiene lugar mediante un filtro neutro que se inserta en el camino del rayo luminoso, entre los lados de entrada y salida de la conexión de la fibra. Según la posición del disco del filtro, que puede variarse en forma continua mediante un botón giratorio situado en la parte frontal del instrumento, se obtiene una atenuación definida se indican digitalmente con una resolución de 0.1 dB en un visualizador LCD.

### 3.5 Pérdidas de inserción por jumper óptico

Para realizar cualquier medición en un terminal óptico, necesitas de un jumper para interconectar el equipo. Por eso es importante sabe cual es la pérdida de tu jumper de trabajo.

Antes de cualquier medición debes medir la pérdida de inserción por jumper óptico.

#### Material y equipo

##### Equipo

Maleta MK-43  
Fuente LÁSER  
Medidor de potencia óptica  
Atenuador óptico

##### Material

Jumper óptico  
Alcohol isopropilico  
Paño de limpieza  
Adaptador óptico  
Aire comprimido

#### Indicaciones

Realiza la medición de pérdidas por inserción debido a un jumper óptico.

#### Conexiones

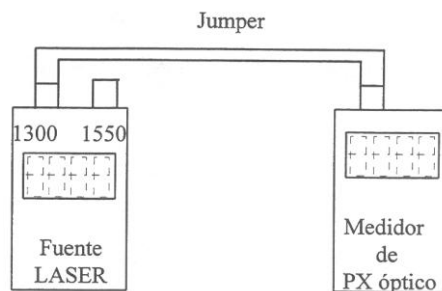


Fig. 3.7 Medición de pérdida de inserción.

#### Procedimiento

- | Paso | Acción   |
|------|--|
| 1.   | Ajusta la fuente LÁSER y selecciona la longitud de onda (1300nm, 1550 nm)  |
| 2.   | Limpia adecuadamente el conector de un extremo del jumper.                 |
| 3.   | Conecta con cuidado el jumper a la fuente LÁSER.                           |
| 4.   | Limpia el extremo restante del jumper.                                     |
| 5.   | Conecta este extremo al medidor de potencia óptico.                        |
| 6.   | Enciende el medidor de potencia óptico                                     |
| 7.   | Coloca como referencia la potencia de salida de la fuente LÁSER (-10 dBm)  |
| 8.   | Selecciona la opción a lectura Abs-ref para tener la atenuación del jumper |
| 9.   | Enciende la fuente LÁSER   |

Anota los resultados en la tabla. Para llenar la tabla varía la longitud de onda y el sentido de la medición.

Sentido	1300nm	1550nm
∞ A-B		
∞ B-A		
Promedio		



### 3.6 Medición de potencia óptica en TX

Realizar la medición de potencia óptica de TX y de RX en un terminal óptico.

- 📖 La potencia a medir varía dependiendo del terminal óptico y tipo de fuente de luz que se utilice.
- 👉 Estas mediciones deben realizarse solo sobre maquetas o en la recepción de un terminal óptico (“Equipo sin carga”)

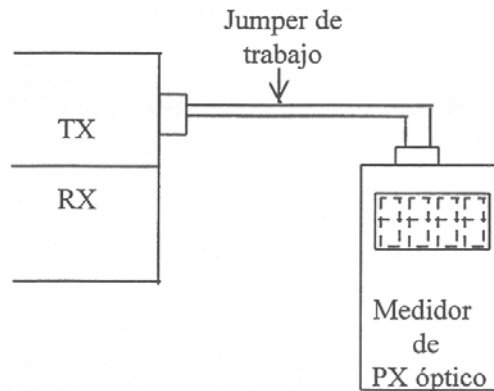


Fig. 3.8 Medición de potencia en TX

#### Procedimiento

- | Paso | Acción   |
|------|--|
| 1.   | Toma las medidas de seguridad adecuadas.   |
| 2.   | Limpia los conectores de su jumper de trabajo.   |
| 3.   | Conecta con cuidado de no dañar su jumper.   |
| 4.   | <b>No observe directamente.</b>  |
| 5.   | Selecciona la longitud de onda adecuada.   |
| 6.   | Coloca la referencia en el valor correspondiente a la atenuación del jumper de trabajo (practica de pérdida de inserción del jumper) |
| 7.   | Selecciona la opción Abs-ref = potencia del TX.  |
| 8.   | Verifica que el resultado este dentro del limite esperado (revise la hoja de especificación del equipo terminal)                     |
| 9.   | Anota el resultado en la tabla siguiente.  |

