

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA**



**SISTEMAS DE COMUNICACION POR
FIBRAS OPTICAS**

TESIS

**PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ELECTRONICA Y
COMUNICACIONES**

PRESENTA

RAQUEL YADIRA PATIÑO LOPEZ

ASESOR: ING. LEOPOLDO VILLARREAL

MONTERREY, N. L.

OCTUBRE DE 1996

T

TK510

.59

F37

1996

c.1



1080097024

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

Handwritten text: "Lopez Yadira" and "1996" with a large 'X' mark.

A la vida... que me otorgó:

A mi madre, la vida por darme amor, tiempo y cada momento de mi existir, recibiendo lo que necesitaba y más. La vida es algo que hemos logrado siempre para mí, estar a mi lado y haberme enseñado que la vida es algo que



A mis hermanos, por darme mis ganas de vivir y luchar por combinar tantas personalidades. La vida es una gran fiesta, así que en lugar de separar nos unen cada día más. Gracias Juanito por el ángel tan hermoso que me regaló.

A Monterrey, por estos 5 años de aprendizaje; no solo me ha dado una carrera sino también una fortaleza como ser humano, el estar lejos de casa luchando me ha hecho descubrir el valor de la vida.

SISTEMAS DE COMUNICACION POR FIBRAS OPTICAS

A mis maestros que han sido amigos y confidentes, a su lado he vencido miedos y a su vez he superado mis limitaciones. Gracias por su apoyo.

TESIS

PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES



Y a ti, por existir.

PRESENTA

RAQUEL YADIRA PATIÑO LOPEZ

ASESOR: ING. LEOPOLDO VILLARREAL

MONTERREY, N. L.

OCTUBRE DE 1996

T
TK5103
P. 59
P. 37
1996



Ha concluido una etapa más, y en este mi camino he decidido agradecerle **a la vida**.

A la vida....que me otorgó :

A mi madre, la mejor madre, por darme amor, tiempo y comprensión cada momento de mi existir, recibiendo de ella lo que necesitaba y más. Nunca terminaré de demostrarte lo importante que has sido y serás siempre para mí, este triunfo no es solo mío, es algo que hemos logrado juntas, gracias por estar a mi lado y hacerme tan feliz.

A mis hermanos, que representan mis ganas de vivir y luchar, por combinar tantas personalidades y hacer de mi vida una gran fiesta, esas diferencias que en lugar de separar nos unen cada día más. Gracias Juanito por el ángel tan hermoso que me regaló.

A Monterrey, por estos 5 años de aprendizaje; no solo me ha dado una carrera sino también una fortaleza como ser humano, el estar lejos de casa luchando me ha hecho descubrir el valor tan grande de mi familia.

A mis maestros que han sido amigos y confidentes, a su lado he vencido miedos y a su vez he superado mis limitaciones. Gracias por su apoyo.

A mi Facultad, por ser mi segunda casa y refugio en mis ratos de soledad .

A mi asesor, Ing. Leopoldo Villarreal, gracias por sus consejos , por demostrar comprensión cada vez que me acercaba a él.

Y a ti , por existir.

INDICE

Capítulo I	Página
1. Principios Básicos de las Fibras Opticas	1
1.1 Principios físicos del conductor de Fibra Optica.....	2
1.1.1 Reflexión	3
1.1.2 Refracción	3
1.1.3 Refracción Total	5
1.1.4 Apertura Numérica	5
1.2 Propagación de la luz en el conductor de Fibra Optica	6
1.3 Perfiles de los conductores de Fibra Optica	7
1.3.1 Perfil Escalonado	7
1.3.2 Perfil Gradual	9
 Capítulo II	
2. Propiedades Mecánicas de las Fibras Opticas y sus pérdidas	10
2.1 Pérdidas de Transmisión	11
2.1.1 Absorción	11
2.1.2 Dispersión	11
2.1.3 Ancho de Banda y Dispersión	13
2.1.4 Dispersión Multimodo (modal)	15
2.1.5 Dispersión del material (cromática)	15
2.2 Propiedades Mecánicas de las Fibras Opticas	17
2.2.1 Microcurvatura	17
2.2.2 Curvado	17
2.2.3 Esfuerzos	17
2.2.4 Humedad	17
2.2.5 Consideraciones de Diseño	18
2.2.6 Microfacturas	18
2.2.7 Elementos de un Cable Optico	18

Capítulo III		Página
3.	Dispositivos Electroluminiscentes	22
3.1	Fototransmisores de Fibras Opticas	23
3.1.1	LED (Light Emitting Diode)	24
3.1.2	ILD (Injection Laser Diode)	25
3.2	Fotodetectores para Fibras Opticas	27
3.2.1	Fotodiodo PIN	27
3.2.2	Fotodiodo de Avalancha (APD)	28

Capítulo IV

4.	Conectores	30
4.1	Diseño de Férula Flexible	31
4.2	Diseño de SMA	33
4.3	Conector Bicónico	34
4.4	Conector ST	34
4.5	Diseño FC	35
4.6	Conector FDDI	36

Capítulo V

5.	Empalmador de Fusión	37
5.1	Generalidades de las Pérdidas en los Empalmes	38
5.2	Funcionamiento Básico de un Empalmador	39
5.3	Empalmador de Fibra Optica de Fusión FSM-20CS	41
5.3.1	Empalme de Fibra Optica de tipo SM	49
5.3.2	Observación del Extremo de la Fibra	50
5.3.3	Observación en el Punto del Empalme	51
5.3.4	Usando el calentador	52
5.3.5	Indicación de Alarma	52

Capítulo VI	Página
6. Mediciones y Pruebas	55
6.1 Medidor de Potencia Optica	56
6.2 Reflectómetro Optico en el Dominio del Tiempo (OTDR)	57
6.3 Descripción de Funciones del OTDR ANRITSU MW910C	58

Bibliografía

Principios Básicos de las Fibras Ópticas

Las fibras ópticas pueden ser definidas como la rama de la óptica que trata a la comunicación mediante la transmisión de luz a través de fibras de vidrio o plástico ultra puras. Estas han llegado a ser uno de los principales intereses en el mundo de la electro-óptica.

Básicamente un sistema de fibras ópticas convierte una señal eléctrica a una señal de luz infrarroja, luego se introduce esta señal a la fibra y se transmite, y por último la señal es capturada del otro lado de la fibra, donde es reconvertida a señal eléctrica.

En este capítulo se verán los principios básicos utilizados en la transmisión de la luz (infrarroja) en la fibra óptica, ya que éstos son la base para el funcionamiento de las fibras ópticas.

1.1 Principios físicos del conductor de fibra óptica

Desde hace casi 100 años se utilizan las ondas electromagnéticas para la transmisión de informaciones. Su utilidad se debe a que para propagarse no requieren necesariamente de un conductor metálico sino que pueden hacerlo con elevada velocidad, tanto en el vacío como en un medio dieléctrico.

La figura 1.1 muestra el espectro electromagnético y su utilización.

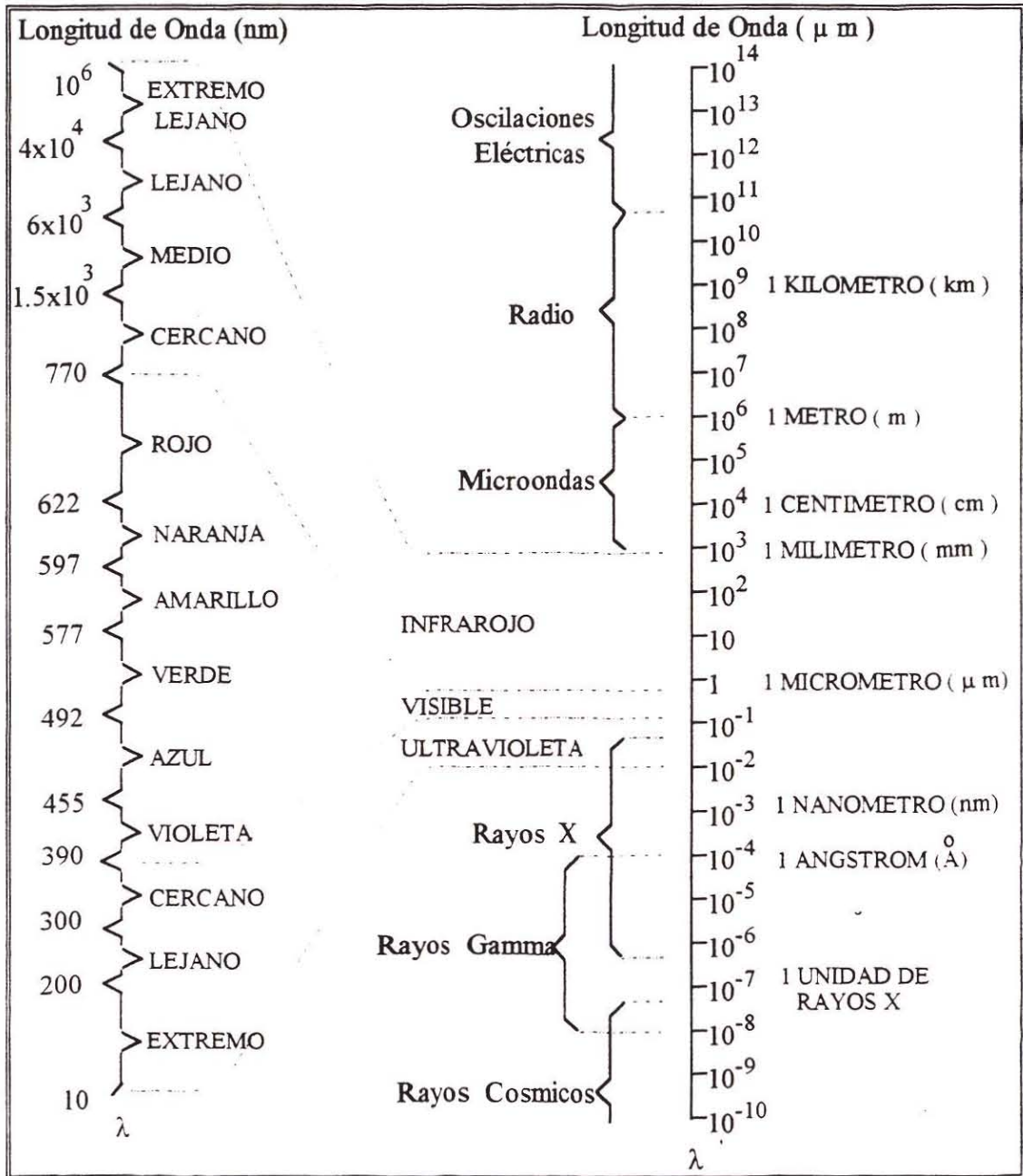


Figura 1.1 Espectro Electromagnético

La luz visible solamente ocupa la zona reducida que va desde los 380 nm (violeta) hasta los 780 nm (rojo). A la misma figura se le añade la zona de radiación ultravioleta, con las longitudes de ondas menores y la zona de radiación infrarrojo, con longitudes de ondas mayores.

En las telecomunicaciones por fibra óptica se utilizan las longitudes de onda infrarrojo cercano (800 a 1600 nm), siendo los valores predefinidos: 850, 1300 y 1550 nm.

En el vacío las ondas electromagnéticas se propagan con la velocidad de la luz.

$c_0 = 299792.456 \text{ Km/seg.}$

Por la propagación en el aire se puede tomar con suficiente aproximación el valor redondo de:

$c_0 = 3 \times 10^8 \text{ m/seg.}$

La onda electromagnética y por ende la luminosa, es una onda transversal en un medio sin pérdidas e infinitamente extendido. Su campo eléctrico y magnético oscila perpendicularmente a la dirección de propagación.

1.1.1 Reflexión

Cuando una onda luminosa incide sobre la superficie de separación entre dos sustancias. Una frecuencia de la misma se refleja [Fig. 1.2]. La proporción de la luz reflejada es función del ángulo α_1 que forma el rayo de luz incidente con la perpendicular a la superficie de separación. Por rayo de luz se entiende aquí la trayectoria dentro de la cual se extiende la energía luminosa. Para el rayo luminoso reflejado y el ángulo α_2 que este forma con la perpendicular a la superficie de separación de las sustancias tenemos que:

El rayo reflejado:

- Se mantiene en el plano formado por el rayo luminoso incidente y la perpendicular a la superficie de separación de las sustancias.
- Se halla en el semiplano opuesto (en relación con el rayo luminoso incidente a la perpendicular) a la superficie de separación de las sustancias.
- Su ángulo será igual al del incidente. $\alpha_1 = \alpha_2$.

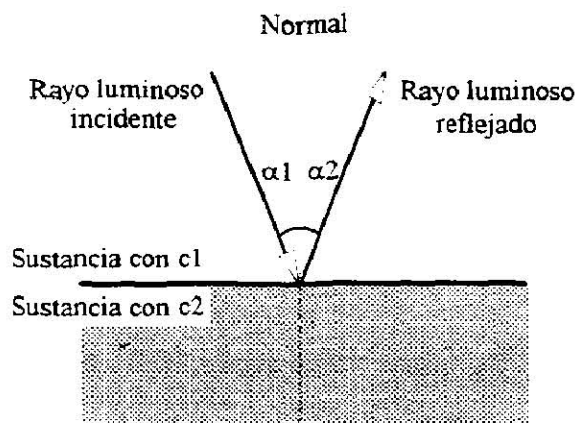


Fig. 1.2 REFLEXION

1.1.2 Refracción

Si un rayo luminoso con un ángulo α pasa desde una sustancia ópticamente menos densa (ej. aire) a otra más densa (ej. vidrio o agua), su dirección de propagación se quiebra y su trayectoria continúa en la segunda con un ángulo de refracción β [Fig. 1.3].

Para una sustancia isotrópica, es decir, un medio o material que presenta idénticas propiedades en todas sus direcciones, tenemos la *La ley de refracción de snell*:

El cociente entre el seno del ángulo de incidencia α y el seno del ángulo de refracción β es constante e igual a la relación de las velocidades de la luz c_1/c_2 :

$$\text{sen } \alpha \cdot \text{sen } \beta = c_1/c_2$$

donde:

α ángulo de incidencia

β ángulo de refracción

c_1 velocidad de la luz en la sustancia 1

c_2 velocidad de la luz en la sustancia 2

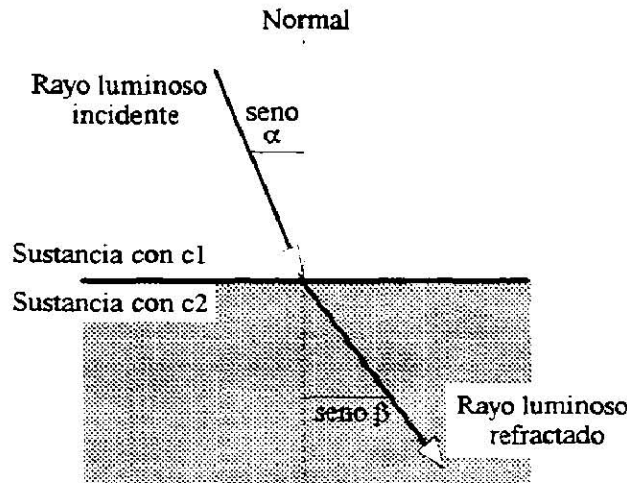


Fig. 1.3 REFRACCION

De dos sustancias transparentes, se considera más densa a aquellas que posee la menor velocidad de propagación de la luz.

Considerando la transición desde el vacío en el cual la velocidad de la luz es c_0 , a una sustancia con velocidad de la luz c , se obtiene:

$$\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \beta} = \frac{C_0}{C}$$

La relación entre la velocidad de la luz en el vacío c_0 y la de la sustancia c , se denomina *índice de frecuencia* (o más exactamente *índice de refracción entre dos fases n*) de esa sustancia y es una constante material de la misma [Tabla 1.1]. El índice de refracción del vacío (aire) n_0 es igual a 1.

Índices de Refracción típicos	
Medio	Índice de Refracción (n)
Aire	1.00
Diamante	2.42
Agua	1.33
Cuarzo fundido	1.46
Alcohol Ethílico	1.36

Tabla 1.1

Para dos sustancias diferentes con los índices de refracción n_1 y n_2 y las correspondientes velocidades de la luz c_1 y c_2 se tiene:

$$c_1 = c_0/n_1 \quad \text{y} \quad c_2 = c_0/n_2$$

por lo que obtenemos otra expresión de la *ley de la refracción de Snell*:

$$\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

la relación del seno del ángulo de incidencia al seno del ángulo de refracción es inversamente proporcional a la respectiva relación de los índices de refracción.

1.1.3 Refracción total

Cuando el rayo luminoso incidente incide con un ángulo α cada vez mayor, desde una sustancia ópticamente más densa con un índice de refracción n_1 sobre la superficie de separación con una sustancia ópticamente menos densa con un índice de refracción n_2 , el ángulo de refracción β al llegar a determinado α_0 , puede llegar a ser igual a 90°

En este caso el rayo luminoso se propaga paralelamente a la superficie de separación de ambas sustancias y el ángulo de incidencia α_0 se denomina ángulo límite de las dos sustancias.

Para el ángulo límite se tiene:

$$\text{sen } \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}$$

La refracción total puede ocurrir únicamente cuando un rayo luminoso incide desde una sustancia ópticamente más densa (ej. vidrio $n_1 = 1.5$) sobre otra ópticamente menos densa (ej. aire $n_0 = 1$) y nunca se da en el caso inverso.

1.1.4 Apertura Numérica

En los conductores de fibra óptica se utiliza el efecto de la reflexión total para conducir el rayo luminoso en virtud de tener estos conductores en su centro un "núcleo" formado por un vidrio con un índice de refracción n_1 y, envolviéndolo, en un "recubrimiento" formado con un vidrio de refracción n_2 . El valor de n_1 es algo mayor que el de n_2 .

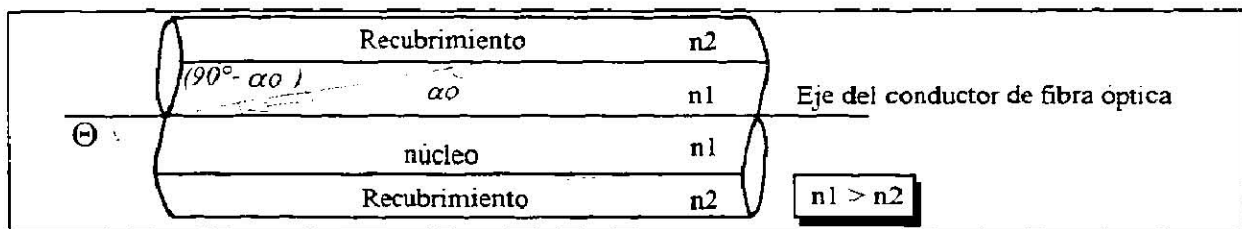


Figura 1.4 Fibra Óptica

Analizando la expresión $\text{sen } \alpha_0 = n_0 = n_2/n_1$ se concluye que todos los rayos luminosos que incidan con un ángulo menor que $(90 - \alpha_0)$ con respecto al eje de la fibra óptica son conducidos en el núcleo.

Para acoplar en el núcleo un rayo luminoso desde el exterior de la fibra óptica (fig. 1.4) (aire con índice de refracción n_0), el ángulo (entre el rayo luminoso y el eje de la fibra) se rige de acuerdo a la ley de refracción:

$$\frac{\text{sen } \Theta}{\text{sen}(90^\circ - \alpha_0)} = \frac{n_1}{n_0}$$

Por lo que:

$$\text{sen } \Theta = n_1 \cos \alpha_0 = n_1 \sqrt{1 - \text{sen}^2 \alpha_0}$$

Y considerando la condición del ángulo límite $\text{sen} \alpha_0 = n_2/n_1$ se obtiene la expresión:

$$\text{sen } \Theta = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

El máximo ángulo de acoplamiento Θ_{\max} se denomina *ángulo de aceptación* del conductor de fibra óptica y es únicamente función de los índices de refracción n_1 y n_2 . Al seno del *ángulo de aceptación* se le denomina *Apertura Numérica (AN)* del conductor de fibra óptica:

$$AN = \text{sen } \Theta_{\max}$$

Este valor es de gran importancia para el acoplamiento de la luz a los conductores de fibra óptica.

1.2 PROPAGACIÓN DE LA LUZ EN EL CONDUCTOR DE FIBRA ÓPTICA

Las leyes de la óptica permiten describir la reflexión total de la luz en la superficie que separa al núcleo del recubrimiento en un conductor de fibra óptica. Para ello se considera básicamente que la luz se propaga en forma de rayos rectilíneos. Para efectuar un análisis más detallado de las diferentes formas de propagación de la luz dentro del núcleo, es necesario considerar los fenómenos de la óptica ondulatoria dado que el diámetro del núcleo de un conductor de fibra óptica se halla típicamente entre los 10 y los 100 μm o sea que es solamente un poco mayor que la longitud de onda de la luz transmitida por ese núcleo (aprox. 1 μm). Debido a esta relación de dimensiones ocurren fenómenos de interferencia que solo se pueden describir con ayuda de la óptica ondulatoria.

En general se denomina *interferencia* a la superposición de dos o más ondas y su combinación para formar una onda única. Una manifestación típica de la interferencia de dos ondas se obtiene solamente cuando ambas tienen la misma longitud de onda y existe una diferencia de fase constante entre ambas en el tiempo. Este tipo de ondas se denomina *ondas coherentes*. Si en determinado punto del espacio ambas ondas presentan una diferencia de fase igual a un múltiplo entero de λ (longitud de onda), se produce una suma de sus amplitudes, en cambio si esta diferencia es igual a un múltiplo entero de $\lambda/2$ (media longitud de onda), una resta, y si ambas amplitudes son iguales, incluso una anulación local de las ondas.

Si se utilizan dos fuentes luminosas, (ej. dos lámparas incandescentes) y se superponen sus luces no se observará ningún tipo de interferencia ya que su luz es incoherente. La causa se halla en el proceso de emisión de luz del cuerpo luminoso, en el caso precedente el filamento incandescente de las lámparas. En virtud de fenómenos espontáneos aleatorios, cada uno de los átomos del filamento incandescente emite destellos luminosos o sea cortos trenes de ondas con una duración aprox. 10^{-8} seg. Considerando que en el aire la velocidad de la luz 3×10^8 m/seg., estos trenes tienen una longitud de unos tres metros. Esta longitud se denomina *longitud de coherencias*. La superposición de los trenes de ondas de esta longitud es totalmente irregular y únicamente ocasiona la iluminación general del ambiente.

Para la transmisión de la luz con conductores de fibras ópticas fue necesario encontrar *fuentes luminosas coherentes* o sea las que emiten una luz lo más coherente posible.

Por ello, el ángulo espectral de un emisor debería ser lo más pequeño posible. A diferencia de diodos luminosos con un ancho espectral de líneas ≥ 40 nm se brindan especialmente los láser que en virtud de una emisión de luz forzada dan la posibilidad de contar con una diferencia de fases

constantes a igual longitud de onda. Con ello también aparecen interferencias en el conductor de fibra óptica, las cuales se reconocen porque la luz se propaga en el núcleo únicamente en determinados ángulos que corresponden a direcciones en las cuales las ondas asociadas al superponerse se refuerzan (interferencia constructiva). Las ondas luminosas permitidas susceptibles de propagarse en un conductor de fibra óptica se denominan *modos* (ondas naturales o fundamentales).

1.3 PERFILES DE LOS CONDUCTORES DE FIBRA ÓPTICA

1.3.1 Perfil Escalonado

Para que la luz sea conducida en el núcleo de un conductor de fibra óptica con perfil escalonado, el índice de refracción del núcleo n_1 debe ser algo mayor que el recubrimiento n_2 teniendo en cuenta la reflexión total en la superficie de separación de ambos vidrios. Si el valor de índice de refracción n_1 se mantiene constante en toda la sección del núcleo, se habla de *perfil escalonado* del índice de refracción, pues el índice se incrementa en forma de escalón a partir del valor que tiene en el recubrimiento hasta el que posee en el núcleo y que allí permanece constante. En la figura 1.5 se representa un conductor de fibra óptica con su perfil escalonado de índices de refracción y, además, el recorrido de un rayo luminoso con sus correspondientes ángulos.

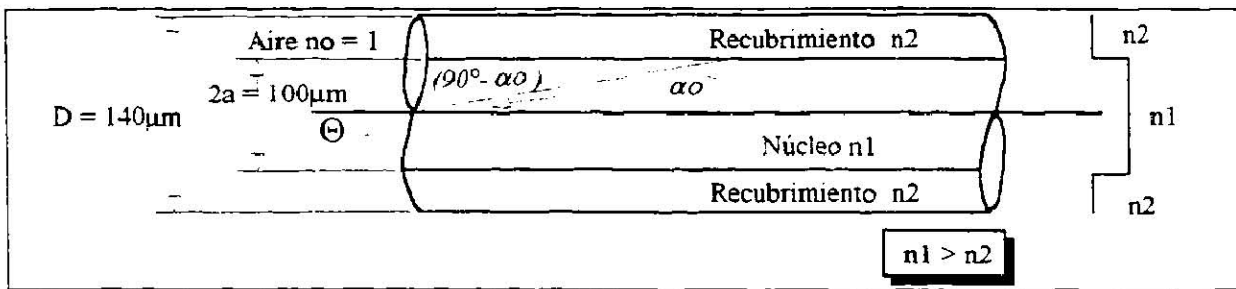


Figura 1.5 Conductor de fibra óptica con perfil escalonado

Un conductor con estas características se denomina conductor de fibra óptica con perfil escalonado o fibra escalonada. La fabricación de este conductor es sencilla.

Ahora bien, la forma en que se propaga la luz en la fibra es como se muestra en la siguiente figura 1.6 :

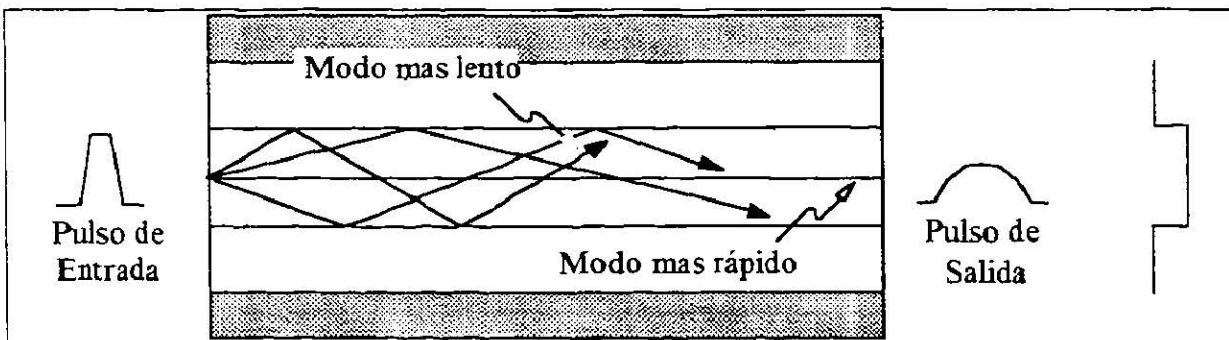


Figura 1.6 Propagación de la luz en una F.O. Multimodo (Perfil Escalonado)

En la figura 1.6 se muestra como en una fibra multimodo de índice escalonado se propaga la luz; además se puede ver como existen varios modos.

En la tabla 1.2 se tienen las ventajas y desventajas de este tipo de fibra.

Ventajas	Desventajas
No es caro	Dispersión grande.
Apertura Numérica grande	Pequeño Ancho de Banda: Velocidades de transmisión bajas.

Tabla 1.2

Dimensiones típicas de un conductor de fibra óptica multimodo con perfil escalonado.

Diámetro del núcleo.	2a	100 μm .
Diámetro del recubrimiento	D	140 μm .
Índice de refracción del núcleo	n_1	1.48
Índice de refracción del recubrimiento	n_2	1.46

Dimensiones típicas de un conductor de fibra óptica monomodo con perfil escalonado.

Diámetro del núcleo.	$2w_0$	10 μm .
Diámetro del recubrimiento	D	125 μm .
Índice de refracción del núcleo	n_1	1.46
Diferencias de índices de refracción	Δ	0.003=3%

Se debe tener en cuenta que el conductor de fibra óptica monomodo es, comparado con el multimodo y el de perfil escalonado, considerablemente menor, no solo en diámetro sino también en la apertura numérica y, por lo tanto el ángulo de aceptación, por lo cual el acoplamiento de la luz en la fibra monomodo resulta relativamente difícil.

La figura 1.7 muestra las características de un fibra monomodo:

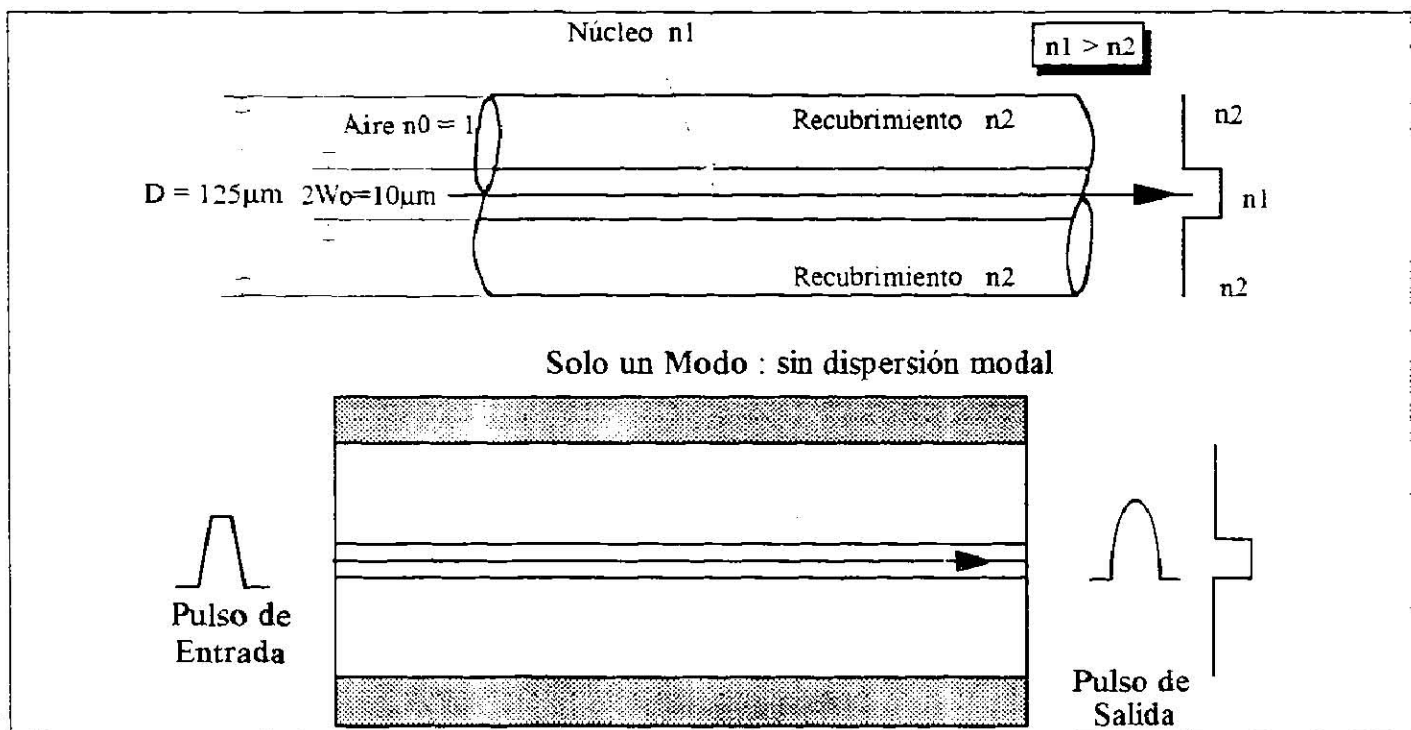


Figura 1.7 Representación de una fibra monomodo y la trayectoria de un rayo luminoso en un conductor de fibra óptica monomodo.

Algunas de las ventajas y desventajas de este tipo de fibra son mostrados en la tabla 1.3:

Ventajas	Desventajas
Mínima Dispersión	Es cara.
Gran Ancho de Banda: Velocidades de transmisión altas.	Apertura Numérica pequeña.
Muy eficiente.	

Tabla 1.3

1.3.2 Perfil Gradual

En un conductor de fibra óptica con perfil escalonado y múltiples modos, éstos se propagan a lo largo de diferentes trayectorias por lo cual llegan al otro extremo del conductor a diferentes momentos. Esta dispersión modal es un efecto no deseado y puede ser reducido considerablemente si el índice de refracción en el núcleo varía en forma parabólica desde un valor máximo n_1 en el eje del conductor y decae hasta otro valor n_2 en el límite con el recubrimiento.

Dimensiones típicas de un conductor de fibra óptica con perfil gradual.

Diámetro del núcleo.	$2a$	$50 \mu\text{m}$.
Diámetro del recubrimiento	D	$125 \mu\text{m}$.
Índice de refracción máximo del núcleo	n_1	1.46
Diferencias de índices de refracción	Δ	0.010

En la fibra óptica con perfil gradual (Fig. 1.8), los rayos luminosos recorren el conductor de fibra óptica describiendo trayectorias onduladas o helicoidales; contrariamente al conductor del perfil escalonado, en cuyo caso los rayos se propagan en forma zigzagueante.

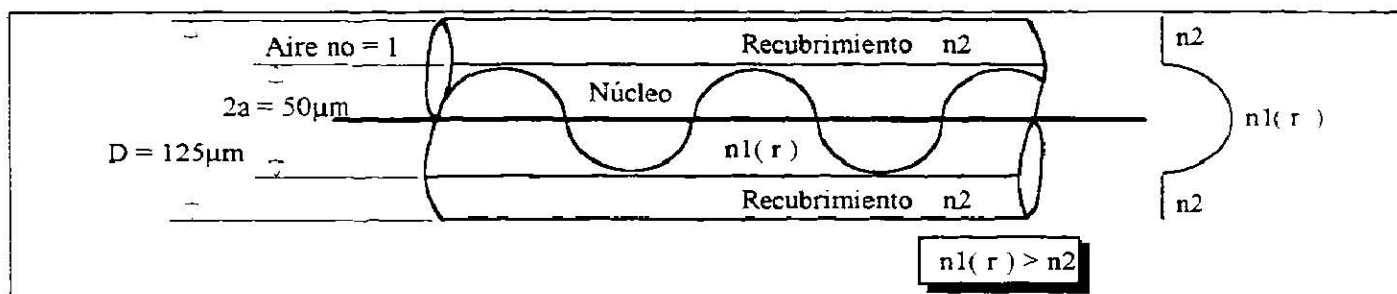


Figura 1.8 Fibra Óptica con perfil Gradual

Como consecuencia de la variación continua del índice de refracción en el núcleo, los rayos luminosos también se refractan continuamente variando su dirección de propagación al recorrer estas trayectorias helicoidales. Si bien los rayos que oscilan en torno del eje deben recorrer aún más camino que el que se propaga a lo largo de este eje, pueden desarrollar una mayor velocidad, proporcional al menor índice de refracción que tiene el material en los puntos más alejados del eje, y así se compensa en el tiempo la mayor extensión en el recorrido.

Propiedades Mecánicas de las Fibras Ópticas y sus Pérdidas

La atenuación de una fibra óptica es , quizás ,la característica más importante , debido a que esto generalmente determina el espaciamiento entre repetidores, y el tipo de transmisor y receptor ópticos a ser usados.

Conforme las ondas de luz viajan en la fibra óptica, pierden parte de su energía debido a la *absorción* y a la *dispersión* de la luz y a imperfecciones (propiedades mecánicas) en la fibra.

Los factores a ser considerados en la construcción de cables de fibra óptica son los tipos de fuerzas a los que el cable será expuesto durante la manufactura, instalación y operación.

Los fenómenos resultantes, tales como microcurvaturas, torceduras y tensión, pueden perjudicar las propiedades mecánicas o de transmisión.

Algunas de las propiedades mecánicas pueden influir en el incremento de los niveles de pérdida de la señal (atenuación).

En este capítulo 2, primero se tratan las pérdidas (atenuación) en las fibras ópticas y más adelante las características y propiedades mecánicas de un cable de fibra óptica.

2.1 Pérdidas de transmisión

Las pérdidas (atenuaciones) son medidas en decibeles por kilómetro (dB/km). Entre mayor sea la distancia del cable de fibra óptica, mayor será la atenuación total; lo que hará que sea menor la cantidad de luz que llega al detector, por lo que se llegan a utilizar los repetidores.

2.1.1 Absorción

La absorción ocurre cuando la energía de los fotones es igual a una diferencia entre la energía de dos electrones. Por ejemplo, hay niveles de energía correspondientes a estados de energía molecular de moléculas de sílice (SiO_2) y niveles de energía del electrón en el oxígeno, silicón y átomos impuros. La absorción causa severa atenuación en la región Ultravioleta.

Una causa mayor de absorción es la presencia de radicales OH^- , los cuales resultan de la presencia de agua (H_2O). Los OH^- se introducen en la fibra ya sea por: una reacción química en el producto (en la manufactura de la fibra), o por la humedad en el medio ambiente en que opera la fibra. El principal pico de absorción OH^- está en 1400 nm (ver fig. 2.1), con un pico secundario a 950 nm. La reducción de la humedad durante la manufactura causó una disminución de la atenuación de 1000 dB/km a 20 dB/km en la ventana de 800 nm en 1970. Debido a que es imposible tener un 0% de humedad en la fibra en todo tiempo, los sistemas de comunicación óptica son diseñados para las longitudes de onda cercanas a los 1300 nm o los 1550 nm, pero no cerca de los 1400 nm.

2.1.2 Dispersión

La dispersión ocurre cuando los fotones encuentran una variación en el índice de refracción del núcleo. Los fotones pueden ser dispersos fuera de la fibra desde pequeñas variaciones de densidad en el vidrio. Las variaciones de densidad pueden ser causadas por lazos moleculares incompletos, o por variaciones en el espaciado molecular. La dispersión es muy significativa para longitudes de onda menores de 1000 nm.

Para los cables coaxiales y las fibras, las pérdidas son una función de la frecuencia de la portadora de la señal. La atenuación en el cable coaxial varía con el cuadrado de la frecuencia de la señal portadora en el rango que va desde la C.D. hasta varios cientos de MHz. Para la fibra, la frecuencia de portadora está en el rango de los Terahertz, por lo que en su lugar se utiliza la longitud de onda.

La atenuación varía con la calidad del material del vidrio, tipos de impureza y concentración, longitud de onda óptica, diámetro del núcleo de la fibra. La mejor atenuación es alcanzada con el material de vidrio más uniforme y la menor concentración de impureza. La menor atenuación ocurre para las longitudes de onda cercanas a 1550 nm. La atenuación en la ventana de 1550 nm puede ser tan baja como 0.2 dB/km, comparada con alrededor de 0.5 dB/km en la ventana de 1300 nm. La ventana de 850 nm tiene una pérdida mayor, típicamente arriba de 3 dB/km. La atenuación se incrementa con el diámetro de la fibra, debido a que la distribución de la potencia está cerca a la superficie del revestimiento. Una fibra de índice gradual tiene una atenuación menor a la de una de índice escalonado, debido a que la potencia está concentrada más al centro de la fibra.

La figura 2.1 muestra la variación de la atenuación con respecto a la longitud de onda, mostrando las 3 ventanas utilizadas.

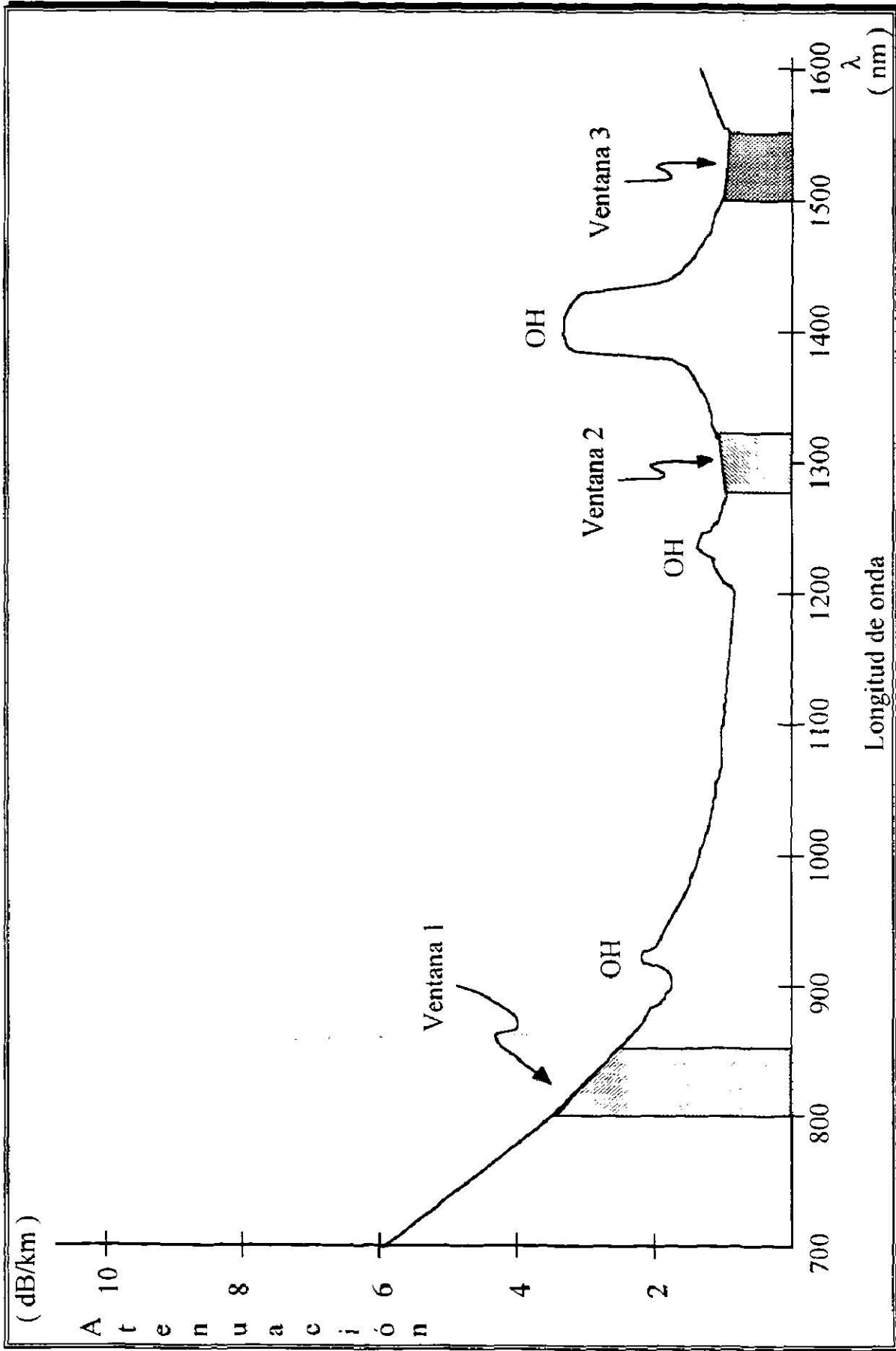


Figura 2.1 Gráfica de Longitud de Onda vs Atenuación

2.1.3 Ancho de Banda y Dispersión

Las fibras ópticas tienen un ancho de banda mucho mayor que el de los cables coaxiales o de par trenzado convencionales. Para el cable coaxial el ancho de banda varía inversamente al cuadrado de la longitud; para las fibras ópticas, el ancho de banda es inversamente proporcional a la longitud con algunas variaciones dependiendo del tipo de la fibra óptica. La figura 2.2 muestra la comparación entre las fibras óptica y los cables coaxiales, respecto a sus niveles de atenuación de acuerdo a la frecuencia.

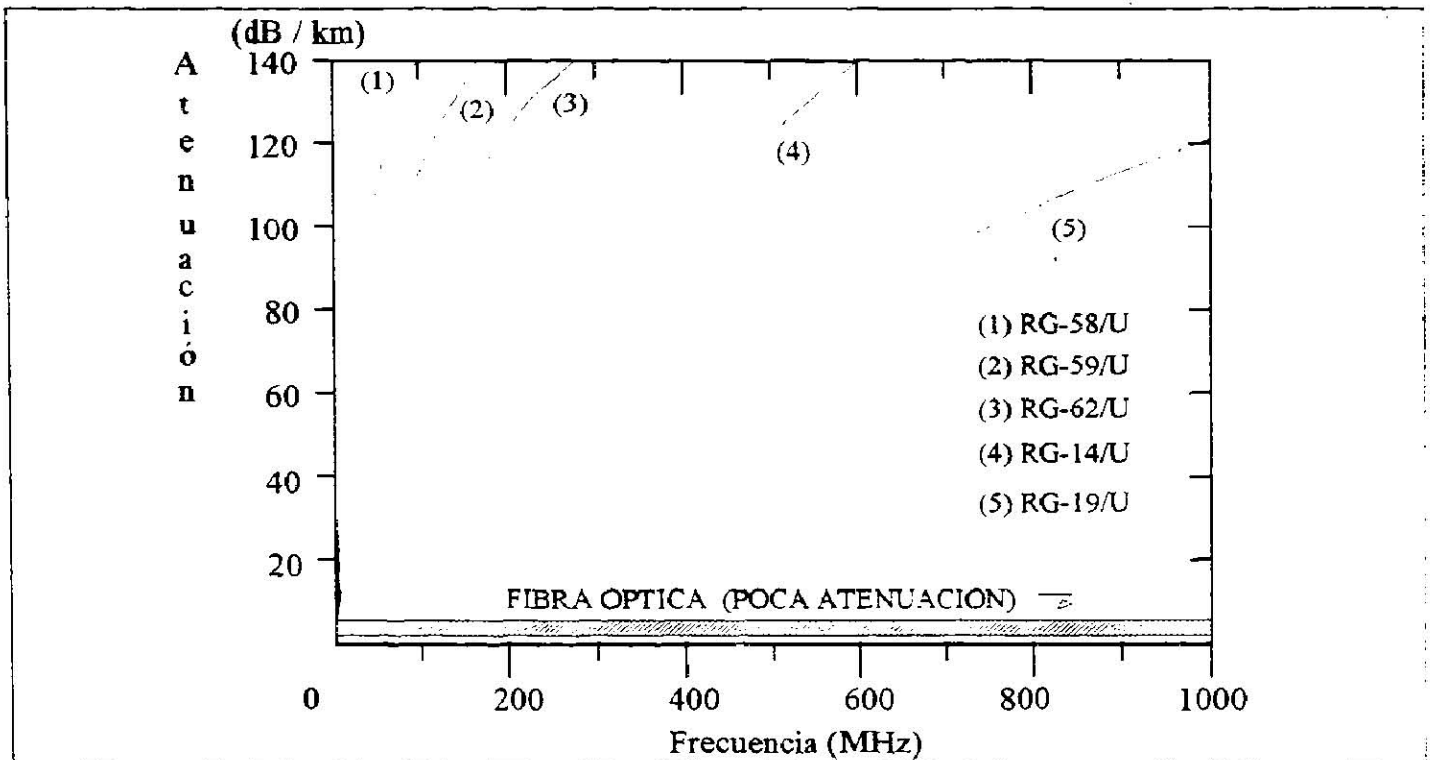


Figura 2.2 Gráfica de Atenuación vs. Frecuencia de distintos cables utilizados

En la mayoría de los sistemas de comunicación, el *ancho de banda* es el término usado para describir el rendimiento del sistema en términos de la frecuencia de la señal, esto es, la reducción del nivel de la señal a la salida con respecto al incremento de la frecuencia de la señal. La frecuencia a la cual la potencia de la señal es reducida a un 50% (3 -dB) determina el *ancho de banda*.

En una fibra óptica el mecanismo que reduce la amplitud de la señal por frecuencia es llamado dispersión. Es un efecto donde los colores o modos que forman un frente de onda de luz son separados de acuerdo a como viaja el frente de onda a través de la fibra, lo que causa que este llegue al final de la fibra extendido en el tiempo.

La diferencia en el ancho (normalmente en nanosegundos) entre un pulso de entrada y su pulso de salida correspondiente es la dispersión del pulso. Como esta dispersión está relacionada con la distancia que la luz viajó en la fibra, esta dispersión es generalmente especificada por unidades de longitud en nanosegundos por kilómetro.

Si la señal óptica es un tren de pulsos (una señal digital), el efecto es que el pulso se ensancha, seguido al punto de que estos pulsos se empalmarán entre sí, lo que provoca una mala interpretación de la información de los pulsos. Lo anterior provoca un límite para la capacidad del transporte de información del sistema de fibra óptica.

La dispersión (nm/km) es proporcional a la distancia, y el ancho de banda inversamente proporcional a la distancia en términos de MegaHertz-Kilómetro.

La dispersión total es la suma de la dispersión multimodo y la dispersión del material.

En la siguiente tabla (2.1) se muestran los tipos y características típicas (atenuación, dispersión, etc) de las fibras ópticas.