### 3.7 Medición de potencia óptica en recepción RX

#### Conexión

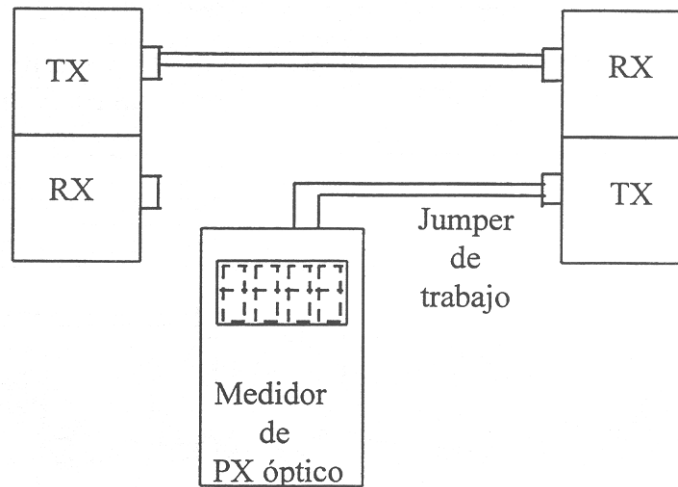


Fig. 3.9 Diagrama de medición de potencia.

#### Procedimiento

Paso	Acción
1.	Selecciona la longitud de onda adecuada.
2.	Selecciona la referencia en el valor correspondiente a la atenuación propia del jumper de trabajo.
3.	Selecciona la opción Abs-ref.
4.	Anota el resultado en la tabla siguiente.
5.	Verifique que el resultado este dentro de los limites especificados para el tipo de equipo que se utilice.
6.	Anota tus conclusiones.

### 3.8 Revisión del Sistema de supervisión de Alarmas

Al recibir un equipo se deben generar las fallas básicas para comprobar la generación de las alarmas consecuentes.

En las hojas de adaptación, aparece un cuadro de alarmas donde se anotará si ocurre una alarma o no como consecuencia de una falla determinada. Las alarmas consecuentes se visualizan por diferentes formas dependiendo del equipo terminal óptica.

Para los equipos de transmisión por fibra óptica, en la red de abonados y la red urbana (rutas de transmisión sin repetidores), las averías eventuales y los fallos dentro de un tramo de la ruta se detectan en los equipos terminales de línea y se señalizan con diodos electroluminiscentes en un módulo de supervisión.

Adicionalmente se tienen salidas de alarmas separadas y que no se pueden desconectar para algunos criterios importantes. Además de la supervisión en funcionamiento son conocidos también los procedimientos clásicos de la localización por medio de bucles.

Dependiendo del equipo, las alarmas en muchas ocasiones se pueden jerarquizar según sea necesario como urgentes o no urgentes. Se pueden indicar por diodos emisores de luz, displays, o si el equipo lo permite por medio de una pantalla en un monitor de una PC.

#### Alarmas

Las principales causas o fallas que provocan que se genere una alarma y que deben ser provocadas al recibir un equipo son:

Falla	Descripción	Provoca
1	Pérdida en señal óptica	Alarma urgente
2	Pérdida de señal eléctrica de 140 Mb/s	Alarma urgente
3	Recepción de errores BER > 10 <sup>-3</sup>	Alarma urgente
4	Recepción de errores BER > 10 <sup>-Y</sup> (dependiendo de la configuración)	Alarma no urgente
5	Degradación del LÁSER	Alarma no urgente
6	Falla de convertidores	Alarma no urgente
7	Falla eléctrica en unidades (todas las unidades que conforman el terminal óptico)	Alarma no urgente

Al recibir un equipo se deben generar estas fallas y comprobar que se generen las alarmas consecuentes.