Tipo de Fibra	Multi modo						Mono modo			
	Índice	Gradual y casigradual	Esca-lonado			Esca-lonado	Esca-lonado	Dispersión normal	Dispersión corrida	Dispersión plana
Material del núcleo	Vidrio	Vidrio	Vidrio	Vidrio	Vidrio	Vidrio	Plástico	Vidrio	Vidrio	Vidrio
Material del revestimiento	Vidrio	Vidrio	Vidrio	Vidrio	Vidrio	Plástico	Plástico	Vidrio	Vidrio	Vidrio
Diámetro del núcleo (µm)	50	62.5	85	100	50-100	200-600	484-980	8.7-10	7-8.7	7-8.7
Diámetro del revestimiento (µm)	125	125	125	125-140	125-140	230-650	500-1000	125	125	125
Atenuación (dB/km)										
@570 nm							70			
@650 nm							130-160			
@850 nm	2.6-3.5	3.0-4.1	3.0-4.1	3.0-7.0	4.0-6.0	3.0-8.0				0.4-0.5
@1310 nm	0.7-1.6	0.8-1.8	0.8-1.8	1.5-5.0				0.4-0.7		0.25-0.3
@1550 nm									0.25-0.3	
Apertura Numérica	0.19-0.25	0.27-0.31	0.24-0.3	0.21-0.3	0.15-0.3	0.27-0.37	0.47			
Dispersión del material (ps/nm/km.)										
@850nm.	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120				
@1300 nm	0.9-3.5	3.0-10	3.0-10	3.0-10				0.9-4.0		3.5
@1550 nm								20	3.5	3.5
Ancho de Banda (BW) (MHz-km.)										
@850 nm.	200-600	150-500	150-350	20-500	10-60	9-25	0.5			
@1300 nm	400-1500	300-1000	300-1000	20-400				10 ⁵	10 ⁵	10 ⁵

Tabla 2.1 Características típicas de las Fibras Ópticas

2.1.4 Dispersión multimodo

La dispersión multimodo, también conocida como dispersión modal o intermodal, es resultado de la geometría de la guía de onda y las diferencias de los índices de refracción que permiten a la fibra propagar modos múltiples o rayos de luz. (En las fibras monomodo sólo se propaga un modo, por lo que este tipo de dispersión no existe en las fibras monomodo)

Por ejemplo, en una fibra óptica con perfil escalonado; el rayo de luz que viaja paralelo al axis de la fibra tendrá una longitud más corta que la de los rayos que viajan zigzagueando en la fibra. Por consecuencia algunos rayos les tomará más tiempo llegar al final de la fibra.

2.1.5 Dispersión del material

La dispersión del material (también conocida como cromática o intramodal) es causada por el efecto de índice de refracción del vidrio que causa que las diferentes longitudes de onda de la luz viajen en la fibra a diferentes velocidades.

Con una fuente de luz monocromática (un solo color), no existe dispersión del material. Sin embargo, la fuente óptica utilizada con las fibras ópticas es una combinación de muchas longitudes de onda o frecuencias de luz.

El LED tiene una banda amplia de longitudes de onda, típicamente con un ancho de espectro de 30 a 60 nm. El ILD es mucho mejor en cuanto a que su ancho de espectro sólo es de 1 a 5 nm, pero aún esto contiene múltiples longitudes de onda que pueden ser separadas en el tiempo conforme la luz viaja a través de la fibra. Por lo anterior el ILD da a la fibra propiedades de mayor ancho de banda que el LED.

La dispersión del material es directamente proporcional a la distancia de la fibra, de acuerdo a la siguiente fórmula:

*Dispersión total = unidad de dispersión (ps/nm/km) * ancho espectral de la fuente (nm) * distancia (km)*

donde la unidad de dispersión esta dada en picosegundos del ensanchamiento del pulso por cada nanosegundo del ancho espectral de la fuente por cada kilómetro de distancia que viaja la luz.

Las características de la dispersión del material varían a diferentes longitudes de onda.

Hay que notar que a una longitud de onda de 0.85 μm la dispersión del material es de cerca de 120 ps/nm/km, pero a 1.6 μm es de sólo 20 ps/nm/km; además a 1.3 μm la dispersión del material es cercana a cero. Esta es una de las razones por la que 1.3 μm es una longitud de onda muy popular para la transmisión en fibra.

En una fibra monomodo, la longitud de onda de 1.55 μm también es popular debido a su poca atenuación, un poco menor a la de 1.3 μm . Para lograr esto, una fibra monomodo con dispersión corrida ha sido desarrollada para obtener una dispersión muy cercana a cero a 1.55 μm . Existe también una fibra con dispersión plana, la cual opera a 1.3 μm y a 1.55 μm con baja dispersión del material.

Es importante la dispersión del material como factor para transmisiones a larga distancia o de muy altas velocidades.

En la figura 2.3 se muestra como varía la dispersión, con respecto a la longitud de onda.

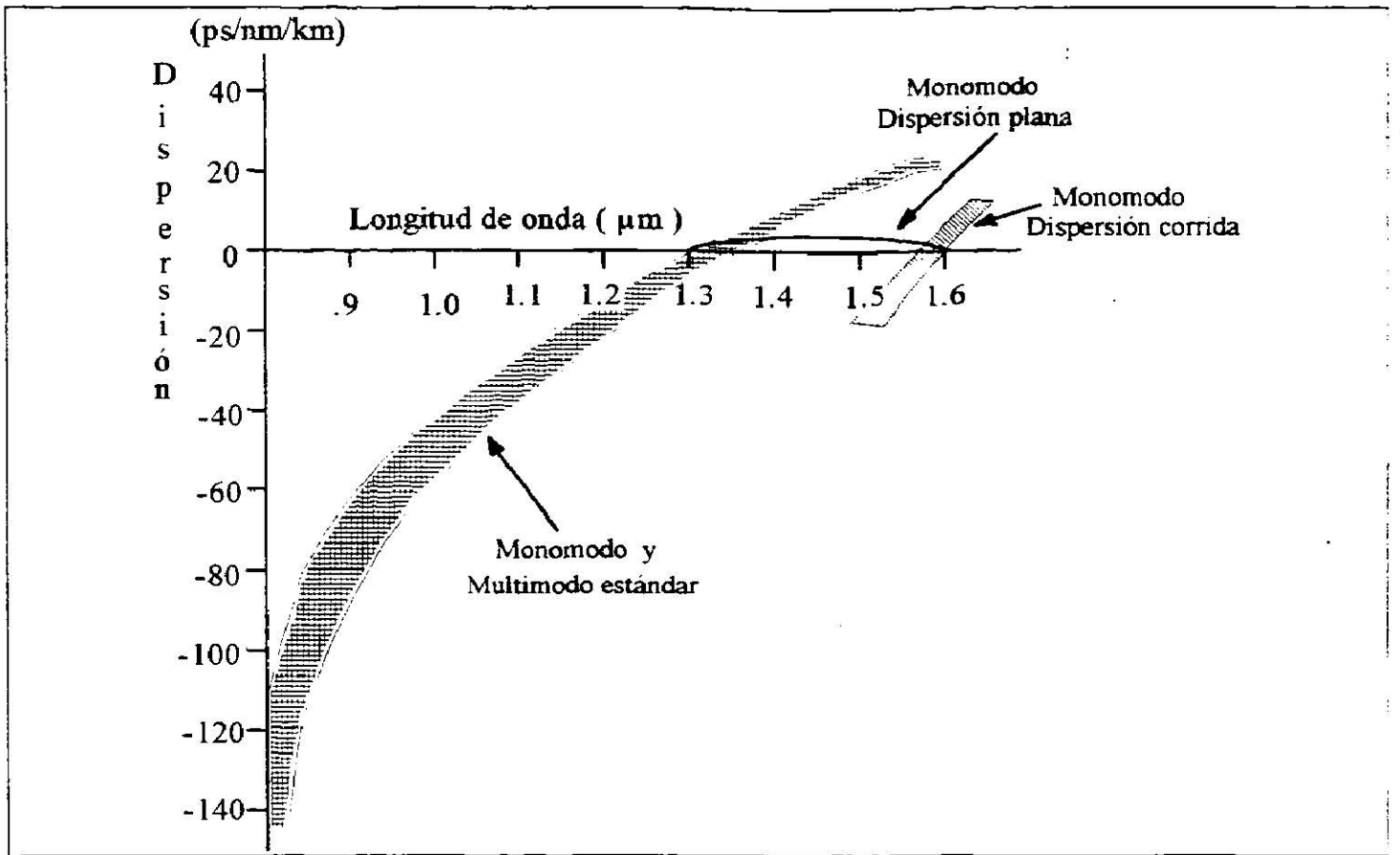


Figura 2.3 Gráfica de Dispersión vs Longitud de Onda

2.2 Propiedades Mecánicas de las Fibras Ópticas

2.2.1 Microcurvatura

La microcurvatura en una fibra es causada por fuerzas laterales localizadas a lo largo de la fibra. Esto puede ser provocado por esfuerzos durante la manufactura e instalación y también por variaciones dimensionales de materiales del cable debidos a cambios de temperatura. La sensibilidad a la microcurvatura es función de la diferencia del índice de refracción, así como también de los diámetros del núcleo y del revestimiento.

Para reducir las pérdidas ópticas por microcurvatura del cable, debe de protegerse a la fibra de fuerzas laterales que la doblen.

2.2.2 Curvado

El curvado de una fibra óptica es causado en la manufactura del cable, así como también por dobleces durante la instalación y variación en los materiales de cables debido a cambios de temperatura.

Los esfuerzos que provoca torcedura de fibra son básicamente una fuerza transversal (presión lateral) y un esfuerzo longitudinal. El esfuerzo longitudinal no provoca torcedura cuando trabaja para alargar la fibra y no hay cambio en las pérdidas ópticas. Sin embargo, cuando trabaja para contraer a la fibra, este esfuerzo provoca que la fibra forme bucles y se curve, de tal manera que la pérdida óptica se incrementa.

2.2.3 Esfuerzos

El esfuerzo en la fibra puede ser causado por tensión, torsión o curvado. Los esfuerzos dinámicos y residuales en la fibra pueden causar la ruptura si exceden el límite del esfuerzo de la fibra.

Las fibras ópticas difieren mecánicamente de los cables de cobre y acero, principalmente en las propiedades elásticas y en los mecanismos de falla. El vidrio usado en las fibras se comporta elásticamente sólo en un pequeño porcentaje, después del cual se rompe.

La fortaleza de las fibras está gobernada principalmente por el tamaño de las imperfecciones, las cuales están siempre presentes en las superficies del vidrio. Estas imperfecciones pueden crecer con el tiempo bajo la influencia de tensiones, lo que causa que el vidrio de la fibra se debilite. Este debilitamiento se acelera si las tensiones se acompañan con humedad.

Cuando se diseñan los cables de fibra óptica es importante saber su límite de esfuerzo, por esta razón, las fibras ópticas son probadas exhaustivamente a ciertos niveles de tensión durante su manufactura. Los estudios de los mecanismos de crecimientos de imperfecciones y experimentos de envejecimiento acelerado han mostrado que para obtener una vida útil en la fibra de 20 a 40 años la tensión residual no deberá de exceder 20-30% de la prueba de tensión mencionada.

2.2.4 Humedad

La resistencia a la tensión longitudinal de la fibra en la presencia de agua se reduce, así como también se reduce el tiempo a la falla estática. La pérdida de potencia óptica se puede incrementar con algunas construcciones de cable, cuando el agua está presente en la estructura del cable.

En invierno la humedad puede congelarse y, bajo ciertas condiciones, podría causar que las fibras se comprimieran incrementando la pérdida óptica.

Cuando sea posible, las fibras deben aislarse del agua. Los compuestos de relleno no son completamente impermeables y con el tiempo el contenido de humedad se puede elevar. Algunas de las técnicas utilizadas para limitar el contacto con el agua son:

- * Barrera de humedad.
- * Compuesto de relleno.
- * Presurización con gas.

2.2.5 Consideraciones de diseño

Mecánicamente el vidrio es considerado un material frágil, sin embargo al presentarse como fibra su resistencia longitudinal a la ruptura es muy alta, llegando inclusive a acercarse a la del acero. Así la fibra óptica utilizada en telecomunicaciones posee una fuerza de tensión a la ruptura entre 3500 y 7000 MPa.

Las diferencias mecánicas que existen entre la fibra de vidrio y el alambre de cobre son su capacidad de elongación y su resistencia transversal a la ruptura.

El Cobre puede elongarse hasta un 20% antes de fracturarse mientras que el vidrio solo alcanza entre 0.5% y 1% de elongación. Transversalmente la fibra de vidrio sufre la ruptura con tensiones mucho menores que el cobre.

2.2.6 Microfracturas

La fragilidad es la que limita la fuerza de la tensión a la ruptura de la fibra óptica y hace que dependa de la existencia de grietas o microfracturas sobre la superficie de la fibra.

Estas grietas son deformaciones en las superficies generadas por impurezas OH seguidas ya sea en el proceso de fabricación o durante su vida útil. En esta etapa, la existencia de una fina grieta genera una concentración de esfuerzos mecánicos en ese punto, agrandando cada vez más la grieta y por ende disminuyendo la resistencia mecánica de la fibra a mediano plazo.

2.2.7 Elementos de un Cable Óptico

En la fabricación de cualquier cable óptico se busca minimizar los defectos estructurales de la fibra, ya que ellos son los principales causantes de pérdidas.

Los parámetros más importantes que deben ser tomados en cuenta para escoger la estructura y los elementos que forman su cable son:

- * Esfuerzo máximo permitido en la fibra durante su fabricación, instalación y servicio.
- * Esfuerzo lateral dinámico y estático máximo ejercido sobre la fibra.
- * Flexibilidad.
- * Rango de la temperatura y medio ambiente en donde el cable va a operar.
- * Número y tipo de fibras a utilizar en el cable.

Tomando en consideraciones estos parámetros, se diseña la construcción del cable el cual puede contener algunos de los siguientes componentes:

- a) Cubierta primaria.
- b) Cubierta secundaria.
- c) Miembro de tensión.
- d) Barrera contra la humedad.
- e) Armadura.

- f) Barrera Térmica.
- g) Cubiertas del cable.

a) *Cubierta primaria*

Se aplica al momento de fabricación de la fibra, inmediatamente después del estirado y sirve para darle protección mecánica a la fibra, evitar penetración de la humedad, la creación de microfracturas, o daños superficiales a la fibra y proporcionar dimensiones maniobrables.

b) *Cubierta secundaria*

Para proporcionar a la fibra óptica una protección radial contra esfuerzos mecánicos, se le coloca una cubierta secundaria, la cual puede ser de dos tipos: de tubo apretado (tight), o de tubo holgado (loose). [Fig. 2.4]

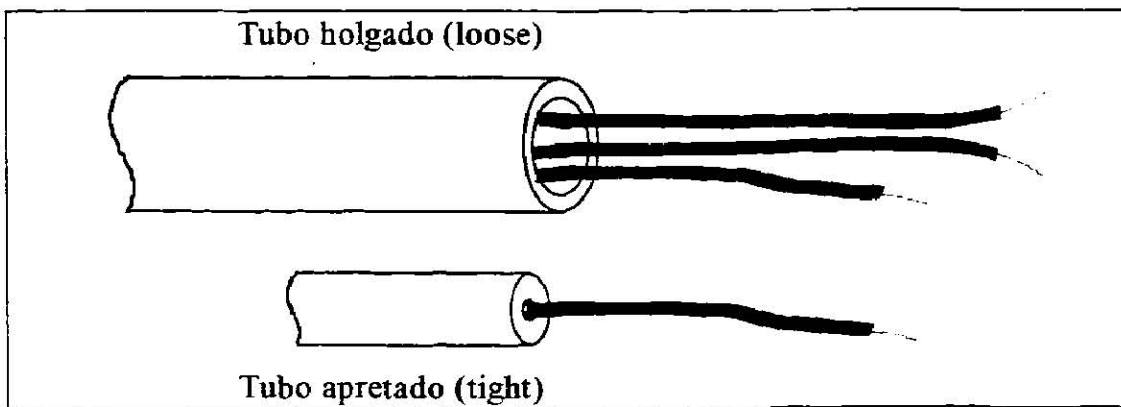


Figura 2.4 Tipos de Cubierta Secundaria

• *Cubierta de tubo apretado*

Es un recubrimiento grueso aplicado sobre la cubierta primaria. Los materiales que se utilizan pueden ser polietileno, nylon, poliéster, o polipropileno. Para proporcionar una protección adecuada, se debe tener un diámetro entre 0.8 a 1 mm. Su aplicación se efectúa en una línea de extrusión especial, ya que debe tenerse un cuidadoso control para evitar daños en las propiedades de las fibras.

Para identificación de las fibras, se le agrega color a la cubierta secundaria. Con este método de tubo apretado se logra un cable pequeño, ligero, flexible y fácil de manejar en empalmes y conexiones.

• *Cubierta de tubo holgado*

En la estructura de tubo holgado, las fibras ópticas se colocan en tubos termoplásticos con cierta holgura, tal que permita a la fibra una libertad de movimiento, dando como resultado que la fibra quede aislada de los esfuerzos de tensión a los que se somete durante la instalación del cable, así como de contracciones térmicas que ocasionan microcurvaturas.

Cada tubo tiene un diámetro entre 1.4 y 3 mm, y se llena de un compuesto no higroscópico (jelly). Para poder utilizar este tipo de cubierta secundaria, es necesario que la fibra tenga un recubrimiento primario, con el fin de asegurar bajas fricciones en la fibra.

Con el método de tubo holgado, la fibra tiene menos pérdidas, además de un mejor aislamiento a esfuerzos mecánicos. Se pueden agrupar hasta 10 fibras en un tubo de 3 mm, lo que constituye la cubierta apropiada para su incorporación a un cable con una estructura mayor.

c) Miembros de Tensión

Los miembros de tensión incrementan la carga permitida en un cable. Para que un cable posea una alta resistencia mecánica su miembro de tensión debe de tener un módulo de elasticidad alto, un límite elástico alto, buena flexibilidad y bajo peso por unidad de longitud.

Los principales materiales utilizados como miembros de tensión son:

- *Acero*

Es utilizado ampliamente en forma de alambre o cable, como miembro de tensión central, por su alto esfuerzo longitudinal y en forma de reflejo o malla para usarse como armadura. Se dispone de distintos tipos de acero con varios grados de fuerza de tensión a la ruptura en un rango de 540 a 3100 MN/m. Su desventaja es el peso que se agrega al cable, además de que no se puede utilizar cuando se requiere un cable totalmente dieléctrico.

- *Filamento plástico*

Está hecho principalmente de un filamento de poliéster procesado para dar un alto módulo de elasticidad en sus dimensiones para altas temperaturas. Todo ello da como resultado una suave superficie cilíndrica con gran resistencia mecánica y poco peso.

- *Fibras sintéticas*

Las fibras sintéticas comúnmente usadas como miembros, se presentan trenzadas o agrupadas. Se puede utilizar además como relleno de cable.

Existe un material excepcional para esta clase de trabajo, el cual se utiliza ampliamente por su alto módulo de elasticidad, el que relacionado con un bajo peso, es cuatro veces mejor que el acero. Este material es la Aramida (Kevlar), es un poliéster aromático que se presenta en delgadas fibras trenzadas, agrupadas o unidas con resina.

- *Fibras de vidrio*

Para algunas aplicaciones, las fibras de vidrio pueden proporcionar suficiente fuerza de tensión. En algunos casos se puede agregar fibras a otros materiales para aumentar la resistencia mecánica.

- *Plástico reforzado con fibras*

Las fibras de materiales plásticos, son combinadas con fibras de vidrio o de carbón. Este material reforzado se ha utilizado para obtener plásticos rígidos, o compuestos de metal obteniendo un módulo de elasticidad similar al acero, con muy bajo peso.

Además de fuerza mecánica, el peso y el límite de elongación, también son importantes el coeficiente de expansión térmico y precio de los miembros de tensión.

d) Barrera contra la Humedad

Para proteger la fibra óptica contra la humedad, se utilizan diferentes elementos en el cable. Uno de ellos es la jalea de petrolato (jelly), la cual además de ser repelente al agua, debe ser transparente, no tóxico y presentar una viscosidad alta para que no escurra. Este compuesto se aplica como relleno del tubo holgado y como compuesto inundante para llenar los espacios que dejan libre los elementos de cable.

Otro método es utilizar cintas recubiertas con polietileno a manera de pantalla longitudinal las cuales van unidas cuidadosamente, permitiendo un sello hermético. Si se requiere aún mayor protección se puede presurizar el cable.

e) Armadura

Cuando el cable está sujeto a un gran riesgo de daños mecánicos o para protegerlo de roedores y termitas se recomienda agregarle una armadura externa.

Las armaduras para cable óptico pueden ser de dos tipos : de flejes o de alambre. El metal más utilizado es el acero. La armadura de flejes puede ser colocada en forma helicoidal o en forma longitudinal. Para darle mayor flexibilidad al cable se corruga el fleje longitudinal como se muestra en la figura 2.5:

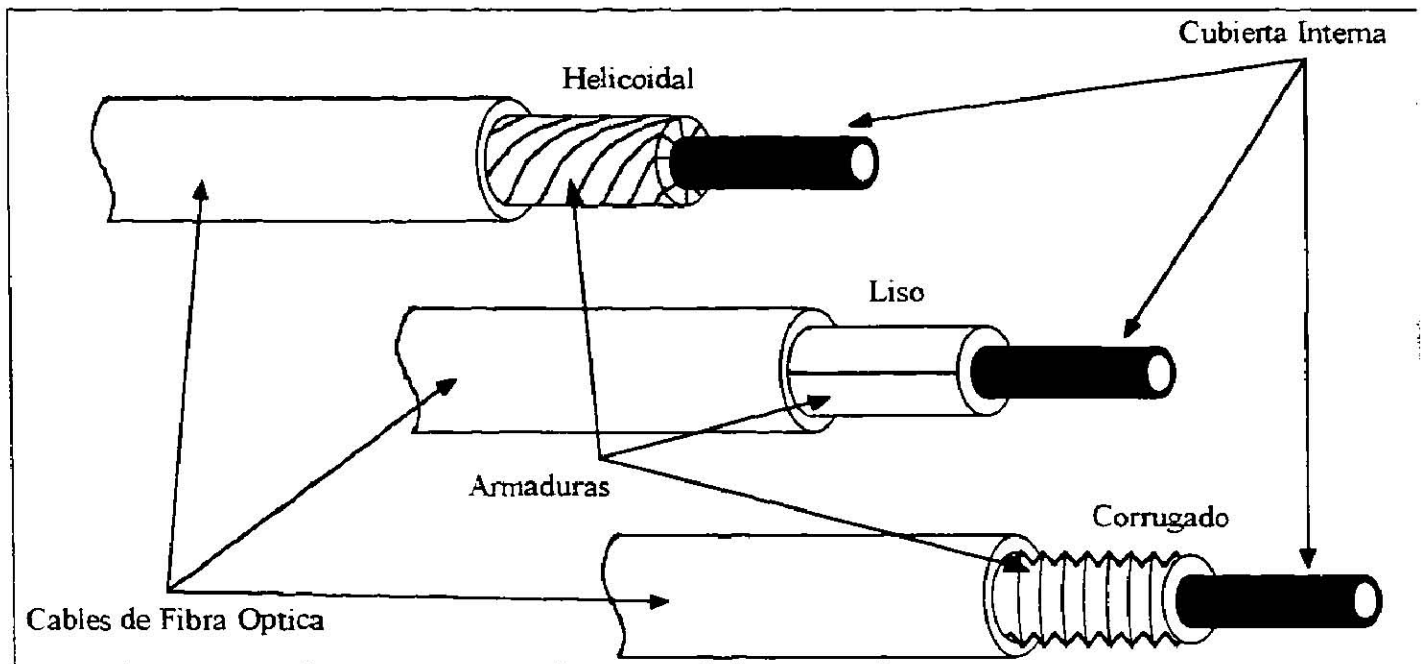


Figura 2.5 Armaduras de Fleje en Cables de Fibra Óptica

f) Barrera Térmica

Para prevenir posibles daños a los componentes del cable en los procesos que requieren de altas temperaturas durante la fabricación, es conveniente agregar algunos materiales que funjan como barreras térmicas.

Por lo regular estas barreras están conformadas por cintas helicoidales que envuelven el núcleo del cable.

Los materiales que se utilizan son: el Teraftalato de polietileno y el papel de pulpa de madera.

g) Cubiertas del Cable

Las cubiertas del cable sirven para proporcionar al núcleo del cable protección mecánica, térmica y química. Al igual que en los cables convencionales, existe una gran variedad de cubiertas que se seleccionan en función de las influencias que actúan sobre el cable. Estos materiales deben tener expansión térmica similar a los componentes adyacentes al cable.

Los materiales más comúnmente empleados son: el Polietileno (PE), el Cloruro de Polivinilo (PVC) y el Fluoruro de Etilenopropileno (FEP).

Dispositivos Electroluminiscentes

El concepto de utilizar la luz como medio para transmitir información a larga distancia no es tan reciente. Los hombre de las cavernas empleaban la luz, a través de las señales de fuego, para comunicarse. El faro es ejemplo del empleo de la luz en la transmisión de información. Por otro lado, "luz" es solo una abreviatura conveniente para una determinada forma de radiación electromagnética.

En los sistemas que utilizan fibras ópticas se emplean, normalmente, longitudes de onda en la franja comprendida entre 800 nm a 1550 nm - cerca a la región de infrarrojo. La utilización en esta región se debe a la existencia de fuentes y detectores de luz que operan en esta franja, construidos con diodos semiconductores, y a la baja atenuación de las fibras ópticas en estas longitudes de onda.

En este capítulo 3, primero se hablara acerca de los fototransmisores utilizados para las fibras ópticas (LED y ILD) y al final de los fotoreceptores más populares el PIN y el APD.

3.1 Fototransmisores para Fibras Ópticas

Actualmente existen dos tipos de dispositivos que se utilizan en las comunicaciones por fibra óptica: el diodo emisor de luz (LED) y el diodo de inyección láser (ILD). Ambos son diodos semiconductores que son directamente modulados por la variación de la corriente de entrada.

Los LEDs utilizados en fibras ópticas son similares a aquellos LEDs usados en las aplicaciones de pantallas de números con la excepción que estos últimos emiten en la región visual (longitudes de onda: 600 - 800 nm), y aquellos usados para comunicaciones emiten en la región del infrarrojo (longitudes de onda: 800 - 1300 nm). Los diodos de inyección láser (ILDs) son similar a los usados en los aparatos de discos compactos y en los lectores de código de barras, excepto que el espectro de emisión es más angosto, y la operación es en el infrarrojo.

El ILD también es conocido como diodo láser o láser diodo.

Los LEDs son comúnmente usados para sistemas lentos y cortos tales como: LANs. Los ILDs son usados para sistemas más rápidos, y sistemas de longitud más largos. Lo anterior es debido a que los LEDs tienen áreas de superficie activas más grandes y el ángulo del rayo más ancho lo que los hace más aptos para ser acoplados a fibras multimodo con un núcleo mayor. Estos son usados para velocidades pequeñas, normalmente menores de 100 Mbs. Los LEDs también emiten luz con un ancho de espectro de longitud de onda de 30 a 60 nm., lo cual crea un problema de ancho de banda en largas distancias debido al fenómeno llamado *dispersión del material*.

En la figura 3.1 se muestra como el espectro del ILD es mucho menor que el del LED.

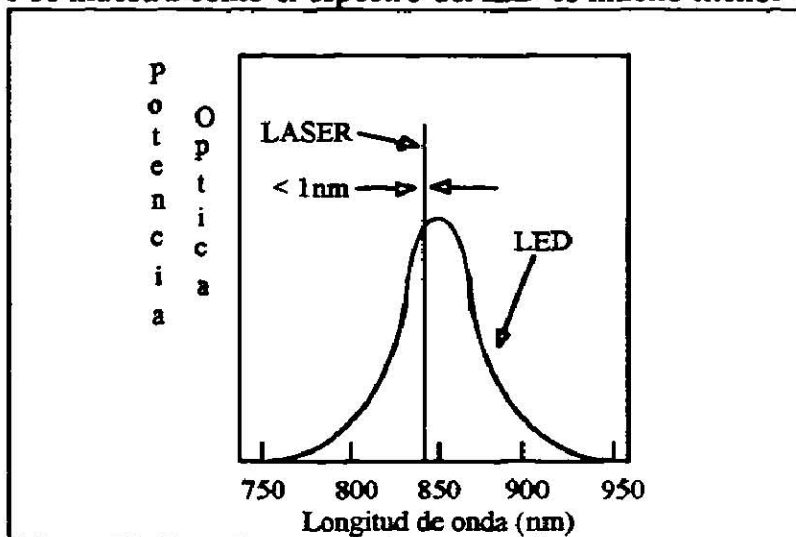


Figura 3.1 Ancho del espectro de un Laser y de un LED

Los ILDs a su vez tienen regiones activas muy pequeñas y pequeños ángulos de rayo que se acoplan con pocas pérdidas a las fibras monomodo. Sus altas velocidades (mayores de 1 Gb/s) y su emisión de espectro angosto [$\approx 1\text{nm}$] (son ideales para obtener un amplio ancho de banda para largas distancias en las comunicaciones de fibras monomodo).

Las fuentes luminosas con un amplio espectro, generan las diferentes longitudes de onda de la luz, lo que ocasiona que el espectro viaje a través de la fibra a diferentes velocidades. Para sistemas de altas velocidades, esas diferencias de velocidades pueden causar la extensión (ensanchamiento) de pulsos digitales, por lo que se reduce la posible razón de modulación a la que los pulsos pueden ser transmitidos sin interferencia.

En la figura 3.2 se muestra la región de emisión de un LED y de un ILD.

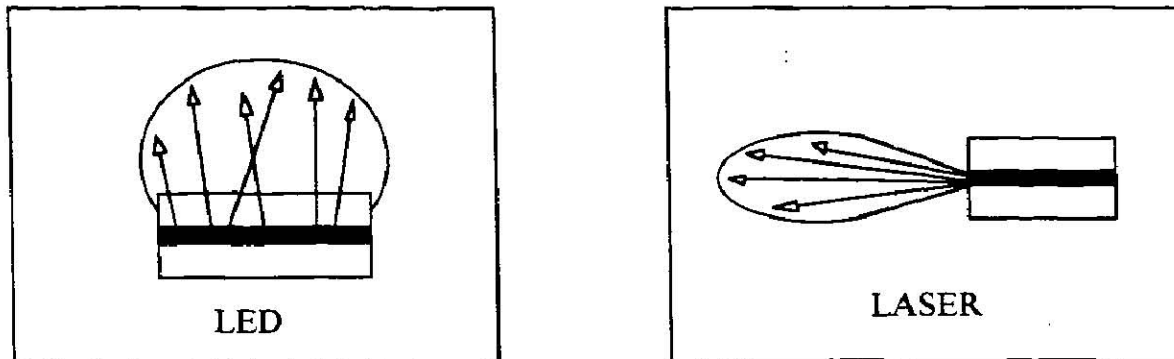


Figura 3.2 Regiones de emisión de un LED y de un LASER

Las fibras solo pueden aceptar la luz que entra dentro del cono de aceptación, el cual es de 30 a 40 grados para fibras multimodo y menor de 10 grados para fibras monomodo. Los LEDs normalmente emiten rayos de luz en un patrón de 120° a 180°, lo que significa que la mayoría de la luz no es aceptada por la fibra. Los LEDs emiten en un patrón mucho menor entre 10° y 35°, por lo que se puede acoplar una mayor cantidad de rayos de luz en la fibra.

Con los actuales LEDs, normalmente se acoplan potencias de 0.5 a 5 mW a fibras multimodo de núcleo de 50 μm y de 0.25 a 1mW en fibras monomodo. Los LEDs, en comparación, sólo acoplan de 0.01 a 0.1 mW de potencia en fibras multimodo de 50 μm .

El tiempo de vida de los LEDs esta en el orden de 10^7 a 10^8 horas, mientras que para los LEDs el tiempo de vida es del orden de 10^6 horas a temperatura ambiente.

3.1.1 LED (Light Emitting Diode)

Los LEDs utilizados en pantallas (display) son conocidos por su tamaño pequeño, baja temperatura de operación, etc. Aunque similares a estos LEDs, los LEDs utilizados en las fibras ópticas son más complejos, precisos y hechos cuidadosamente, además de que emiten más luz.

Existen dos tipos de LED que se diferencian por la manera como acoplan la luz a la fibra óptica. Estos son: los LEDs emisores de superficie y los LEDs emisores laterales.

Emisores de Superficie: son comúnmente usados, principalmente porque proporcionan una mejor emisión de luz. Sin embargo, las pérdidas por acoplamiento son mayores en los emisores de superficie, además de tener un ancho de banda de modulación menor que el de los emisores laterales.

Debido a que este LED emite luz en muchas direcciones, algunas veces es necesario el uso de un microlente para un mejor acoplamiento a la fibra.

Emisores laterales: con este tipo de LED se produce un rayo más direccional, por lo que se logra un mejor acoplamiento a la fibra óptica con una eficiencia mucho mayor que en los LEDs emisores de superficie. Los emisores laterales tienen, además, un ancho de rayo de 1/3 el ancho del rayo del emisor de superficie y un espectro más angosto (comúnmente el 30% menos que el de los emisores de superficie)

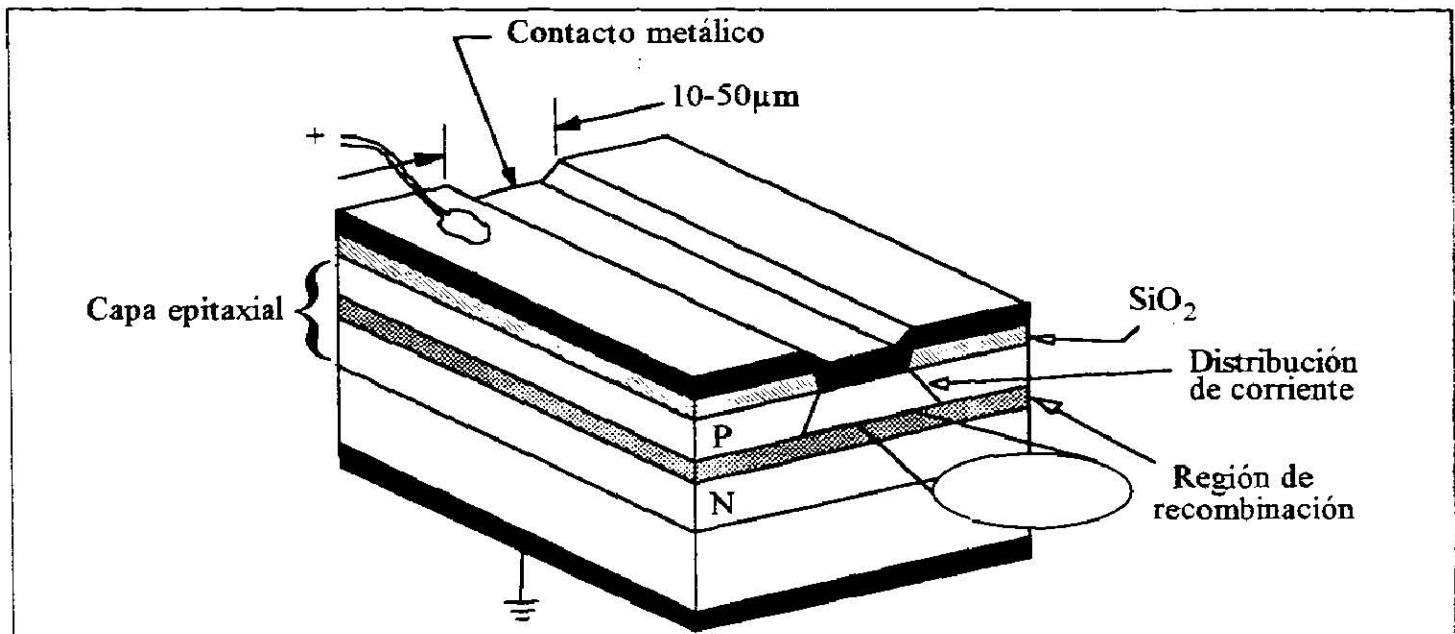


Figura 3.3 Vista esquemática de un LED emisor lateral.

La radiación de un emisor lateral (Fig. 3.3) es emitida desde los lados del diodo en la región de recombinación de la unión.

3.1.2 IL D (Injection Laser Diode)

De los tres tipos básicos de láseres - gas, sólido y semiconductor - sólo el láser semiconductor (ILD - injection laser diode) es práctico para la fibra óptica. Esto es debido a las restricciones de tamaño, voltaje y costo.

El láser de inyección es similar al LED: ellos están hechos de los mismos materiales, aunque dispuestos de forma diferente. Debajo de una cierta corriente de umbral, el ILD actúa como un LED - este tiene una emisión espontánea y una luz de amplia banda. Arriba de la corriente de umbral, el láser comienza a oscilar y actúa como un láser.

Cuando la corriente de polarización es pasada a través del ILD, los huecos y electrones se mueven a la región activa. Algunos se recombinan, liberando fotones de luz en el proceso. En el LED los fotones pueden escapar como luz emitida, o pueden ser reabsorbidos por el material *p* o *n*. Cuando un fotón es reabsorbido, puede crearse un electrón libre o puede generarse calor. En el ILD pasa algo diferente: La luz es parcialmente atrapada en la región activa por las paredes con terminación de espejo. Los fotones son reflejados. El fotón en la región activa, mediante su reflexión, puede persuadir a un electrón libre a recombinarse con un hueco. El resultado es un nuevo fotón igual al primero. Esto es, el primer fotón ha estimulado la emisión del segundo.

Para que ocurra la estimulación es requerida una fuerte corriente de polarización que entregue muchos portadores (electrones libre y huecos). La corriente inyecta continuamente portadores a la región activa, donde los fotones atrapados estimulan los portadores a recombinarse y crear más fotones. La energía lumínica (número de fotones) ha sido impulsada por la inyección de portadores. Este impulso permite la amplificación.

La figura 3.4 muestra una estructura típica de un láser de inyección.

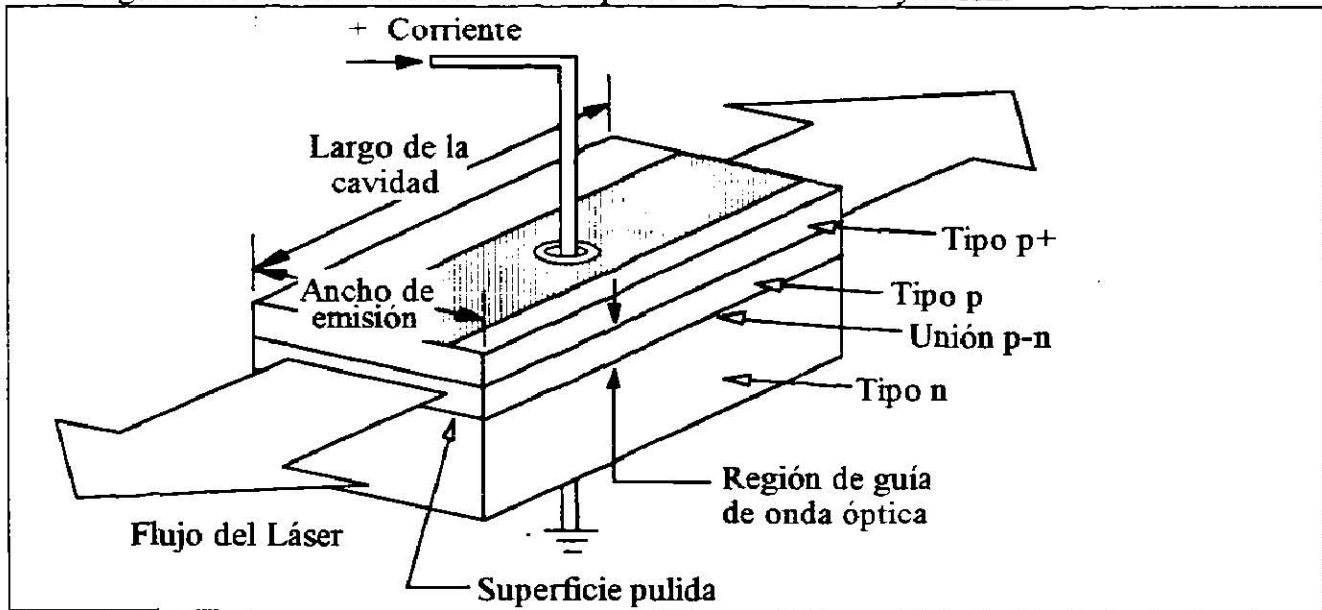


Figura 3.4 Diodo Láser de Inyección

No toda la luz es atrapada en la región activa, una parte de esta luz es emitida, desde las superficies con terminado de espejo, en una luz de un láser de rayo angosto.

La corriente que fluye en el ILD debe de permanecer constante arriba del punto de umbral para así mantener constante el flujo de radiación en la salida. La corriente de umbral es dependiente de la temperatura, como resultado de lo anterior la temperatura de operación debe de ser estabilizada para evitar algún problema con la salida del láser. En la siguiente gráfica (Fig. 3.5) se muestra como afecta la temperatura a la corriente del láser.

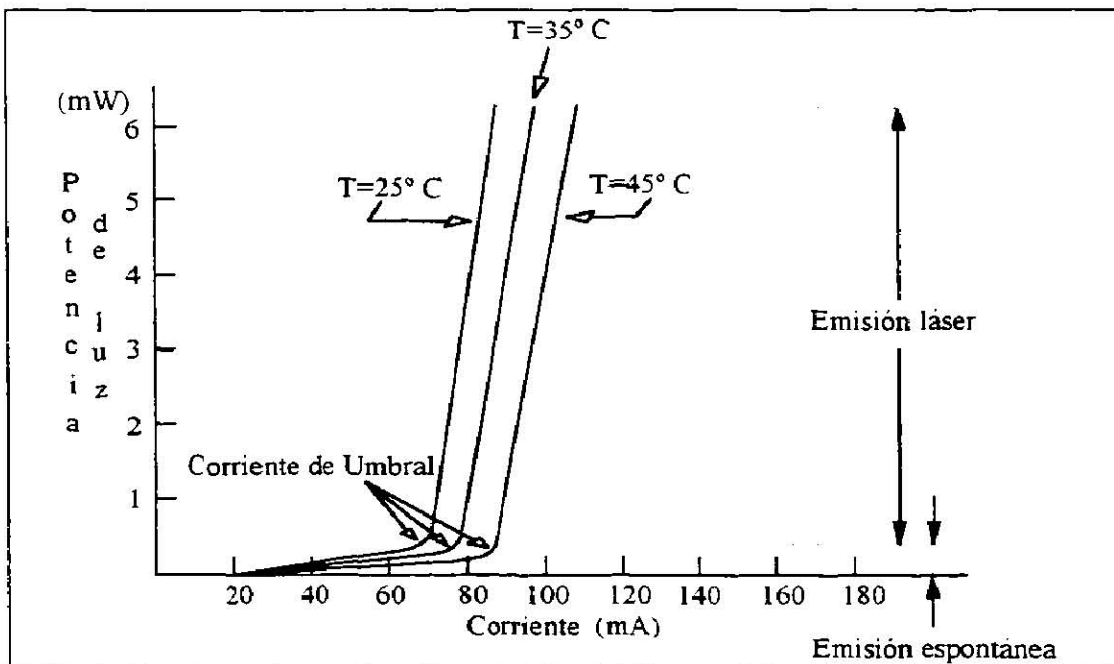


Figura 3.5 Gráfica de la corriente en un ILD vs la potencia de salida de luz

3.2 Fotodetectores para Fibras Ópticas

Los sensores de luz semiconductores (fotodetectores) son usados para convertir la energía óptica en corriente eléctrica. Los detectores más usados en fibras ópticas son los fotodiodos Positivo-Intrinseco-Negativo (PIN/Positive-Intrinsic-Negative) y los fotodiodos de Avalancha (APD/Avalanche PhotoDiode).

Aunque los fototransistores y los transistores fotodarlington tienen una ganancia más alta que la de los fotodiodos PIN y han sido usados para algunas aplicaciones de fibras ópticas, estos tienen un pequeño ancho de banda (150 kHz) y relativamente un ruido alto.

La diferencia entre un detector APD y un PIN es que, un APD tiene ganancia interna. En un APD se crean muchos electrones cuando un fotón es absorbido, mientras que para un PIN se crea a lo más un sólo electrón por cada fotón. Como resultado de la ganancia interna del APD, este tiene una sensibilidad mayor que la de los detectores PIN. En el rango de los 850 nm, donde los APDs tienen ganancia del orden de 100, esta diferencia de sensibilidad es 10 a 20 dB mayor que la de los detectores PIN. A longitudes de onda mayores, la ganancia es del orden de 10 a 30, por lo que la ventaja no es muy grande.

En general, los APDs cuestan de 5 a 10 veces más que los PINs. Además los APDs requieren voltajes de polarización mayores que los de los PINs. En el rango de 850 nm, los APDs necesitan voltajes de polarización cercanos a los 250 V para obtener ganancias óptimas, mientras que los PINs sólo requieren de 10 a 50 V. A longitudes de onda mayores (1300 y 1550 nm) los requerimientos de polarización para los APDs son de 20 a 30 V, mientras que para los PINs es de 5 a 15 V.

3.2.1 Fotodiodo PIN

Como se muestra en la figura 3.6, el fotodiodo PIN tiene una capa de material sin dopar o intrínseco (I) entre una capa dopada positivamente (P) y una dopada negativamente (N). La luz entra al diodo a través de una pequeña ventana la cual es casi del tamaño del núcleo de la fibra.

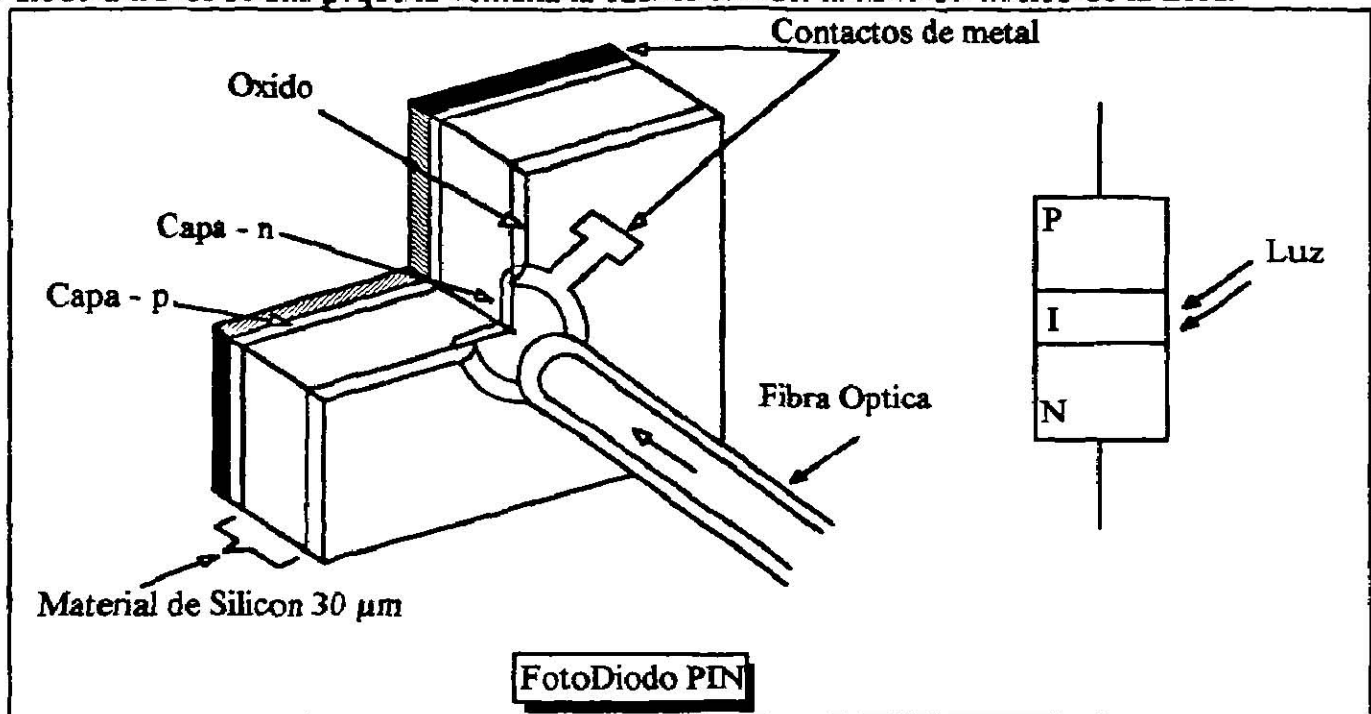


Figura 3.6 Diagrama de las capas de un Fotodiodo PIN

El fotodiodo trabaja en forma opuesta a la de un LED. Los fotones que llegan a la región de agotamiento desprovista de portadores se crean los portadores. Los portadores generados por la luz en la región de agotamiento permiten que fluya corriente a través del diodo.

Los fotones son absorbidos por los electrones en la banda de valencia. Esto permite a los electrones liberarse de la banda de valencia y pasar a la banda de conducción. El resultado es un electrón libre y un hueco, ambos portadores de corriente. Cuando la luz es removida, la corriente se detiene.

El fotodiodo PIN no tiene ganancia o amplificación (este problema se resuelve con agregar amplificadores después del diodo). Por cada fotón capturado en la capa intrínseca, un par electrón-hueco fluye como corriente.

3.2.2 FotoDiodo de Avalancha (APD)

En contraste con el fotodiodo PIN, el APD si tiene ganancia interna. Esta ganancia es resultado de la ionización de impacto, la cual ocurre a altos voltajes de polarización inversa, cercanos a los voltajes de ruptura. Durante la ionización de impacto un electrón libre o hueco pueden obtener la suficiente energía para ionizar a un electrón de rebote. Los portadores ionizados causan otras ionizaciones, conduciendo a una avalancha de portadores.

En la figura 3.7, se muestra el esquema de un APD.