Las alarmas se visualizan por medio de LEDs, por displays o en algunos equipos como en los emisores NEC, PHILIPS SL, NORTHER TELCOM, se puedan visualizar estas alarmas en una HAND HELD (terminal de supervisión manual), PCT (Terminal de control) o PC (computadora personal), en las cuales también se deben comprobar estas alarmas.

Al ir verificando cada alarma se ira llenando el cuadro correspondiente a la verificación de alarmas en la hoja de aceptación, generalmente la hoja de aceptación la proporciona el proveedor al entregar un equipo.

📖 Del bastidor del equipo, se deberá cablear las salidas correspondientes de alarma de estación hacia la tablilla de alarmas de la sala y comprobarse las alarmas urgente y no urgentes.

## Material y equipo

Para realizar este procedimiento necesitamos el siguiente material y equipo.

### Material

- Jumper óptico.
- Alcohol isopropílico.
- Aire comprimido.
- Paño de limpieza.

### Equipo

- (Maqueta) Terminal óptico.
- Medidor de potencia óptico.
- Multímetro digital.
- Frecuenciómetro.

## Pérdida de señal óptica

### Indicaciones

Verifique que no existan alarmas antes de provocar la falla de pérdidas de señal óptica.

### Procedimiento

Paso	Acción
1.	Quita la fibra óptica de recepción en el terminal óptico B.
2.	Comprueba la conmutación al equipo de reserva.
3.	Comprueba la indicación correspondiente de alarma "pérdida de señal óptica de entrada".
4.	Restablece el sistema.
5.	Comprueba que las alarmas no existan.
6.	Anota tus conclusiones.

## Pérdida de señal eléctrica

### Procedimiento

Paso	Acción
1.	Quita la señal eléctrica de entrada al transmisor óptico.
2.	Verifica la indicación de alarma correspondiente a la pérdida de señal.
3.	Restablece el sistema conectando nuevamente la señal eléctrica.
4.	Inhibe las alarmas.
5.	Anota tus conclusiones.

## Protección de LÁSER

En el caso drástico de ruptura de fibra se activa la función de interrupción de LÁSER. Esta función es para proteger al personal contra el haz LÁSER que se puede emitir por la ruptura de la fibra óptica o desde el extremo de la fibra óptica cuando se desconecta del bastidor de distribución de líneas ópticas.

### Diagrama del sistema de protección del LÁSER

Si existe ruptura de fibra entre las estaciones A y B tenemos:

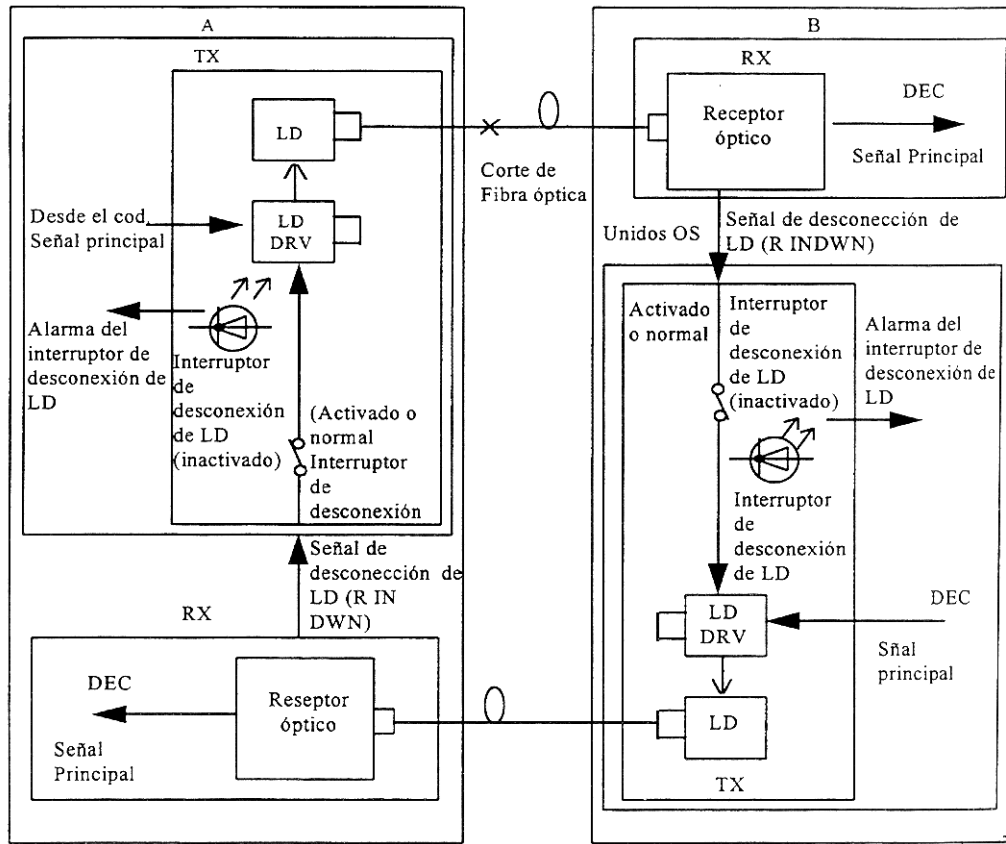


Fig. 3.10 Procedimiento de desactivación del LÁSER.

### Funcionamiento

#### Paso Acción

1. Alarma en recepción de la estación B.
2. La salida de luz del diodo LÁSER en la estación B se cierra.
3. La alarma en recepción ocurre en la estación A.
4. El circuito excitador del diodo LÁSER se cierra por la alarma óptica, se atenúa dependiendo del tipo del terminal óptico.
5. La salida del diodo LÁSER en la estación A se cierra o la señal óptica se atenúa dependiendo de tipo del terminal óptico.
6. Los cables de fibra óptica son reparados.
7. El interruptor de desconexión del diodo LÁSER se pone "desactivado" en las estaciones A y B.

Cuando el corte de fibra se ha reparado, ocurre lo siguiente:

#### Paso Acción

1. El interruptor de desconexión del diodo LÁSER retorna "activado".
2. Se recupera el tráfico.
3. El sistema se restablece.

### Procedimiento

Paso	Acción
1.	Desconecta la señal óptica de RX en B.
2.	Comprueba la generación de alarmas correspondientes.
3.	Comprueba la conmutación al equipo de protección.
4.	Mide la potencia de RX en A.
5.	Compruebe la atenuación de potencia del diodo LÁSER.
6.	Anota tus observaciones.

### Revisión de Fibras Ópticas

Las repisas de las terminales deben estar bien sujetas, atornilladas, y deben estar rotuladas con la trayectoria y número del sistema.

Las fibras deben estar tendidas en canaletas propias de fibra óptica desde el bastidor del equipo hasta el bastidor del DFO (Distribuidor de Fibras Ópticas)

Las charolas de las fibras ópticas utilizadas deberán estar rotuladas con la trayectoria y número del sistema y se identificarán cual es transmisión y cual es la recepción.

### Procedimiento

Paso	Acción
1.	Realiza la revisión física de la repisa del terminal óptico.
2.	Revisa que la repisa este completamente sujeta al bastidor y rotulada.
3.	Revisa el estado físico de los conectores.
4.	Los conectores deberán estar bien apretados e identificados, no debe haber falsos contactos en ellos.
5.	Revisa el estado físico de las fibras ópticas.
6.	Las fibras ópticas deben estar tendidas en charolas o canaletas desde el bastidor del equipo al bastidor distribuidor de fibra óptica.
7.	Comprueba la correspondencia de fibras entre los dos extremos. La transmisión de un extremo debe corresponder a la recepción del extremo distante y viceversa.
8.	Verifica que estén rotulados las fibras en los conectores y en las charolas de fibras en el DFO.
9.	Anota tus observaciones.