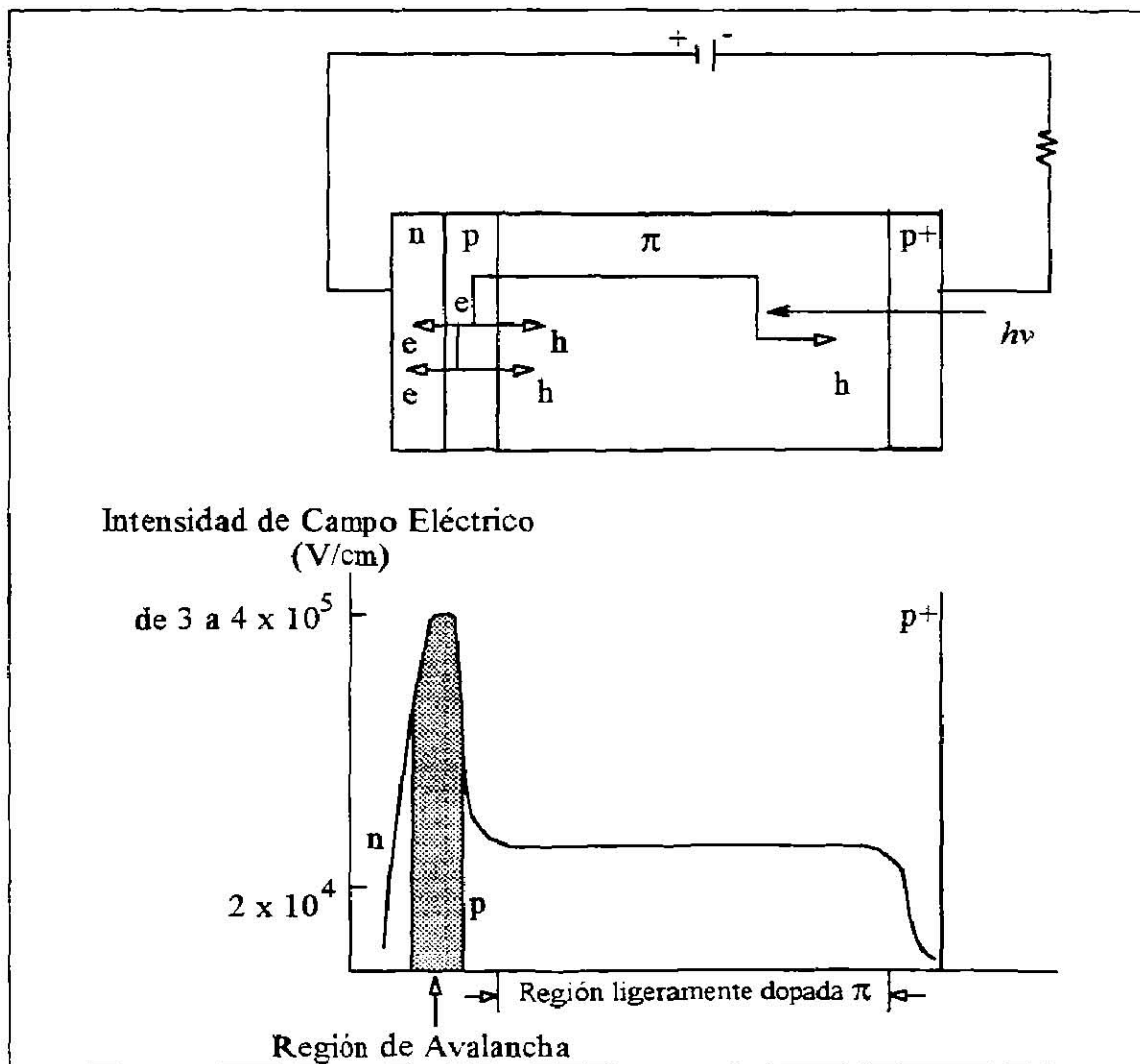


Figura 3.7 Fotodiodo de Avalancha (APD)

La región de agotamiento tiene una región amplia , y una región de multiplicación angosta como se muestra en la gráfica del perfil del campo eléctrico.

Los fotones son absorbidos en la region π dopada ligeramente, mientras que los portadores generados causan la ionización de impacto en la región de avalancha.

El APD tiene fuentes de ruido adicionales a las del diodo PIN, debido a que el mecanismo interno de ganancia también amplifica el ruido al igual que la señal.

Conectores

Los conectores son usados cuando 2 fibras, o una fibra y una fuente o detector electro-
óptico, van a ser unidos o desconectados varias veces.

Cada conector en un sistema de fibra óptica trae como consecuencia una pérdida de potencia
óptica. Por esta razón un elección correcta del tipo de conectores puede significar la diferencia en el
funcionamiento del sistema completo.

Algunos de los diseños mas comunes son: el diseño de férula flexible de bajo costo, el diseño
de SMA, el bicónico, el tipo ST, el tipo FC y el conector FDDI.

4.1 Diseño de Férula Flexible

Un diseño que durante muchos años ha sido popular y de bajo costo es el conector para fibras multimodo de plástico de Férula Flexible que se conecta en un interconector que se angosta en su diámetro interno (Fig. 4.1).

El conector usa material de plástico flexible para la férula, y metal para la construcción de la tapa enroscada y el montaje de retención.

El alineamiento de la fibra se puede realizar repetidas veces debido a la poca interferencia de entrada de la férula en la unidad de empalme. La tolerancia a una mala unión del diámetro de la fibra es absorbido por la elasticidad de la férula plástica. Las tolerancias en las partes no son críticas, por lo que les permiten ser facturadas económicamente. La única operación ultra precisa requerida es la colocación del agujero en la férula relacionado con el centro que existe cuando el conector es conectado.

El conector contiene las siguientes partes:

1. Férula. Mantiene a la fibra y sirve como la parte flexible del mecanismo de alineamiento.
2. Cubierta (Con rosca). Provee la forma de mantener la conexión.
3. Aro de sujeción. Provee la presión para mantener la fibra en la férula.
4. Dispositivo de pulido. Es usado para pulir la fibra y obtener la longitud y el acabado correcto. (Es desechado después de ser usado)

El conector se puede conectar a un interconector de empalme para conexiones de fibra a fibra o a un interconector de entrada/salida a otro dispositivo activo.

La férula entra al interconector donde este tiene una entrada que se angosta (reduce su diámetro) y conforme la cubierta con rosca de la férula se enrosca, la férula es comprimida por la entrada. Esta compresión mueve la fibra al centro y cuando ambos conectores están unidos en el interconector de empalme, las fibras están alineadas como se muestra en la figura 4.1.

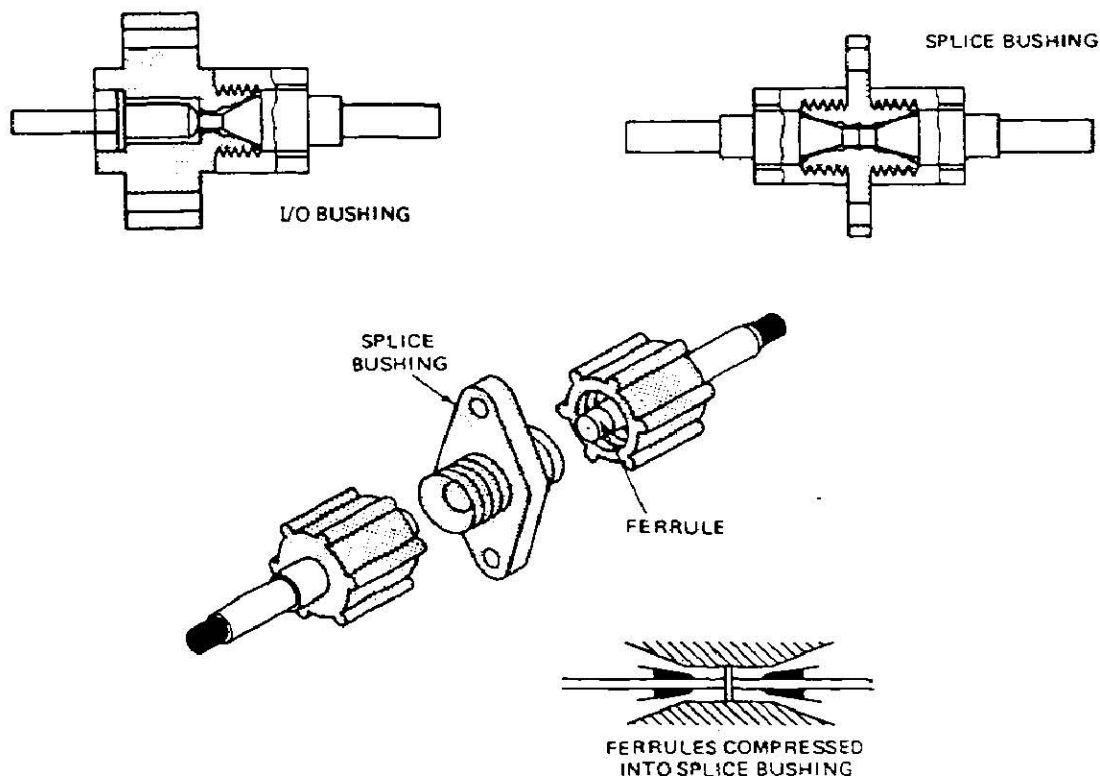


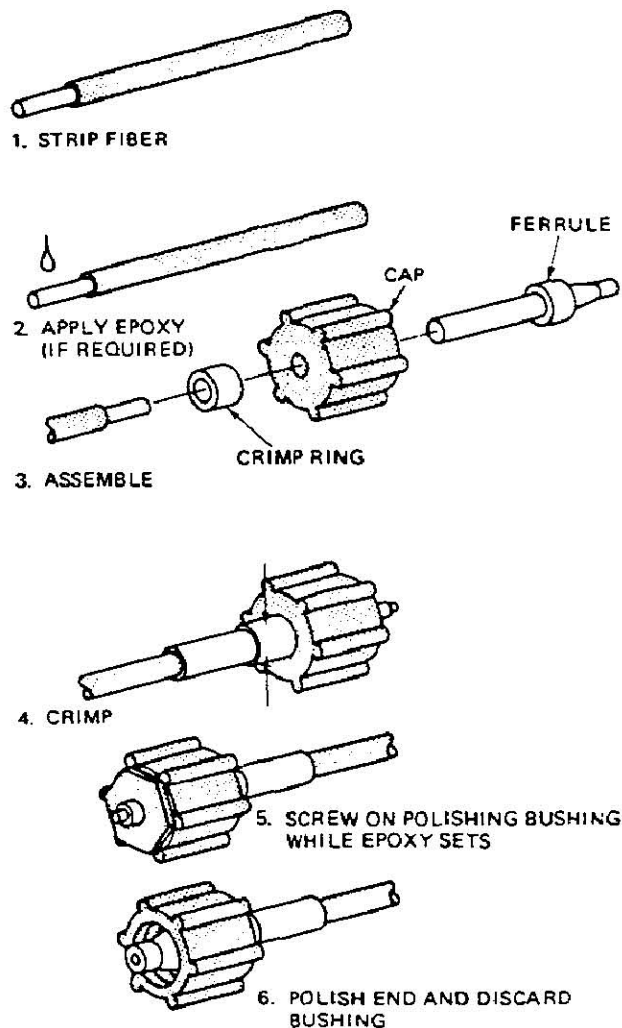
Figura 4.1 Mecanismo de alineamiento de la férula flexible

La compresión de la férula sella la interface fibra-a-fibra mediante la entrada angosta entre la férula y la fibra, y entre la férula y el interconector. El agujero de la férula es un poco más pequeño que la fibra, debido a que la férula estará comprimida alrededor de la fibra.

El procedimiento para hacer un conector es el siguiente (ver Fig. 4.2):

1. Se pela la fibra óptica, quitándole aproximadamente 1/2 pulgada de la cubierta de la fibra.
2. Se aplica resina epoxídica, si es requerida por el fabricante de la fibra.
3. La fibra es introducida al conector que va a ser ensamblado hasta introducirse en la férula.
4. El anillo se adhiere a la férula con el fin de proveer presión mecánica para mantener la fibra en la férula y retener la cubierta (con rosca).
5. Ahora se pone el dispositivo de pulido en la cubierta y la fibra y la férula son pulidas.
6. Después del pulimiento el dispositivo de pulido es desechado y el conector esta listo para su uso

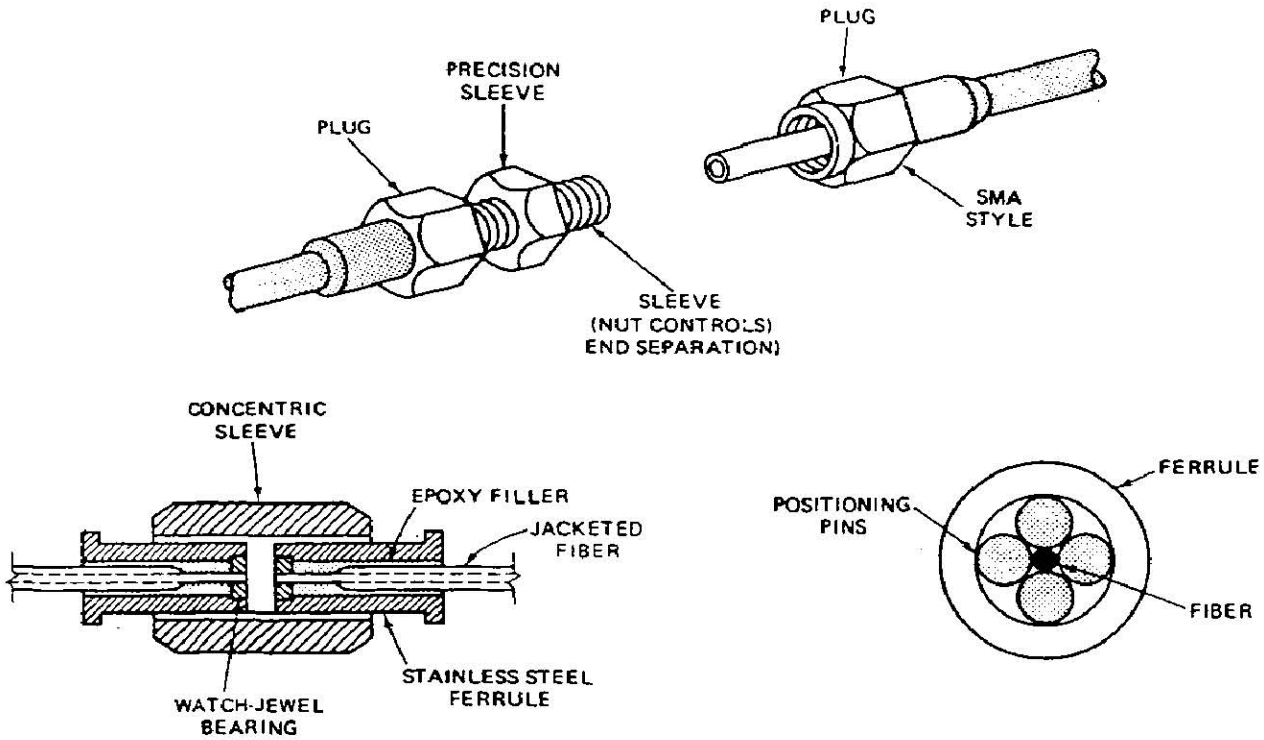
Figura 4.2 Ensamblaje de un conector.



4.2 Diseño de SMA

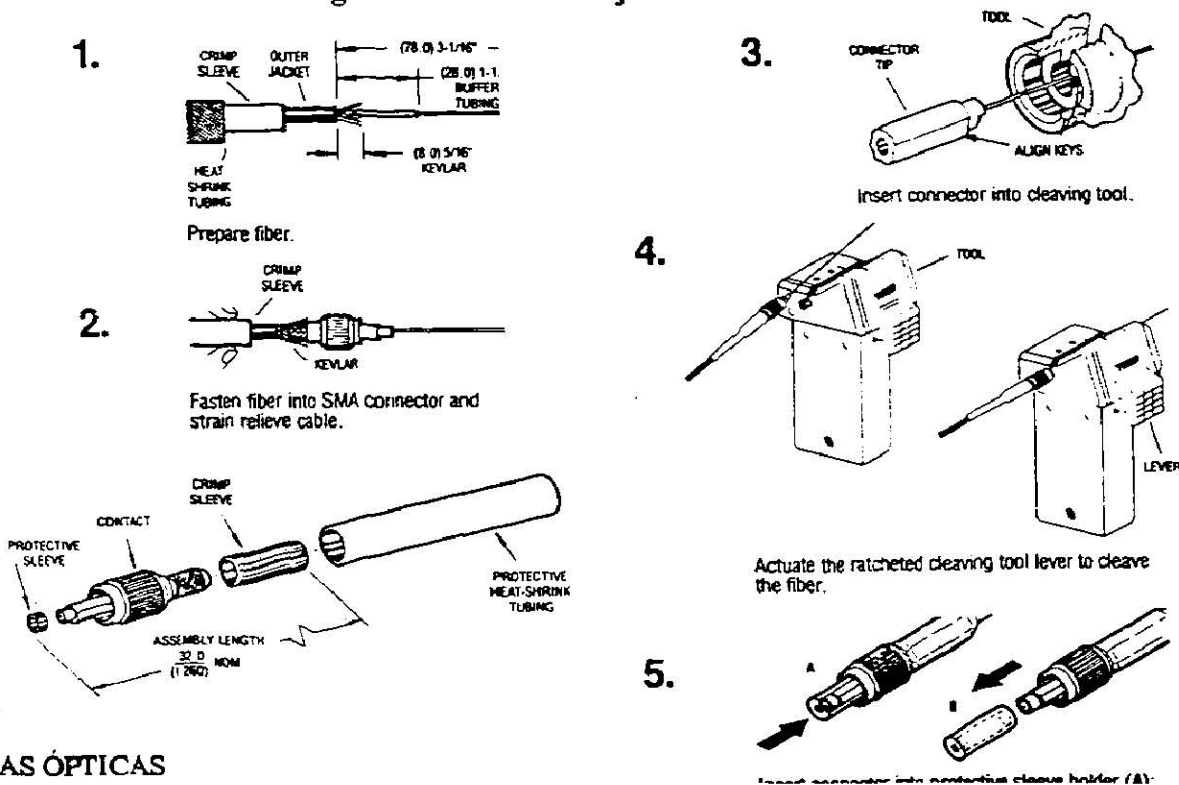
Este conector (Fig. 4.3) utiliza un alineamiento que depende de una férula de precisión con poca tolerancia en una funda de precisión (precision sleeve).

Figura 4.3 Conector SMA



La figura 4.4 ilustra el proceso del ensamble de un conector SMA; el cual no necesita de pulimiento.

Figura 4.4 Ensamblaje de un conector SMA



Las pérdidas por inserción con fibras multimodo de 62.5 a 125 μm son de típicamente de 0.7 dB, mientras que para fibras de 100 a 140 μm el promedio de pérdidas se reduce a 0.4 dB.

4.3 Conector Bicónico

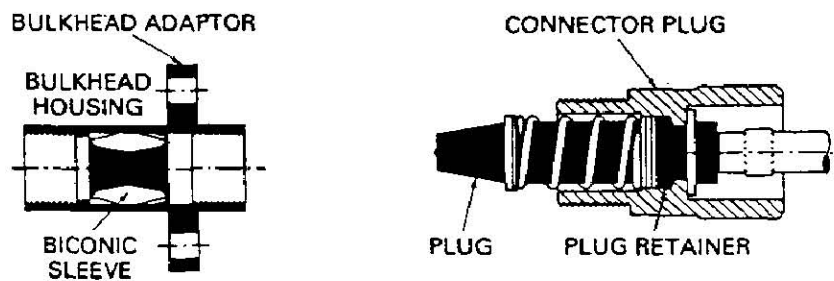
Un diseño muy popular para fibras multimodo y monomodo es un conector de precisión de plástico moldeado con una férula en forma de cono y un mecanismo de alineamiento (Fig. 4.5).

El conector bicónico usa un tapón en forma de cono que tiene un pequeño agujero en el centro, que acepta las fibras multimodo y monomodo.

La técnica de alineamiento bicónico fue desarrollada en los Laboratorios Bell.

Estos conectores están disponibles para diámetros de 125, 140, 250 y 400 μm . Las pérdidas por inserción para fibras multimodo y monomodo van de 0.5 a 1.1 dB.

Figura 4.5 Conector Bicónico



4.4 Conector ST

Este conector es marca registrada por AT&T. En la figura 4.6 se muestran varios conectores ST. En el inciso (a) el conector se conecta a su contacto empujándolo y rotándolo. Recientemente fue desarrollado por 3M un diseño de ST compatible de empuje-estire (push-pull), el cual se muestra en el inciso (b).

Para alcanzar una buena exactitud y poca tolerancia en el agujero de la fibra y la concentricidad de la férula es logrado a través del uso de una férula de manufactura de precisión, la cual encaja en un contacto de precisión. Para obtener un agujero concéntrico de precisión en el centro de una férula rígida, se utilizan varios diseños y materiales que permiten la manufacturación con precisión.

En el caso de 3M una férula de cerámica de zirconia es usada con un acabado que optimiza el contacto óptico y reduce la reflexión. Algunos componentes termoplásticos son usados con el conector para prevenir que el metal se dañe.

Las atenuaciones para fibras monomodo son de entre 0.15 y 0.25 dB y con atenuaciones máximas de 0.7 dB, dependiendo del fabricante.

El promedio de las atenuaciones para fibras multimodo esta entre 0.05 y 0.15 dB con un máximo hasta de 0.3 dB.

Figura 4.6 Conectores ST (a)

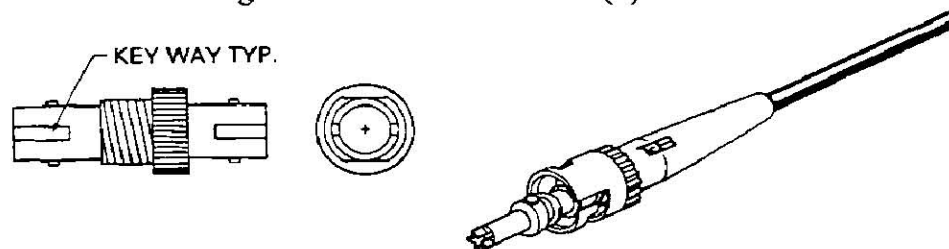
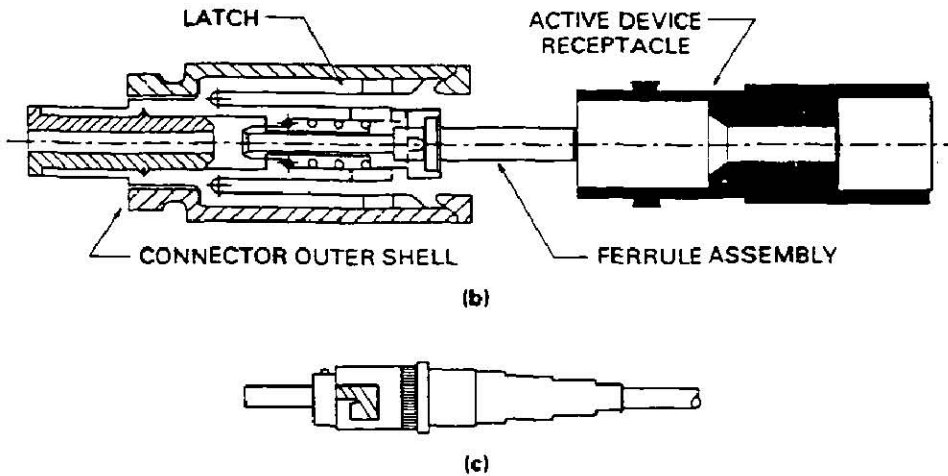


Figura 4.6 Conectores ST (b) y (c)



4.5 Diseño FC

En la figura 4.7 se muestra el conector FC.

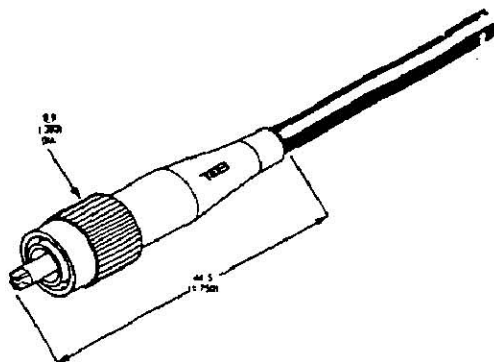


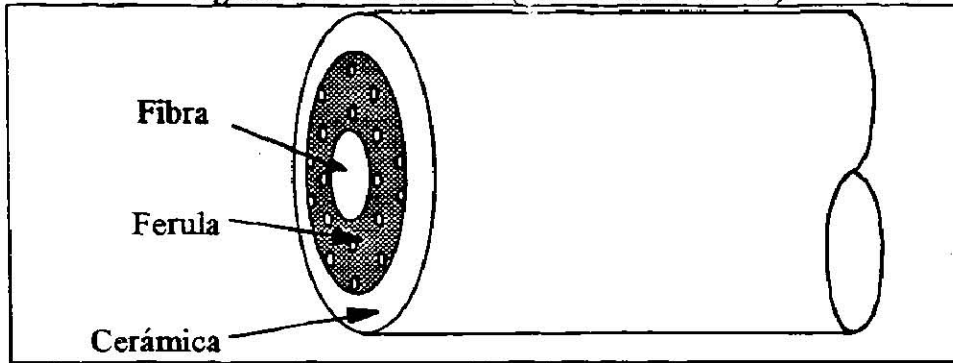
Figura 4.7 Conector FC

En este conector 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.

La pérdida por inserción en fibras monomodo es típicamente entre 0.4 y 0.7 dB con variaciones máximas entre 0.8 y 1.0 dB, dependiendo del fabricante.

El diseño FC-PC (Physical Contact)[Fig. 4.7], presenta en la punta del casquillo, en lugar de una superficie plana, una superficie esférica de un radio aproximado de 60 mm para que las fibras estén en un contacto físico real en la unión. Este factor reduce las reflexiones y las pérdidas llegando a tener menos de 0.5 dB (algunas veces a 0.15 dB) por conector.

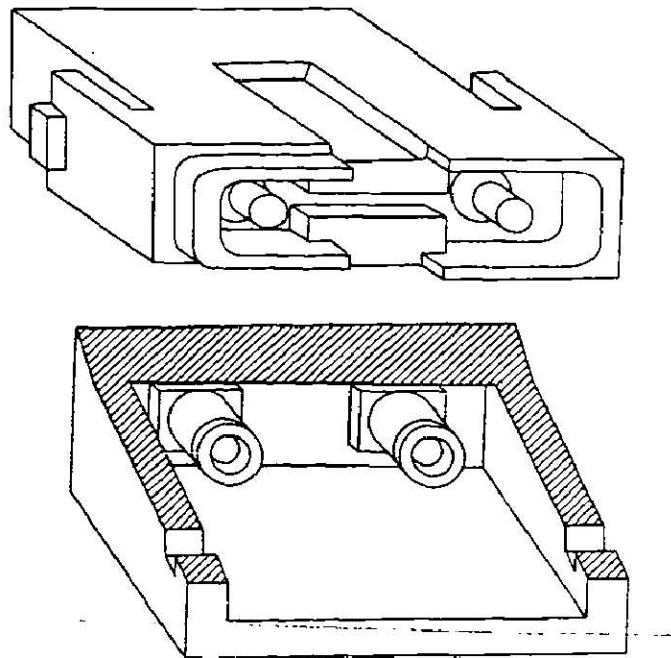
Figura 4.7 Férula PC (Conector FC-PC)



4.6 Conector FDDI

El conector FDDI, ilustrado en la figura 4.8, es especificado como parte del estándar dependiente del medio de la capa física de ANSI FDDI X3T9/89-71. Es llamado un conector de interface de medios (Media Interface Connector-MIC). La función principal del conector es conectar la fibra óptica con otra fibra óptica o con un puerto óptico de un componente de FDDI tal como un receptor, un transmisor o un switch de desviación (bypass).

Figura 4.8 Conector FDDI



El conector contiene dos férulas, una para cada fibra de un cable duplex. Las férulas están montadas de tal forma que proporcionan flexibilidad durante el proceso de acoplamiento.

Los conectores tienen cuatro configuraciones y son: MIC A (primary in/secondary out), MIC B (secondary in/primary out), MIC M (usado con un concentrador), y MIC S (usado con una estación de conexión simple - SAS).

Empalmador de Fusión

Cuando se desea unir 2 extremos de fibras ópticas, se puede recurrir al uso de conectores (capítulo 4); pero también se puede realizar un empalme de fibras.

Se pueden realizar empalmes mecánicos o de fusión. Cuando no se tiene un sistema de fibra óptica de muy larga distancia y en el que no tiene mucha importancia el nivel de pérdidas, es conveniente realizar un empalme mecánico, pero si se desea que el nivel de pérdidas por empalmes sea mínimo, entonces es mejor el uso de los empalmes de fusión, los cuales se realizan mediante la aplicación de calor (a través de un arco eléctrico) a las fibras ópticas.

En este capítulo se hablará en primer lugar de las pérdidas debido a las uniones de fibras ópticas, del funcionamiento de un empalmador de fusión y se explicarán específicamente las características del modelo FSM-20CS (utilizado en TELMEX).

5.1 Generalidades de las Pérdidas en los empalmes

Las pérdidas en fibras ópticas debido a las uniones de estas son el resultado de las combinaciones de pérdidas Intrínsecas y de las Extrínsecas, las cuales podemos definir como:

1. Pérdidas Intrínsecas: Estas son las que son causadas por las características de las fibras ópticas, tales como: que los núcleos de las dos fibras no coincidan en tamaño, que el NA de las fibras no sea el mismo, un desalineamiento en la concentricidad del núcleo de una o de las dos fibras, diferencias en el perfil de índice gradual.
2. Pérdidas Extrínsecas: Son el resultado de los mecanismos de unión que son externos a la fibra; tales como: un mal acabado del corte de la fibra, desalineamientos laterales entre fibras, una mala alineación angular, etc.

En la siguiente figura 5.1 se muestran las causas de las pérdidas Intrínsecas.

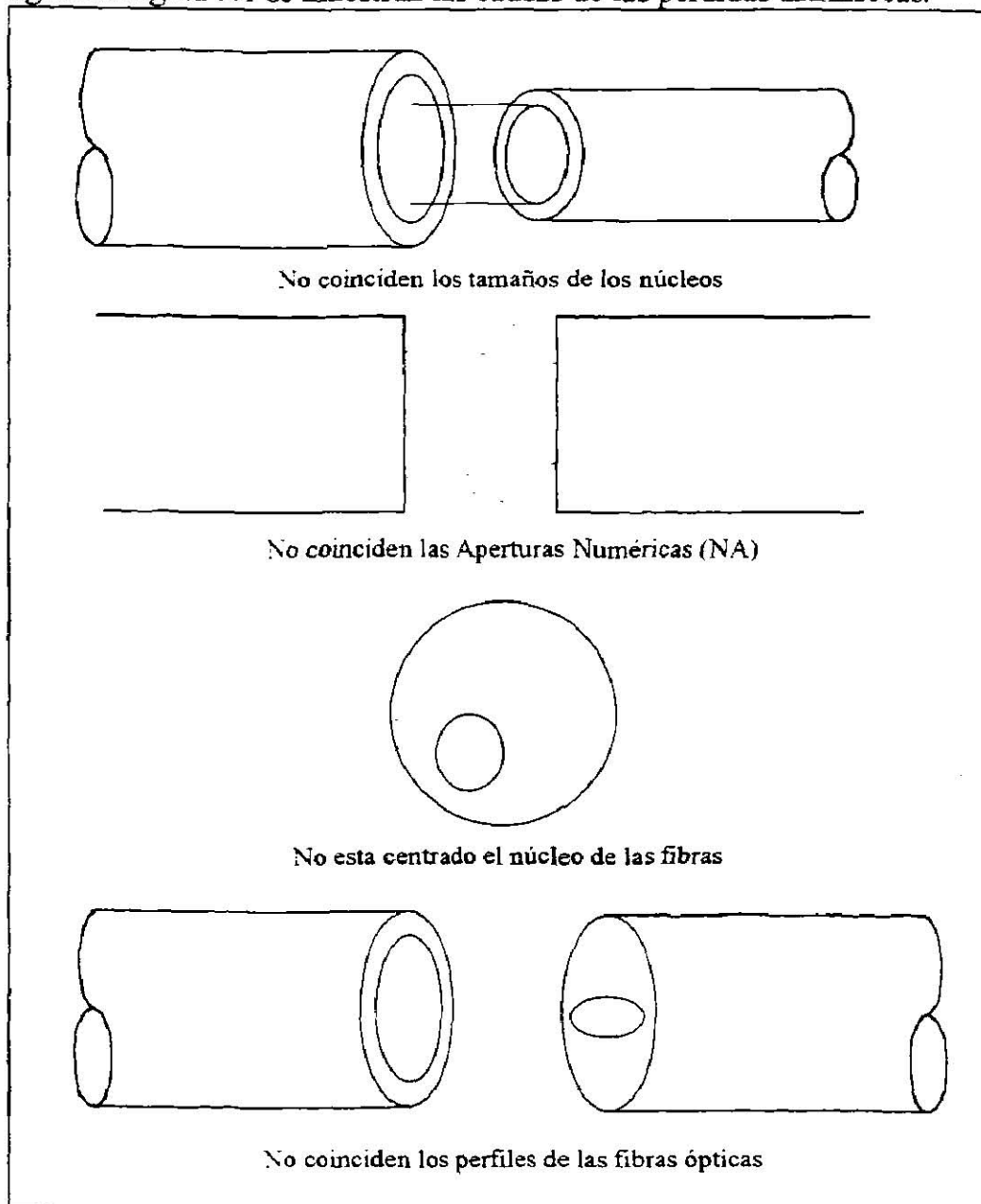


Figura 5.1 Causas de las pérdidas Intrínsecas

Ahora en la siguiente figura 5.2 se muestran las causas de las pérdidas Extrínsecas.

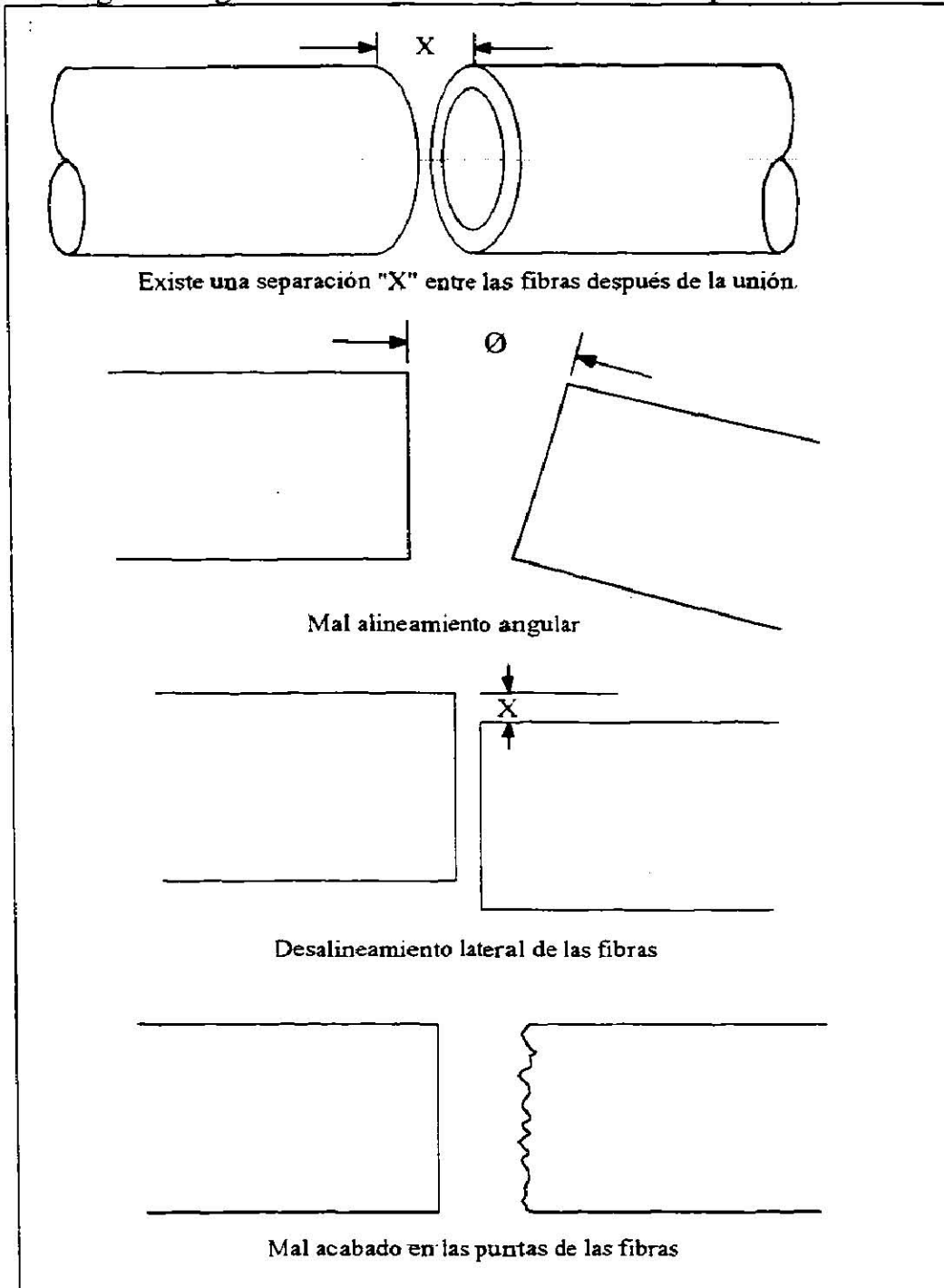


Figura 5.2 Causas de las pérdidas Extrínsecas

5.2 Funcionamiento Básico de un Empalmador

Un mecanismo de fusión automático básicamente realiza lo siguiente: acerca a las fibras entre ellas hasta una distancia previamente determinada; crea un arco eléctrico que cruza perpendicularmente entre las dos puntas de las fibras, lo cual permite eliminar algo de polvo en las fibras y a la vez redondea un poco las puntas de las fibras; acerca un poco más a las fibras hasta estar casi unidas; y crea un arco eléctrico (de mayor intensidad al primero) durante un cierto tiempo y con una corriente antes determinada para realizar el empalme de las fibras.

En la siguiente figura 5.3 se muestra los pasos que sigue el empalmador para realizar el empalme de fusión.

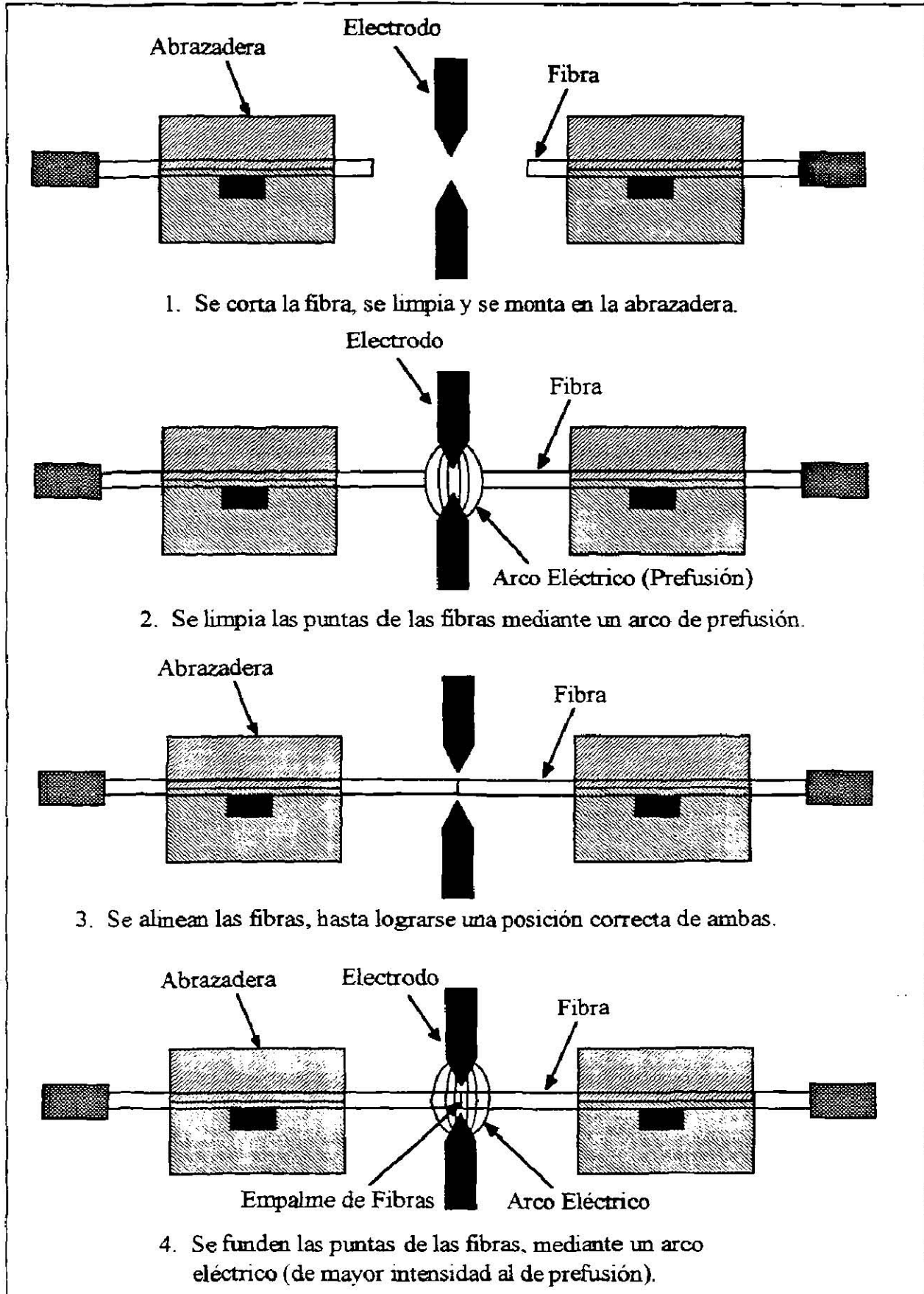


Figura 5.3 Esquema de los pasos que se realizan en un empalme de fusión

5.3 Empalmador de Fibra Óptica de Fusión FSM-20CS

• *Descripción:*

El Empalmador de Fibra Óptica de Fusión tipo FSM-20CS se emplea para empalmar las fibras ópticas de tipo SM (Single Mode - Monomodo) y de tipo MM (Multi Mode - Multimodo).

El alineamiento mutuo de las fibras de tipo monomodo se realiza automáticamente mediante el microcomputador de procesamiento de imágenes instalado en el empalmador.

La fuente de alimentación aplicable a este sistema es la AC85-265V (50/60 Hz)

La figura 5.4 muestra el Empalmador de Fusión por Arco tipo FSM-20CS.

• *Construcción:*

Los componentes del Empalmador de Fusión por Arco tipo FSM-20CS se muestran en la tabla 5.1 y los accesorios en la tabla 5.2

Número	Nombre	Cantidad
1	Cuerpo del Empalmador de Fusión por Arco	1
2	Cable de Alimentación	1 par
3	Estuche transportador	1

Tabla 5.1 Componentes del Empalmador

Nombre	Cantidad
Electrodo de repuesto	1 par
Fusible de repuesto	1 juego
Espejo de repuesto	1
Llave hexagonal	1
Pinza	1
Manual de instrucciones	2

Tabla 5.2 Accesorios del empalmador

• *Funciones:*

El Cuerpo del Empalmador de Fusión por Arco tipo FSM-20CS ha sido desarrollado para el empalme mutuo de fibras ópticas.

En la tabla 5.3 se muestran los elementos y sus funciones.

Tabla 5.3

Número	Nombre	Función
1	Teclado	Se usa para manejar el empalmador.
2	Monitor	Visualiza la imagen de la fibra, el estado de operación y la pérdida estimada.
3	Mando de contraste	Ajusta el contraste del monitor para observar la imagen de la fibra.
4	Indicador de tensión de la entrada	Indica si la tensión de entrada está en el rango apropiado (verde) o no (rojo).
5	Portafusible de CA	Se usa un fusible de 3.15 A.
6	Portafusible de CC	Se usa un fusible de 6.3 A.
7	Interruptor (POWER)	Interruptor de encendido/apagado.

Continuación de la Tabla 5.3:

Número	Nombre	Función
8	Terminal DC IN	Cuando una fuente de alimentación de CC tal como una batería, conéctela a este terminal. Ponga el interruptor POWER en DC.
9	Terminal SER. PORT	Esta terminal se usa para la entrada y salida de datos. Cuando se use un ordenador personal, conéctelo a esta terminal.
10	Terminal VIDEO OUT	Esta terminal se usa para conectar el cable de video del monitor externo. Las señales de video son NTSC compuesto.
11	Terminal AC IN	Esta terminal se usa para la entrada de la fuente de alimentación de CA.
12	Terminal GND	Esta terminal se usa para poner a tierra el empalmador.
13	Tapa superior	Esta tapa se usa para proteger el panel de operaciones del empalmador.
14	Protector de viento	Evita descargas anormales debidas al viento. Abriendo y cerrando el protector, la lámpara se enciende o apaga. Cuando se abre, el espejo se reajusta para colocar la fibra. También funciona como un interruptor de seguridad para el interruptor de descarga, y evita la descarga mientras está abierto.
15	Terminal para mesa de trabajo	Se utilizan para fijar el equipo a la mesa de trabajo.
16	Terminal para tripode	Se utiliza para fijar el empalmador al tripode.
17	Soporte	La funda de la fibra óptica se coloca aquí.
18	Unidad de Guía de Fibra Óptica (surco V)	Esta guía se emplea para sujetar la fibra óptica y para alinear el par de fibras que se van a empalmar.
19	Electrodos de descarga	Estos electrodos de descarga funden el par de fibras ópticas que se van a empalmar.
20	Lámpara de iluminación	Esta lámpara se usa para iluminar la fibra óptica para observarla. Cuando se cierra el protector de viento, la iluminación se enciende; cuando se abre, se apaga.
21	Cubierta del electrodo	Diseñado para el aislamiento del electrodo de alta tensión. No produce descargas cuando se desmonta la cubierta por seguridad.
22	Lente del objetivo	Esta lente es para aumentar la imagen de la fibra óptica.
23	Abrazadera	Esta abrazadera se usa para colocar la fibra óptica en la guía de la fibra.
24	Abrazadera de la funda	Esta abrazadera se usa para sujetar la funda de la fibra óptica

Continuación de la Tabla 5.3:

Número	Nombre	Función
25	Espejo	Este espejo se usa para guiar la luz hacia la lente del objetivo para observar las imágenes de las fibras y puede ser colocado o reajustado.
26	Fijador del electrodo	Fija el electrodo de descarga en la posición deseada.
27	Calentador opcional	Este calentador se emplea para calentar el protector termorretractil.
28	Lámpara indicadora de calor	Indica que el protector termorretractil esta siendo calentado.