### Prueba de Conmutación Automática

#### Descripción

Con esta prueba se verifica que el sistema conmuta a una línea de protección, inmediatamente después de que se presente una falla en la fibra óptica del sistema en cuestión. Las causas probables de conmutación en un equipo terminal de línea óptica son:

- Pérdida de señal óptica.
- Pérdida de señal eléctrica de 140 Mb/s.
- Alta tasa de errores.
- Degradación del LÁSER.
- Falla e convertidores.
- Falla eléctrica en unidades.

Se deben generar las fallas para verificar la conmutación al sistema de protección en forma automática y en forma manual, y se revisaran las prioridades de conmutación.

### Material y equipo

#### Material

- Jumper óptico.
- Alcohol isopropílico.
- Aire comprimido.
- Paño de limpieza.

#### Equipo

- (Maqueta) Terminal óptico.
- Medidor de potencia óptico.
- Multímetro digital.

☞ Si se tiene una configuración N+1 (N líneas de servicio + 1 línea de protección), en caso de que dos sistemas fallen al mismo tiempo, conmutará el equipo de protección al sistema que tenga una programación mayoritaria de conmutación

El sistema con mayor prioridad dependerá de la cantidad y la importancia del tráfico telefónico que tenga cada sistema.

### Procedimiento de prueba

Para la generación de falta de señal eléctrica y óptica sigue los siguientes pasos.

Paso	Acción
1.	Quita la fibra óptica en el sentido de transmisión del emisor que este a prueba.
2.	Verifica que el sistema conmute a la línea de protección en forma automática, y el sistema multiplexor correspondiente no contenga alarmas.
3.	El tiempo de retardo para conmutar debe ser prácticamente cero.
4.	Conecta nuevamente la fibra óptica.
5.	Comprueba que el sistema regrese nuevamente a la línea de trabajo.
6.	Quita la fibra óptica en el sentido de recepción del emisor que este a prueba.
7.	Comprueba que el sistema conmute a la línea de protección en forma automática, y el sistema multiplexor correspondiente no contenga alarmas.
8.	Conecta nuevamente la fibra óptica.
9.	Comprueba que el sistema debe regresar nuevamente a la línea de trabajo. Verifica que no existan alarmas

Para verificar que el equipo conmute por falla en los convertidores, realiza el siguiente procedimiento.

Paso	Acción
1.	Verifica que exista equipo de protección (configuración N+1)
2.	Apaga la fuente de alimentación del emisor óptico que este a prueba.
3.	Comprueba que el sistema conmute a la línea de protección en forma automática y el sistema multiplex no presente alarma alguna.
4.	Restablece el sistema.
5.	El sistema debe regresar a la línea de trabajo en forma automática y no debe haber alarmas en el sistema multiplexor. Realiza una conmutación manual, mediante una secuencia de movimiento de interruptores o por medio de un programa en software (dependiendo del terminal óptico que utilice)
6.	Verifica que el sistema conmute a la línea de protección en forma inmediata y verifica que el sistema multiplex no tenga alarmas.
7.	Regresa es sistema a la línea de trabajo.
8.	Comprueba que el sistema regresa a la línea de trabajo y que el sistema multiplex en cuestión no tenga alarmas.
9.	

**Conmutación (N+1)**

Comprueba las prioridades en un arreglo n+1, (n líneas de servicio + 1 de protección), el sistema conmutara a la línea con mayor demanda de tráfico y mayor importancia del mismo arreglo (mayor prioridad de conmutación) Para comprobar la prioridad en un sistema sigue los pasos antes descritos para cada línea, de mayor o menor importancia.



## **CONCLUSIONES.**

Los avances logrados en el área de telecomunicaciones han permitido que el hombre se desempeñe de una manera más eficiente y es esta eficiencia la que ha motivado a empresas a usar nuevas tecnologías en cuanto a su fabricación, que día a día exigen mayores retos a quienes lo desarrollan. De esta manera ahora podemos mantener comunicado a un barco este en medio del océano a tierra, que un sonda espacial mande información a la tierra y algo más común estar conectado a Internet.

La fibra óptica utilizada como medio de transmisión en el transporte de información, presenta una gran cantidad de ventajas tales como: gran ancho de banda, baja atenuación, inmunidad electromagnética y seguridad, en comparación con los medios de transmisión guiados y no guiados tradicionales.

La competitividad que en servicios de Telecomunicaciones actualmente se da a nivel mundial, trae consigo la necesidad de disponer de una red escalable, adaptable, confiable y de gran capacidad, con la cual se podrá brindar servicios de telecomunicaciones de mejor calidad.

El tipo de fibra óptica escogida, basado en el estándar G.655 para una fibra monomodo; recomendado por la UIT-T, garantiza un adecuado funcionamiento de la red con parámetros de atenuación y dispersión establecidos.

En la actualidad la gran competitividad en las telecomunicaciones, trae consigo construir nuevas redes ópticas a menor costo posible. Afortunadamente las fibras ópticas son más sencillas de utilizar siempre y cuando se escoja la mejor fibra.

Los dispositivos WDM permiten incrementar enormemente la capacidad de los sistemas de transmisión actual sin requerir de desarrollos tecnológicos significativos y sin alterar las arquitecturas de red implantadas. Resumidamente, multiplexar por división en longitud de onda consiste en la transmisión por una misma fibra óptica de varios canales de información, cada uno a una longitud de onda distinta.

Actualmente la tecnología WDM es ampliamente utilizada en redes de cable de fibra óptica submarinos internacionales, consiguiendo unas capacidades y

funcionalidad inimaginables hace tan sólo cinco años. Además, la investigación y desarrollo de la WDM en redes regionales y metropolitanas ha madurado considerablemente en los últimos años, habiéndose incrementado el número de prototipos experimentales que en estos momentos están siendo probados en todo el mundo.

El crecimiento del tráfico de datos en redes de mediano y largo alcance, producido fundamentalmente por aplicaciones y servicios que requieren un ancho de banda grande, está originando el agotamiento de las capacidades de las infraestructuras de redes que se encuentran desplegadas en estos escenarios, que están soportadas en su mayoría sobre tecnologías basadas en conmutación de circuitos y que hacen un uso ineficiente del ancho de banda global de estas redes.

La protección de la red comienza inmediatamente después de la instalación. Un sistema que cubra muchas necesidades se brinda muchos servicios debe ser muy seguro, ya que es una herramienta de la que depende el trabajo de muchas personas.

Hay que establecer unos mecanismos de seguridad contra los distintos riesgos que pudieran atacar al sistema de red. Todos los dispositivos de una red necesitan corriente eléctrica para su funcionamiento. Los ordenadores son dispositivos especialmente sensibles a perturbaciones en la corriente eléctrica. Cualquier estación de trabajo puede sufrir estas perturbaciones, aunque esta contrariedad perjudique exclusivamente a un único usuario. Sin embargo, si el problema se produce en un servidor, el daño es mucho mayor, ya que esta en juego el trabajo de toda o gran parte de una organización. Por tanto, los servidores deberán estar especialmente protegidos. De todo lo que se desprende en el estudio descrito, la fibra óptica supone un avance tecnológico y una reducción de costes que una vez se haya implementado en el sistema de telecomunicaciones de las empresas, supondrá un avance en innovación y una apertura de campos de investigación jamás ocurridos en la historia de la humanidad que darán a su vez luz verde hacia nuevos descubrimientos.