Figura 5.4

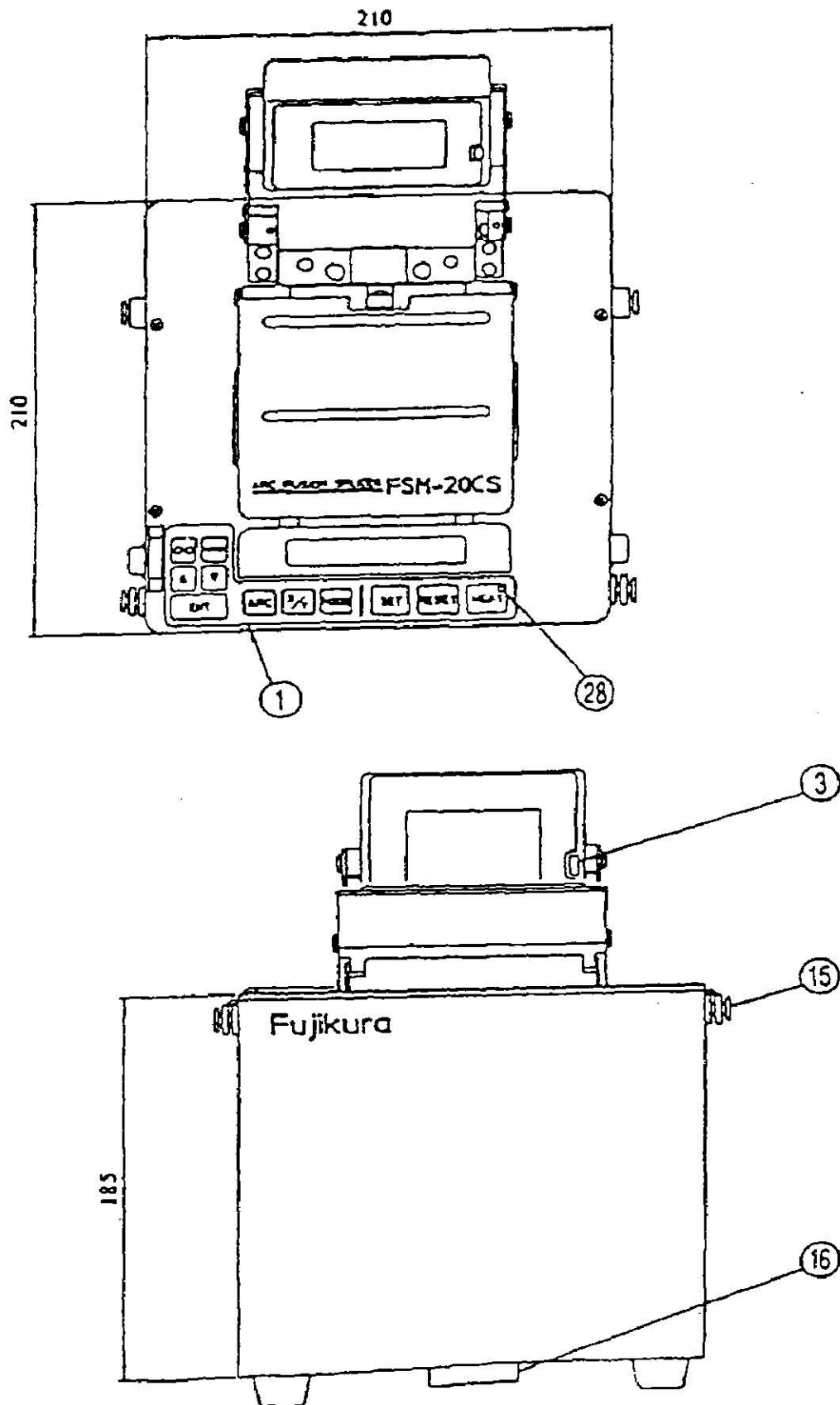


Figura 5.4

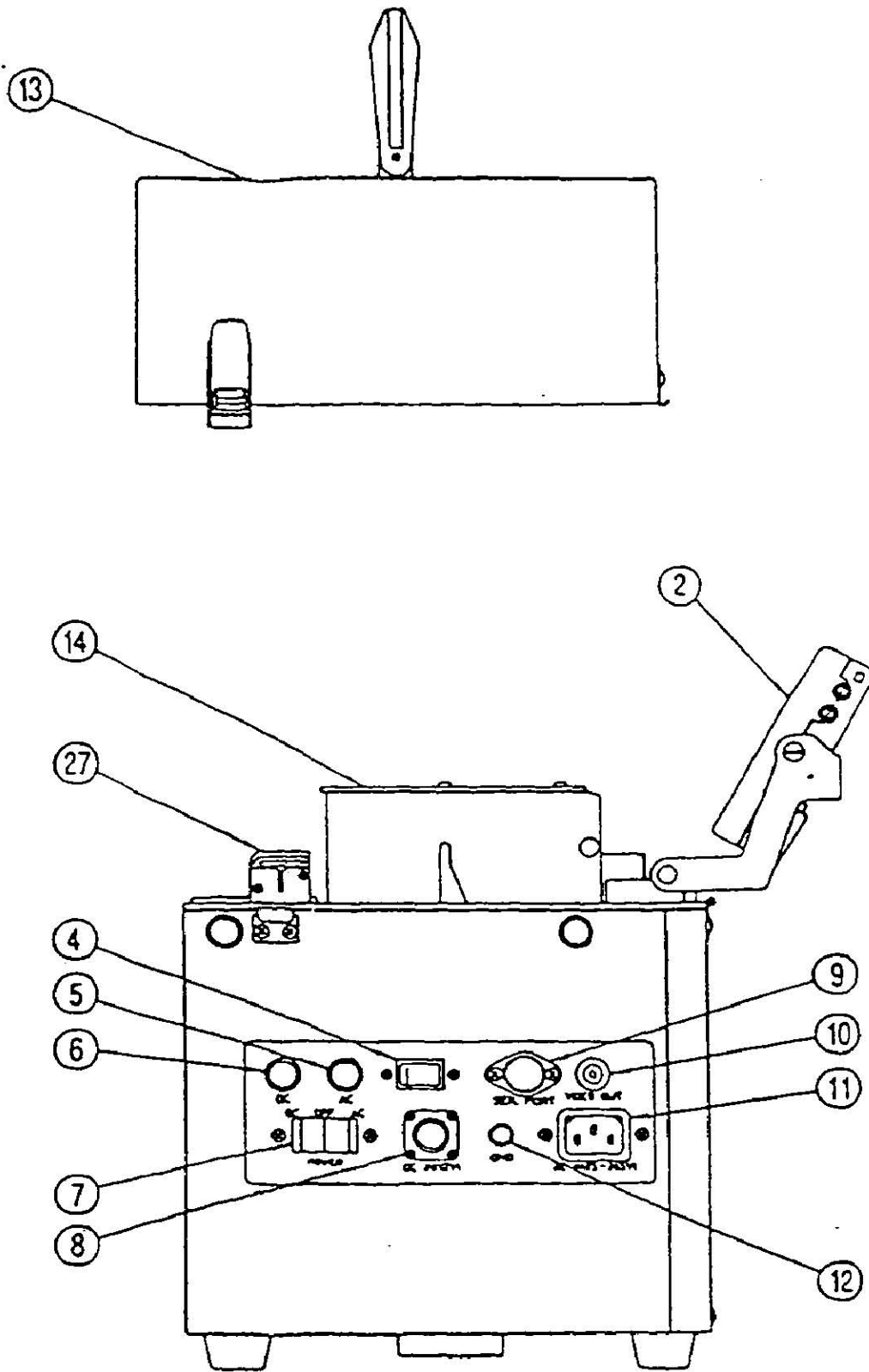
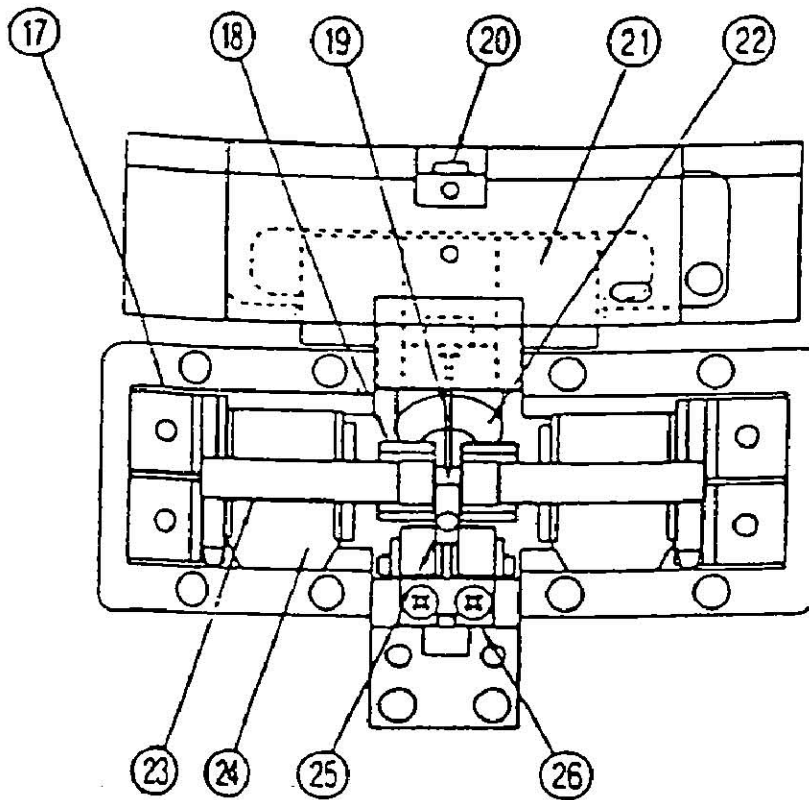


Figura 5.4



• Operación

Teclado del Panel

Esta sección presenta las funciones de los conmutadores del FSM-20CS. La Fig. 5.5 muestra la disposición de las teclas en el panel superior del empalmador y la tabla 5.4 muestra las funciones respectivas de las teclas.

Figura 5.5 Disposición del Teclado del Panel

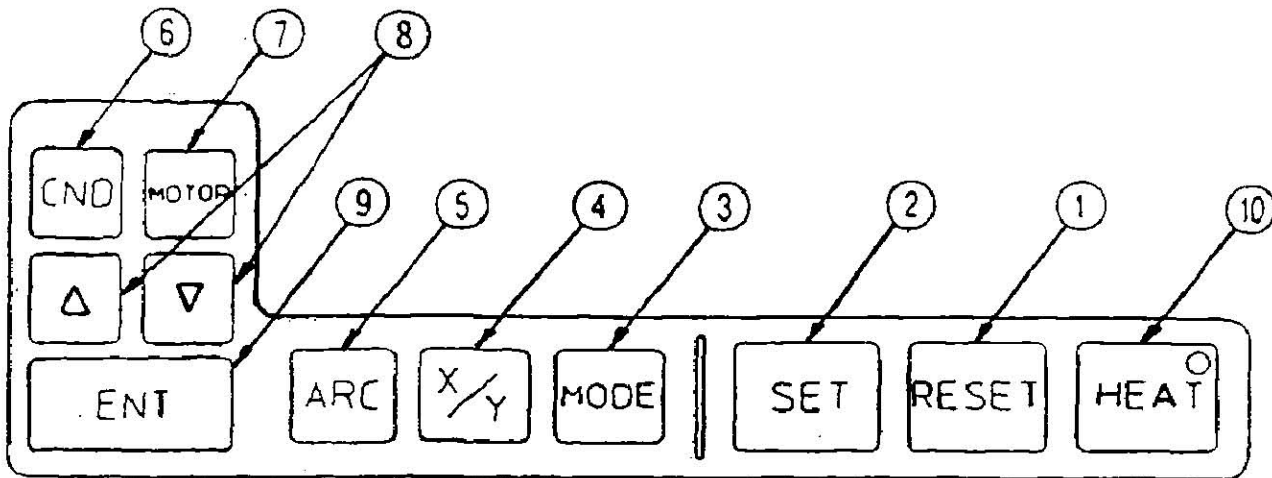


Tabla 5.4 Funciones de las teclas

Número	Nombre (Tecla)	Función
1	RESET	Se usa para la operación de reinicialización. Cuando se pulsa la tecla RESET, el sistema se para en cualquier paso del funcionamiento y las fibras regresan a la posición inicial del eje z.
2	SET	Esta tecla se usa para iniciar el ajuste del espacio entre los extremos de dos fibras y alinearlas automáticamente.
3	MODE	El FSM-20CS puede preajustarse a 20 condiciones diferentes de descarga para diversas fibras (SM1-SM10, MM1-MM10). Esta tecla se emplea para cambiar las condiciones de descarga. En el modo SM, el alineamiento del eje del núcleo se hace automáticamente, y en el modo MM se realiza alineamiento del eje de la fibra.

Continuación de la Tabla 5.4:

Número	Nombre (Tecla)	Función
4	X/Y	Esta tecla se emplea para la operación de cambio automático de campo. Cuando se pulsa la tecla X/Y, la imagen de la fibra cambia del eje X al Y o viceversa, y la posición de la imagen de la fibra se ajusta al centro del monitor, enfocándose automáticamente. El posicionamiento automático y el ajuste del enfoque luego del cambio de la imagen no se realizan antes del espacio entre las fibras.
5	ARC	Esta tecla se usa para el empalme por fusión. No funciona mientras el sistema está en la operación de empalme automático . A partir de la segunda descarga o antes de completarse el ajuste de espacio entre las fibras, la fibra no se mueve hacia adelante a lo largo del eje z durante la operación de descarga. Se visualiza "ARC" en el monitor justo antes de que se produzca la descarga. Si se realiza el ajuste del espacio entre las fibras, la estimación de las pérdidas sigue automáticamente a la operación de descarga (sólo en SM).
6	CND	Se usa para cambiar los parámetros de la condición de descarga.
7	MOTOR	Se usa para controlar manualmente los motores del empalmador.
8	Δ (arriba) ∇ (abajo)	Se usa para cambiar los parámetros de descarga o para controlar manualmente los motores con las teclas CND y MOTOR.
9	ENT	Se usa para seleccionar el menú de condiciones de descarga o para seleccionar el motor con las teclas Δ (arriba) ∇(abajo).
10	Calentador	Se usa para calentar los protectores termorretráctiles. La lámpara indicadora de calor luce durante el calentamiento.

El FSM-20CS puede ser preajustado a 20 condiciones de descarga diferentes (10 para fibras monomodo y otras 10 para fibras multimodo) para diversas fibras. Cada condición consta de 6 parámetros (POT ARCO, TIEMPARC, AVANCE, PREFUS, GAP, ECF) [Tabla 5.5]

Tabla 5.5 Detalles de los parámetros de descarga

Visualización	Significado	Paso	Rango
1 POT ARCO	Potencia (de descarga) del arco	1	0 - 31 *1
2 TIEMPARC	Tiempo (de descarga) del arco	0.1 seg.	0 - 65 seg.
3 AVANCE	Tiempo de relleno durante el empalme por fusión	5 mseg	0-1 seg.
4 PREFUS.	Tiempo de prefusión durante el empalme por fusión.	10 mseg.	0-1 seg.
5 GAP	Espacio entre los extremos de las fibras.	2 líneas	6 -32 líneas *2
6 ECF	Factor ECF	0.05	0 - 0.9

*1 La corriente de descarga es aproximadamente $10.5+0.3XDATA$ (mA).

*2 1 Línea = 2 μm .

El empalmador tiene algunas funciones opcionales que pueden ser seleccionadas. Estas funciones son comunes a todas las modalidades de empalme. Las funciones opcionales son:

DATOS: Visualiza datos tales como un desplazamiento de eje en el monitor.

PAUSA: Hace que se detenga temporalmente cuando se fija la distancia entre las fibra.

ARCO LIMPIEZA: La descarga se produce durante 20 mseg. para quitar el polvo de la superficie de la fibra a la mitad de GAP SET.

ÁNGULO CORTE: Las superficies cortadas de los extremos de las fibras son verificadas, y el ángulo de corte se muestra en el monitor. Se visualiza ERROR 7 cuando el ángulo es mayor de cinco grados.

5.3.1 Empalme de Fibra Óptica de tipo SM

- Después de confirmar que se visualiza "PREPARADO", seleccione el modo SM.
- Corte las fibras ópticas que han de empalmarse.
- Abra el protector de viento.
- Abra la abrazadera y la abrazadera de la funda.
- Coloque la fibra óptica en el soporte.
- Cierre cuidadosamente la abrazadera de la funda hasta que se enganche.
- Verifique que la sección de la fibra con el recubrimiento quitado esté fijo en el fondo del surco V.
- Cierre cuidadosamente la abrazadera.
- Cierre el protector de viento. (la lámpara de iluminación se enciende)
- Pulse la tecla "SET".

El espejo se ajusta y las fibras ópticas se mueven hacia adelante para fijar el espacio inicial entre ellas. La máquina gestiona pasos secuenciales automáticamente hasta que se realiza la

estimación de la pérdida del empalme. (Si "PAUSA" está activado [ON] , el empalmador hace una pausa después del ajuste del espacio entre fibras ("APROX"). Se reinicia el empalme pulsando otra vez la tecla "SET" después de que el operador haya inspeccionado las superficies cortadas de los extremos de las fibras).

Después de que las superficies de los extremos de las fibras aparezcan en el monitor, se producirá la descarga limpiadora para eliminar el polvo de la superficie de la fibra. Si el polvo permanece aún en la superficie ,pulse la tecla "RESET" y prepare la fibra otra vez.

5.3.2 Observación de la superficie del extremo de la fibra.

Verifique el estado de la superficie del extremo de la fibra en la pantalla del monitor dos veces (Fig. 5.6), una antes del ajuste del espacio entre fibras y otra después del cambio automático de campos. Si el estado de la superficie del extremo NO es bueno, pulse la tecla "RESET" e inténtelo otra vez.

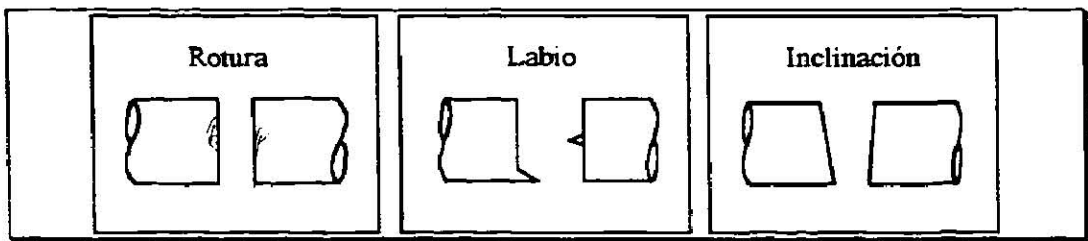


Fig. 5.6 Vista de la Superficie de los extremos de la Fibra Óptica

• *Empalme Automático*

1. Alineamiento mutuo de las fibras (se muestra "ALINEAR" en el monitor). En primer lugar, el empalmador alinea las fibras en el campo (X) como sigue [Tabla 5.6]:

Tabla 5.6

Paso	Modo de Alineamiento	Visualización en Monitor
Primer Paso	Ejes de las fibras alineadas en el campo (X)	ALIGNING 1
Segundo Paso	Enfoque alineado en el campo (X) *1	ALIGNING 2
Tercer Paso	Ejes de los núcleos alineados en el campo (X) *2	ALIGNING 3
Cuarto Paso	Ejes de los núcleos alineados en el campo (Y)	ALIGNING 4

*1: Los ejes de las fibras se alinean en la dirección (Y) usando la diferencia de la posición de enfoque entre ambas fibras.

*2: En el modo MM "ALINEAR" empieza desde el tercer paso, que es el alineamiento de los ejes de las fibras.

El símbolo "*" aparece en el monitor mientras los motores X o Y giran para el alineamiento.

2. Se efectúa la descarga para empalmar las fibras. (Se visualiza "***ARC**" en el monitor)
 El empalmador reajusta el espejo y empalma las fibras mediante una descarga.

El número de descargas se incrementa en la descarga principal y en las descargas adicionales.

3. Estimación de la pérdida del empalme.

Se visualiza "CALCULO" en el monitor, y esta secuencia es sólo para modo SM.

El empalmador mide el desplazamiento del eje del núcleo mediante el procedimiento de imágenes y estima la pérdida del empalme.

4. Visualización de la pérdida estimada.

El empalmador visualiza la pérdida estimada (sólo en SM) y "ACABADO" en el monitor.

5.3.3 Observación en el punto de empalme.

Después del empalme, si se observan burbujas en el monitor, como se muestra en la figura 5.7:

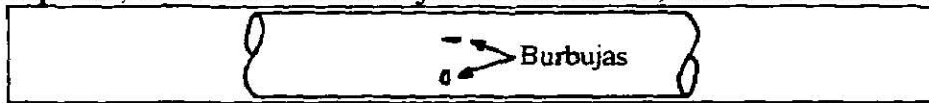


Fig. 5.7 Fibra Óptica con Burbujas después del empalme

o si el resultado del empalme es (fig. 5.8);

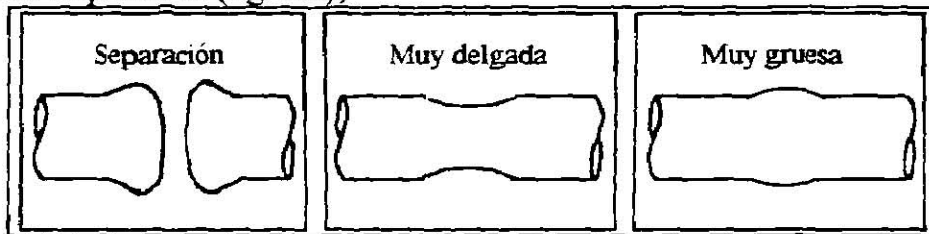


Fig. 5.8 Posibles resultados de malos empalmes en una Fibra Óptica

deben seguirse los pasos descritos en la tabla 5.7.

Tabla 5.7 Resultados del empalme.

Resultado del empalme	Posible falla	Acción correctiva
Aparición de Burbuja	Corte inadecuado de la fibra óptica. Polvo en las superficies de los extremos de las fibras.	Corte la fibra otra vez o cambie el cortador
Se hace muy delgado	Descarga anormal. Funcionamiento defectuoso de la unidad principal del empalmador. Demasiada separación entre las puntas de las fibras.	Ajuste la condición de empalme.
Se hace muy grueso.	Funcionamiento defectuoso de la unidad principal del empalmador. Poca separación entre las puntas de las fibras.	Ajuste la condición de empalme.

5.3.4 Usando el Calentador (opcional)

Dado que en el empalme de Fibra Óptica que se realiza, existe cierta fragilidad, es utilizado un protector en el punto del empalme. Antes de realizar el empalme se introduce el protector en una punta de las Fibras a ser unidas y después del empalme se utiliza el Calentador que se encuentra en la Caja empalmadora para calentar el protector y hacer que este se encoja hasta pegarse por completo a la Fibra, reforzándola así. [Fig. 5.9]

Los protectores termorretráctiles que pueden ser usados con este calentador son FP-3M.

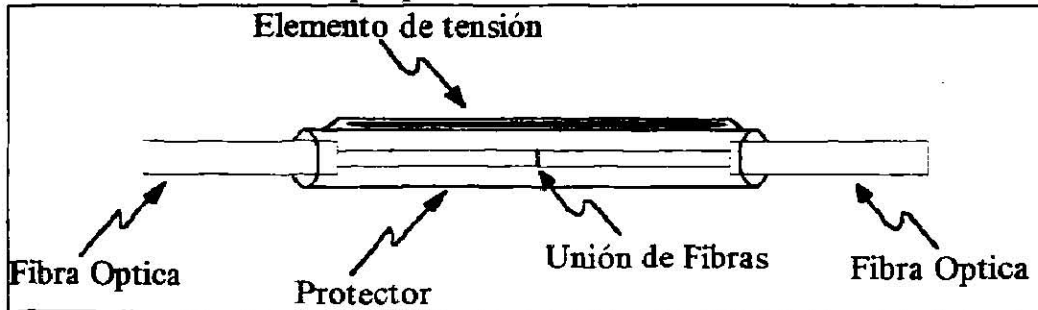


Fig. 5.9 Protector utilizado en el empalme de fibras.

1. Deslice el protector termorretráctil, que previamente habrá sido insertado en las fibras, hacia el centro de la posición empalmada.
2. Abra la cubierta del calentador.
3. Introduzca el protector termorretráctil dentro del calentador. Cierre la cubierta del calentador.
4. Pulse el interruptor "HEAT" y verifique que la lámpara indicadora de calor está encendida.
5. Cuando la funda haya encogido completamente, la lámpara indicadora de calor se apagará y sonará un zumbador. El reforzamiento toma aproximadamente 2 minutos y medio.

5.3.5 Indicación de Alarma

Cuando ocurre cualquier condición anormal de funcionamiento, suena un zumbador de advertencia durante unos 2 segundos y el monitor visualiza las condiciones anormales como se especifica en la tabla 5.8.

Tabla 5.8 Indicación de anomalías.

Mensaje	Posible Causa	Posible Solución
OVER RUN ADELANTE X ATRAS X ADELANTE Y ATRAS Y	<ul style="list-style-type: none"> • Hay polvo en el surco V. • La fibra se ha separado del surco V. • El primer recubrimiento de la fibra no está totalmente separado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Limpie el surco V. • Coloque la fibra otra vez en el surco V. • Corte la fibra otra vez y repita el procedimiento completo.
OVER RUN FOCO CERCA FOCO LEJOS CAMPO ARR.	La fibra no está colocada adecuadamente antes del empalme automático.	<ul style="list-style-type: none"> • El punto de enfoque y la posición de la imagen de la fibra vuelven a sus posiciones correctas automáticamente. • Coloque la fibra en el surco V y luego empiece otra vez desde el ajuste del espacio entre fibras.

Continuación de la tabla 5.8 Indicación de anomalías.

Mensaje	Posible Causa	Posible Solución
OVER RUN ADEL F IZ ADEL F DR	<ul style="list-style-type: none"> • La fibra está cortada muy corta. • La fibra se ha separado del surco V. 	<ul style="list-style-type: none"> • Corte las fibras correctamente. • Coloque la fibra otra vez en el surco.
OVER RUN ATRAS F IZ ATRAS F DR	<ul style="list-style-type: none"> • Durante la operación manual, se ha pulsado el interruptor de límite de la fibra. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vuelve automáticamente al estado "PREPARADO"

Pueden ocurrir ERRORES (1-9), cuando esto suceda se puede verificar la causa de entre las que se listan a continuación. [Tabla 5.9]

Tabla 5.9 Mensajes de ERROR

Mensaje de Error	Posible Causa y Solución
ERROR 1 ERROR DE APROX	<ul style="list-style-type: none"> • El espacio entre fibras no está ajustado correctamente. Coloque las fibras ópticas en los surcos V otra vez y pulse la tecla SET.
ERROR 2 ERROR POSICION	<ul style="list-style-type: none"> • Las fibras están cortadas muy largas. Corte las fibras ópticas otra vez a la longitud adecuada. • Espejos/lentes con suciedad. Limpie los espejos y la lente del objetivo. • Se ve en el monitor el electrodo de descarga. El campo vuelve automáticamente a la posición correcta.
ERROR 3 LUZ INSUFICIENTE	<ul style="list-style-type: none"> • El protector de viento está abierto. Cierre el protector de viento y pulse la tecla SET. • Espejos/lentes con suciedad. Limpie los espejos y la lente del objetivo. • La lámpara está oscura. Consulte al fabricante.
ERROR 4 ERROR DE FOCO	<ul style="list-style-type: none"> • El enfoque o campo de la imagen de la fibra no es correcto. Consulte al fabricante.
ERROR 5 FIBRA MUY SUCIA	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie de la fibra sucia. Quite el revestimiento de las fibras, limpie la superficie completamente y córtelas otra vez. • Ángulo incorrecto del espejo dentro del protector de viento. Consulte al fabricante.
ERROR 6 CAMBIO DE CAMPO ERROR	<ul style="list-style-type: none"> • La imagen de la fibra no puede ser intercambiada. Este error ocurre cuando la operación de intercambio automático de campo no funciona bien. Consulte al fabricante.