<b>ADM</b>	Múltiplex de Inserción / Extracción
<b>AIS</b>	Señal de Indicación de Alarma
<b>ANSI</b>	Instituto de Estandarización Nacional Americano
<b>APS</b>	Conmutación de Protección Automática
<b>ASCII</b>	Código Normalizado Americano para el Intercambio de Información
<b>ATM</b>	Modo de Transferencia Asíncrona
<b>AU</b>	Unidad Administrativa
<b>AUG</b>	Unidad Administrativa de Grupo
<b>BBE</b>	Error de Bloques de Fondo
<b>BBER</b>	Tasa de Errores de Bloque de Fondo
<b>BIP</b>	Paridad por Intercalación de Bit
<b>C</b>	Contenedor
<b>C-n</b>	Contenedor de nivel n
<b>CM</b>	Conexión de Matriz
<b>CMI</b>	Código por Inversión de Marca
<b>CRC</b>	Chequeo de Redundancia Cíclica
<b>DCC-M</b>	Canal de Comunicación de Datos de sección Multiplexores
<b>DCC-R</b>	Canal de Comunicación de Datos de sección Regeneradores
<b>DQDB</b>	Bus Doble de Espera Distribuido
<b>EB</b>	Errores de Bloque
<b>ECC</b>	Canal de Control Interno
<b>EPS</b>	Conmutación de Protección de Equipo
<b>ES</b>	Segundos con Error
<b>ESR</b>	Tasa de Segundos con Error
<b>ETSI</b>	Instituto de Estandarización de Comunicaciones Europeo
<b>FDDI</b>	Interfaz de Datos Distribuidos por Fibra Óptica
<b>FERF</b>	Falla de Recepción en el extremo distante
<b>GNE</b>	Elemento de Red de Frontera
<b>HCS</b>	Supervisión de conexión de ruta de orden superior
<b>HDTV</b>	Televisión de Alta Definición
<b>HO-FEBE</b>	Error de Bloque de extremo de ruta de orden superior
<b>HO-FERF</b>	Falla de recepción de extremo de ruta de orden superior
<b>HOA</b>	Ensamblador de Orden Superior
<b>HOJ</b>	Interfaz de Orden Superior
<b>HOPL</b>	Nivel de Ruta de Orden Superior
<b>HPA</b>	Adaptación de Trayectoria de Alto Orden
<b>HPC</b>	Conexión de Trayectoria de Alto Orden
<b>HPOM</b>	Monitor de Overhead de Ruta de Orden Superior
<b>HPT</b>	Terminación Trayectoria de Alto Orden
<b>HUG</b>	Generador no Equipado de Ruta de Orden Superior
<b>IEC</b>	Contador de Errores de Entrada
<b>LCS</b>	Supervisión de Conexión de Ruta de Orden Inferior
<b>LO-FEBE</b>	Error de Bloque de extremo de ruta de orden inferior
<b>LO-FERF</b>	Falla de recepción de extremo de ruta de orden inferior
<b>LOF</b>	Perdida de trama
<b>LOI</b>	Interfaz de Orden Inferior
<b>LOM</b>	Pérdida de Multitrama

<b>LOP</b>	Pérdida de Puntero
<b>LOPL</b>	Nivel de Ruta de Orden Inferior
<b>LOS</b>	Pérdida de Señal
<b>LPA</b>	Adaptación de Trayectoria de Bajo Orden
<b>LPC</b>	Conexión de Trayectoria de Bajo Orden
<b>LPOM</b>	Monitor de Overhead de Ruta de Orden Inferior
<b>LPT</b>	Terminación Trayectoria de Bajo Orden
<b>LUG</b>	Generador no Equipado de Ruta de Orden Inferior
<b>LLC</b>	Pérdida de Señal
<b>MAC</b>	Adaptación de Trayectoria de Bajo Orden
<b>MAF</b>	Función de Aplicación de Gestión
<b>MAN</b>	Redes de Área Metropolitana
<b>MCF</b>	Función de Comunicación de Mensaje
<b>MD</b>	Dispositivo de Mediación
<b>MIS</b>	Mala Equiparación
<b>MS-AIS</b>	AIS de Sección Múltiplex
<b>MS-FEBE</b>	Error de Bloque de extremo de ruta de Sección Múltiplex
<b>MS-FERF</b>	Falla de recepción de extremo de ruta de Sección Múltiplex
<b>MSA</b>	Adaptación de Sección Múltiplex
<b>MSOH</b>	Encabezado de Sección de Múltiplex
<b>MSP</b>	Protección de Sección Múltiplex
<b>MST</b>	Terminación de Sección Múltiplex
<b>MTG</b>	Generador de Reloj en el Múltiplex
<b>MTPI</b>	Interfase Física de Temporización de Múltiplex
<b>MTS</b>	Fuente de Reloj en el Múltiplex
<b>NDF</b>	Bandera de Información Nueva
<b>NE</b>	Elemento de Red
<b>NEF</b>	Función de Elemento de Red
<b>NNI</b>	Interfase de Red de Nodo
<b>NPI</b>	Indicador de Puntero Nulo
<b>NRZ</b>	No Retorno a Cero
<b>OFS</b>	Fuera de Trama por Segundo
<b>OHA</b>	Función de acceso al overhead
<b>OOF</b>	Fuera de Trama
<b>OS</b>	Sistema de Operación
<b>OS/MD</b>	Dispositivo de Mediación o Sistema de Operación
<b>OSF/MF</b>	Función de Mediación o Función de Sistema de Operaciones
<b>OSI</b>	Sistema Abierto de Interconexión
<b>PCS</b>	Supervisión de Conexión PDH
<b>PDH</b>	Jerarquía Digital Plesiócrona (plesíncrona)
<b>PJE</b>	Evento de Justificación de Apuntador
<b>POH</b>	Encabezado de Trayectoria
<b>PPI</b>	Interfaz física SDH
<b>PPS</b>	Conmutación de Protección de Trayecto
<b>PRC</b>	Reloj de Referencia Primaria
<b>PSL</b>	Etiquetas de señal de ruta
<b>PTI</b>	Indicador de trazo de ruta
<b>PTR</b>	Apuntador (puntero)