Continuación de la Tabla 5.9 Mensajes de ERROR

Mensaje de Error	Posible Causa y Solución
ERROR 7 CORTE MALO	<ul style="list-style-type: none">• Angulo de corte grande. Más de cinco grados de ángulo de corte. Reinicialice e intente cortar otra vez. Puede continuar el trabajo de empalme con el empalmador pulsando la tecla "SET".
ERROR 8 PROBLEMAS ESPEJO	<ul style="list-style-type: none">• Interruptor de limite del espejo roto. Consulte al fabricante.
ERROR 9 CARRO IZQ. MAL	<ul style="list-style-type: none">• El interruptor del limite posterior de la dirección z está roto o no ha sido tocado. Consulte al fabricante.

Mediciones y Pruebas

Durante la implementación y construcción de una red con fibras ópticas, el control de calidad y las pruebas de aceptación son llevadas a cabo para asegurar que las pérdidas por empalme y el desempeño del cable estén dentro de los parámetros requeridos.

El equipo de prueba usualmente requerido consiste de un OTDR, un medidor de potencia óptica y un atenuador óptico.

En este capítulo, primero se hablara de un medidor de potencia óptica y más adelante de un OTDR ANRITSU específicamente el modelo MW910C (utilizado por TELMEX).

6.1 Medidor de Potencia Óptica

Este instrumento mide los niveles y atenuaciones lumínicas en sistemas de transmisión por fibra óptica a ciertas longitudes de onda (entre 800 y 1700 nm).

Este instrumento puede contener diferentes fotoreceptores para las ventanas ópticas de trabajo (850 nm, 1300 nm y 1550 nm) en fibra óptica.

Los detectores (fotodiodos) están integrados de forma fija en los instrumentos. Los fotoreceptores pueden ser del tipo de Germanio o de Arsenurio de Galio e Indio.

La figura 6.1 muestra un Medidor de Potencia Óptica:

Fig. 6.1 Medidor de Potencia Óptica.



6.2 Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo (OTDR)

El OTDR es un aparato de medición, el cual puede considerarse como un radar óptico en una dimensión. Este aparato tiene la ventaja de requerir solamente una parte de la F.O. para efectuar su medición. Algunos ejemplos de los tipos de medición que pueden realizarse con el OTDR son:

- Longitud física de la F.O.
- Índice de refracción (práctico) de la F.O.
- Agrietamientos en F.O.
- Ruptura en F.O.
- Evaluación de empalmes y conectores.
- Atenuación de F.O.
- Evaluación del cable óptico instalado.

La estructura de un OTDR (Fig. 6.2) básicamente se conforma de:

- Una fuente de emisión LASER.
- Un espejo divisor de rayos.
- Un fotoreceptor.
- Un amplificador.
- Un microprocesador.
- Una pantalla.

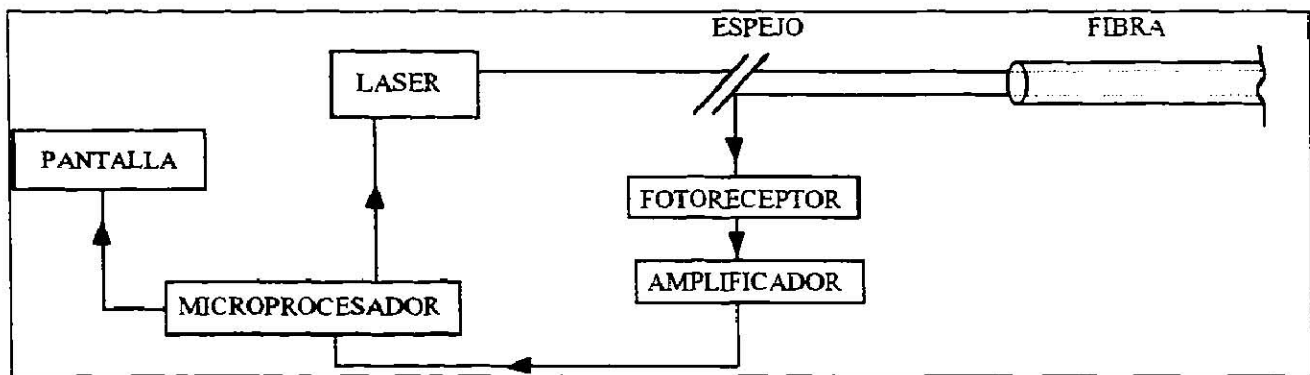


Fig. 6.2 Diagrama a cuadros de los componentes del OTDR

La función básica consiste en inyectar un pulso lumínico, de corta duración y alta densidad, a la fibra óptica pasando previamente por el divisor de rayos el cual hará que este pulso lumínico no interfiera al fotoreceptor. Una vez que el pulso es introducido a la F.O. este viajará por ella sufriendo de constantes retrodispersiones, provocadas estas, por las irregularidades, ondulaciones, curvaturas, empalmes, agrietamientos, etc. Todo lo anterior se refleja en una pérdida de potencia lumínica del pulso causando que dicho pulso se atenúe. Ahora bien, ¿Qué sucede cuando el pulso lumínico llega al final de la fibra o se encuentra con una ruptura?

En ambos casos el pulso regresará con mayor o menor potencia lumínica al divisor de rayos, nuevamente, éste hará que dicho pulso se encamine hacia el fotoreceptor (y no al laser), donde se hará la conversión opto-eléctrica, y se amplifique esta corriente la que pasará al microprocesador el cual procesará la información mostrándose estos resultados en la pantalla.

A continuación se describe el OTDR ANRITSU MW910C

6.3 Descripción de funciones del OTDR ANRITSUMW910C

- **Medición de Largas Distancias con una alta resolución de un metro.**
La distancia máxima que puede ser medida es de 144 Km. Además, debido a que el MW910C también cuenta con un amplio y dinámico rango de alcance, aún tratándose de largas distancias, es posible detectar cualquier rotura o avería aunque no ocasione reflexión de Fresnel. Por otra parte, la resolución de la medición es de sólo un metro. (para todas las distancias).
- **Conmutación de longitud de onda: 1.31 μm y 1.55 μm .**
Se puede realizar una rápida conmutación a través del teclado localizado en el panel frontal. Esta función es muy práctica para la evaluación de las características de ambas longitudes de onda (1.31 μm y 1.55 μm).
- **Control por temperatura del generador de Luz de Diodo Laser**
Los círculos de control de temperatura mantienen al generador de luz de diodo laser a una temperatura constante, con objeto de asegurar que la salida de luz sea completamente estable, así como, facilitar la repetibilidad exacta de los resultados de medición.
- **Función de memoria con una capacidad de almacenamiento hasta de 32 imágenes.**
Por medio de esta función es posible almacenar hasta 32 imágenes, ya sea de los resultados de las mediciones o de cualesquiera de las situaciones que aparezcan representadas visualmente en la pantalla (CRT).
Todos y cada uno de los datos insertados en la memoria pueden ser llamados para su impresión o para hacer algún arreglo, y en caso de requerirse un análisis más minucioso, éste es posible utilizando una computadora, la cual puede recibir directamente de la memoria del MW910C, los datos requeridos para llevar a cabo dicho análisis.
- **Impresora térmica incorporada**
Se puede obtener al momento una copia fiel de los resultados de la medición. Por otra parte, gracias a su función de memoria, es posible realizar otras mediciones durante el lapso que tarda la impresión, permitiéndole ahorrar tiempo en la obtención de datos.
- **Generador de Luz LED (Sólo para unidades A/C)**
El generador de luz LED incorporado al MW910C permite efectuar el diagnóstico o autoverificación de la sección receptora de luz, por lo que facilita la localización de cualquier avería que se presente. Las mediciones de las pérdidas de fibras ópticas también se simplifican al usar el generador de luz LED y algún otro medidor de potencia.
- **Memoria para el Sistema de Medición**
Aún cuando la energía de este instrumento sea desconectada (Off), todos los ajustes y operaciones realizadas pueden ser almacenadas en su memoria (con la ayuda de una batería), y cuando se vuelve a conectar (On), dichos ajustes pueden ser llamados automáticamente.

- **Seguridad**

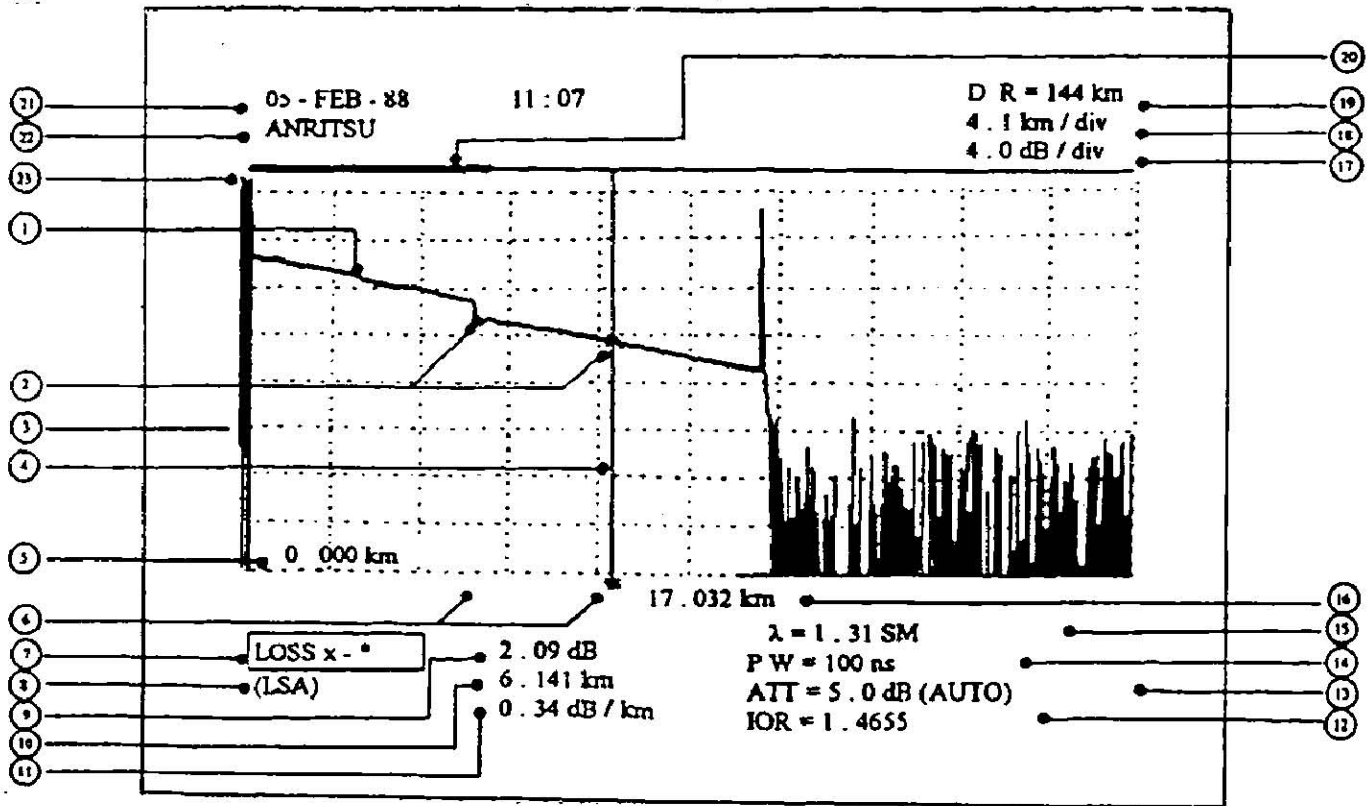
El sistema de seguridad del MW910C impide la emisión de luz laser, a menos que alguna fibra se encuentre insertada en el conector de salida (Output connector), y que el interruptor LASER ON/OFF se encuentre encendido (en posición ON). Como resultado tenemos, que no existe ningún peligro de que los operadores o técnicos se vean dañados durante el manejo de este instrumento.

- **Representación Visual en pantalla (CRT)**

1. Trazo de la forma de la onda.
2. Marcas x y * en el trazo de la onda.
3. Línea gruesa indicando la posición vertical del rango expuesto en la pantalla.
4. Línea del cursor.
5. Distancia desplazada horizontalmente.
6. Posición de las marcas x y *.
7. Representación visual de la medición de pérdidas.
8. Aproximación lineal (Aproximación por cuadrados mínimos "LSA"/ Aproximación por dos puntos "2 POINTS").
9. Pérdidas entre las marcas x y *.
10. Distancia entre las marcas x y *.
11. dB/km. entre las marcas x y *.
12. Ajuste del índice de refracción (IOR).
13. Ajuste del atenuador.
14. Ajuste del ancho del pulso.
15. Longitud de la onda y tipo del cable de fibra óptica utilizado.
16. Distancia entre el conector "OUTPUT" y la posición correspondiente al cursor.
17. Escala del eje vertical.
18. Escala del eje horizontal.
19. Rango de distancia.
20. La longitud de la sección del cable que se está observando, se indica mediante la línea gruesa que se encuentra sobre la línea delgada, que a su vez representa el ajuste de rango de distancia.
21. Fecha y hora.
22. Título.
23. Marca de enmascaramiento.

La figura 6.3 muestra los resultados de una medición en pantalla del OTDR.

Figura 6.3 Pantalla del OTDR

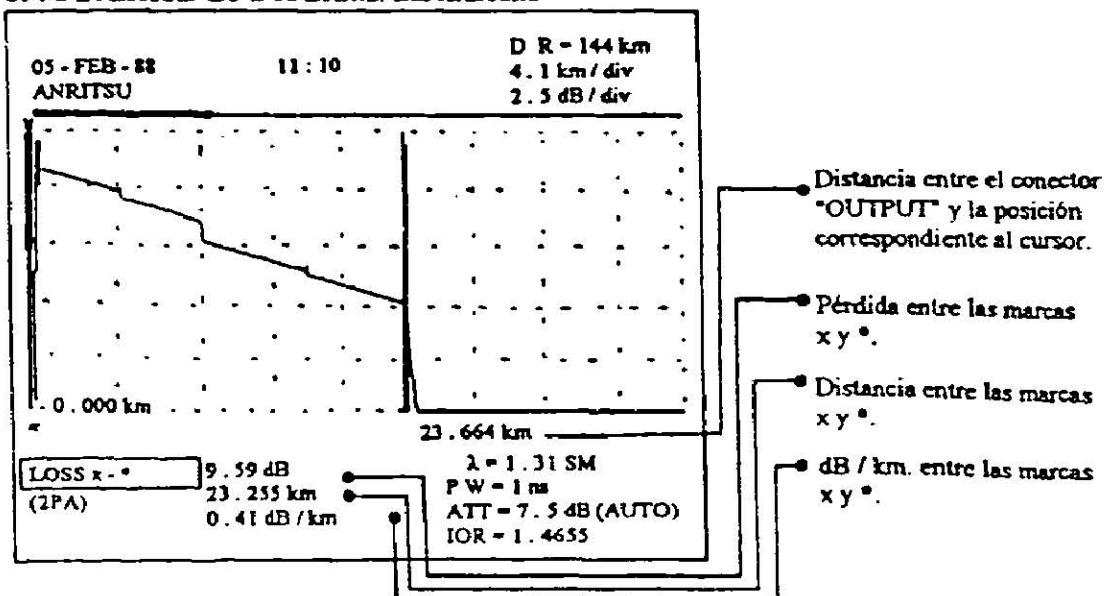


• Medición de Pérdidas/Distancias

La distancia entre el conector "OUTPUT" y la posición correspondiente al cursor, está siempre representada bajo la línea del cursor. Por lo tanto, la distancia hasta la avería o el empalme de la fibra óptica, se mide con sólo ajustar la línea del cursor en el punto de la forma de onda donde se encuentra indicada dicha avería o empalme.

La medición de distancias puede realizarse tanto en el modo "SPLICE", como en el "LOSS", también es posible medir la pérdida entre dos puntos cualesquiera, la pérdida por unidad de longitud en dB/Km. y la distancia; simplemente ajustando la marca x en uno de los puntos y la marca * en el otro.

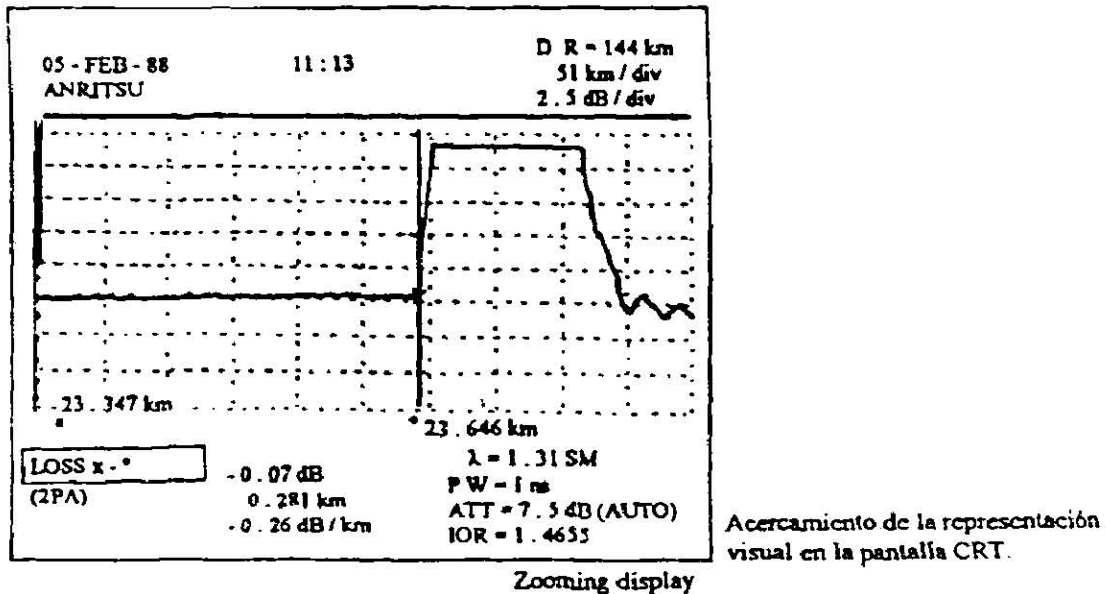
Figura 6.4 Medición de Pérdidas/distancias



Acercamiento y resolución de lectura de sólo 1 metro

Para poder leer con una mayor exactitud (Fig. 6.5), simplemente moviendo la línea del cursor hasta la posición especificada y usando la tecla "H-ZOOM IN" (para ajustar el instrumento de 25 m/div o 50 m/div), es posible obtener una resolución de lectura de tan sólo un metro. Debido a que esta selección es independiente al rango de distancias, se puede utilizar la función de desplazamiento horizontal para mediciones, con una resolución de hasta un metro, aún tratándose de distancias de 144 km.

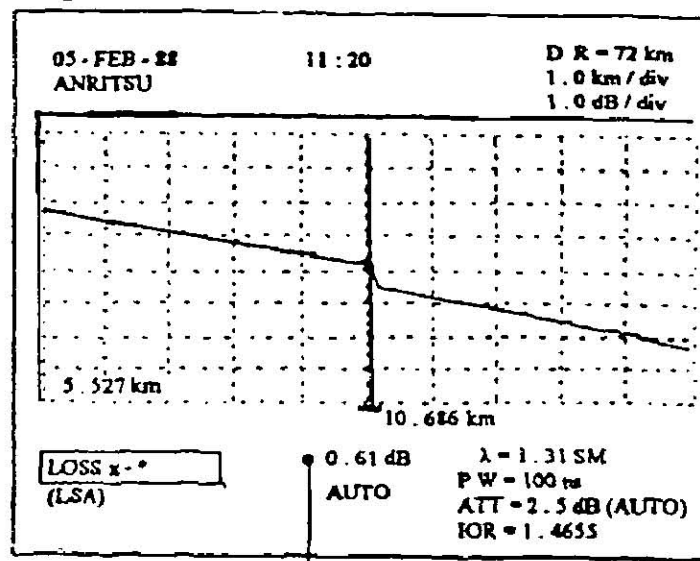
Figura 6.5 Acercamiento y resolución de lectura de sólo 1 metro



- Medición de las pérdidas de empalme

Para medir las pérdidas de empalme (Fig. 6.6), se ajusta la marca * en el punto de empalme representado en el CRT, a continuación ajuste en el trazo las dos x que se encuentran localizada antes y después del punto de empalme.

Figura 6.6 Pérdidas del empalme



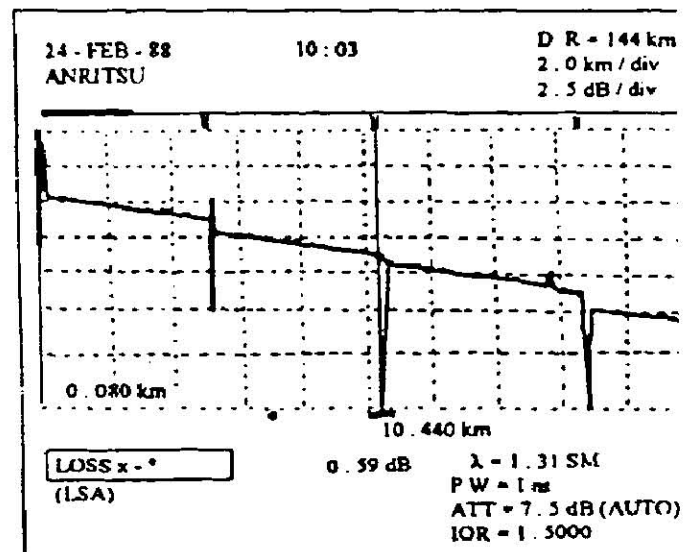
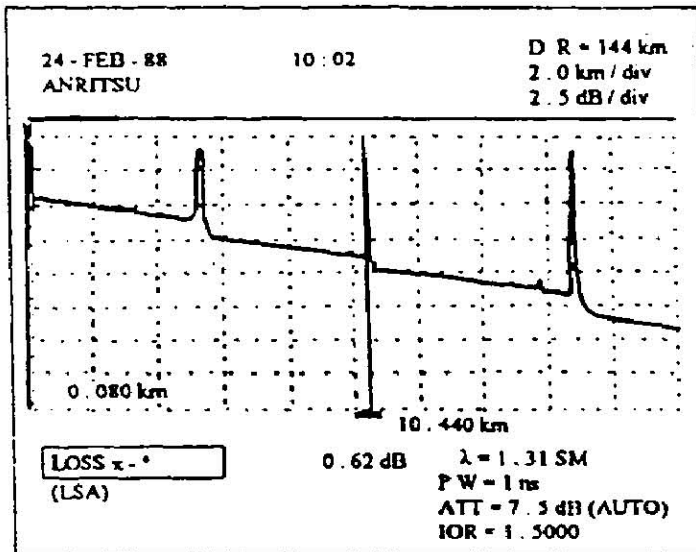
- **Enmascaramiento Óptico**

La distorsión de la forma de la onda causada por la reflexión de Fresnel, representa un error sumamente significativo en la medición de las pérdidas de empalme; pero el uso de la función de Enmascaramiento Óptico de este OTDR facilita enormemente la medición de las pérdidas de empalme.

Figura 6.7 Medición de pérdidas con y sin enmascaramiento óptico.

Gráfica sin enmascaramiento óptico

Gráfica con enmascaramiento óptico



- **Medición automática (AUTO) de la pérdida de empalme**

Utilizando este método es posible realizar la medición de las pérdidas de empalme, sin tener que ajustar individualmente las cuatro marcas. Primero se ajusta la marca * en el punto de empalme, luego se presiona la tecla "AUTO/MANUAL" con objeto de cambiar el funcionamiento del instrumento, de la forma Manual a la Automática. Con esto, las cuatro marcas se ajustarán automáticamente a posiciones constantes. A continuación, mediante una aproximación por cuadrados mínimos, se calcula y se representan visualmente las pérdidas de empalme entre las dos marcas x que se encuentran antes de la marca *, así como las pérdidas de las dos marcas y localizados después de la marca *.

Bibliografía

- *Fiber Optics*
Robert J. Hoss / Edward A. Lacy Prentice Hall 2ed.
- *Fibras Ópticas y Técnicas de Medición*
Seminario de Ingeniería (Intelmex)- Verano 1994
- *Fiber Optic Communications*
Lynne D. Green CRC Press 1993