---

<b>PUAS</b>	Trayectoria con segundos no disponibles
<b>RSOH</b>	Encabezado de Sección de Regenerador
<b>RST</b>	Terminación de Sección de Regenerador
<b>SA</b>	Sección de Adaptación
<b>SD</b>	Degradación de la Señal
<b>SDH</b>	Jerarquía Digital Sincrona
<b>SEMF</b>	Funciones de gestión ó administración de equipo sincrónico
<b>SESR</b>	Tasa de segundos severamente errados
<b>SETPI</b>	Interfaz física de sincronización de equipo sincrónico
<b>SETS</b>	Fuente de sincronización de equipo sincrónico
<b>SMN</b>	Red de Gestión (Administración) SDH
<b>SMS</b>	Sub-Red de Gestión (Administración) de SDH
<b>SOH</b>	Encabezado de Sección
<b>STM</b>	Modulo de Transporte Sincrono
<b>STM-n</b>	Modulo de Transporte Sincrono nivel n
<b>TMN</b>	Red de Gestión (Administración) de Telecomunicaciones
<b>TTF</b>	Función terminal de transporte
<b>TU</b>	Unidad Tributaria
<b>TUG</b>	Grupo de Unidades Tributarias
<b>UAS</b>	Segundos no disponibles
<b>UIS</b>	
<b>UIT-T</b>	Unión Internacional de Telecomunicaciones-Telecomunicación
<b>VC</b>	Contenedor Virtual

## **Bibliografía**

### **Fibras ópticas**

Centro de óptica ITESM  
Campus Monterrey  
Conductores LATINCASA S.A. de C.V.

### **Curso Sobre El Sistema 8TR 695 Terminal Óptico AT&T**

Centro de formación AT&T-NS-ES 1994.

### **Curso de Jerarquía Digital Síncrona SDH (básico)**

Instituto Tecnológico de Teléfonos de México.

### **Protection Switching Systems 1:1 and 1: N**

ERICSSON Review.

### **Amplificadores Ópticos Utilizando Fibras Impurificadas con Erblio.**

Joao Batista de Melo Ayres Neto  
Revista Telebrás  
Edición Tecnología

### **Curso Supervisión Y Mantenimiento De Fibras Ópticas Para Líneas L.D.**

Instituto Tecnológico de Teléfonos de México S.C.  
Luis H. Sandoval Córdova.  
Ing. Raúl Nazar.

### **Sistemas De Telecomunicación Vol. 1.**

Transmisión por Línea y Redes.  
José M. Hernando Rábanos.  
2da Edición.  
Madrid, España. 1991.

### **Criterios Prioritarios De Ingeniería Transmisión.**

Teléfonos de México, S.A. de C.V.  
Subdirección de Ingeniería y Normas.  
Febrero 1993