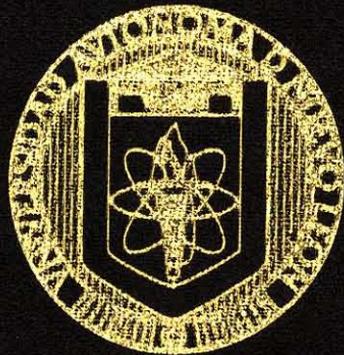


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



INTRODUCCION A LAS FIBRAS OPTICAS

TESINA
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
ING. EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA
ANTONIO DIAZ NAVA

CD. UNIVERSITARIA

MARZO DE 1998

T
TK510
.59
D53
1998
c.1



1080097023

T
TK5103
59
D53
1998



PROLOGO

La presente obra tiene como finalidad, presentar una visión panorámica de lo que es, hoy en día, el mejor medio de conducción en el campo de las telecomunicaciones.

Las fibras ópticas se presentan en la presente obra, de una manera general en cuanto a conceptos fundamentales, teoría básica, fabricación, clasificación, uniones y algunos tipos de conectores, sin considerar las complicadas demostraciones matemáticas. Esperando que el lector adquiera un amplio y sencillo panorama de este medio de conducción de señales luminosas.

DEDICATORIAS

Y

AGRADECIMIENTOS...

A Dios Todopoderoso:

Por prestarme la vida y darme salud,
perseverancia y conocimiento
a lo largo de mi
carrera como ESTUDIANTE.

A mis padres:

Profr. Edilberto Díaz Díaz de León y
Ma. Del Carmen Nava Barragán

Por haberme dado la oportunidad
de poder culminar mis estudios,
ya que de no haber contado con su apoyo y sus consejos
hubiera sido difícil lograrlo.

También quiero darles las gracias por querer hacer de mí
un hombre de bien
y además inculcarme con su ejemplo
que no hay otro camino para lograr lo que se quiere,
mas que con el trabajo y el esfuerzo diario.
... Esa es mi herencia.

DIOS LOS BENDIGA..

A mi esposa:
Sra. Selene Serrano de Díaz

Que durante el transcurso de mi carrera
supo quererme, amarme y comprenderme
brindándome siempre todo el cariño y apoyo
durante los momentos difíciles en los cuales la necesité,
y que al final,
tubo su recompensa...
mis hijas: Alma Guadalupe, Karla Selene y YO...

T. Q. M.

A mis hermanos:

Edilberto Díaz Nava
Araceli Díaz Nava
Carlos Díaz Nava
José Adolfo Díaz Nava

Que al igual que ellos,
supimos hacer algo bueno de nuestra vida.

A la Familia Tapia Díaz,
en especial a mi Tía Rebeca Díaz.
Ya que ellos fueron los que me abrieron
las puertas a esta Ciudad,
y a esta carrera.
Gracias por ese apoyo moral y
económico.

Que Dios les pague...
Siempre agradecido.....

A mis maestros:

Por sus enseñanzas y consejos
a lo largo de mi trayectoria como estudiante,
gracias a ellos he podido salir adelante ,
y así terminar una
CARRERA PROFESIONAL.

A todos mis amigos y compañeros:

Por el apoyo y amistad
brindados durante toda mi vida de
ESTUDIANTE.

A TODOS. MIL GRACIAS...

INDICE

	Pg.
CAPITULO I.- INTRODUCCION	1
CAPITULO II.- GENERALIDADES	2
2.1.- Antecedentes históricos.....	2
2.2.- Presentación (Definición)	3
2.3.- Ventajas	4
2.3.1.- Capacidad de transmisión	4
2.3.2.- Atenuación	5
2.3.3.- Distancia entre repetidores	6
2.3.4.- Inmunidad a interferencia y diafonía	6
2.3.5.- Otras ventajas	7
2.4.- Desventajas de las fibras ópticas	7
CAPITULO III.- TEORIA DE LAS FIBRAS OPTICAS	8
3.1.- Fundamentos de operación	8
3.2.- Modos de propagación	8
3.2.1.- Fibras multimodo	9
a) De índice escalonado.....	9
b) De índice gradual	9
3.2.2.- Fibras monomodo	10
3.3.- Parámetros de la fibra óptica	11
3.3.1.- Índice de refracción (N)	11
3.3.2.- Apertura numérica (NA)	12
3.3.3.- Atenuación	13
a) Absorción intrínseca	13
b) Absorción extrínseca.....	13
3.3.4.- Dispersión	14
a) Dispersión modal	14
b) Dispersión material.....	15
c) Dispersión de la guía de onda	15
3.3.5.- Ancho de banda	15
CAPITULO IV.- TIPOS Y METODOS DE FABRICACION DE LA FIBRA OPTICA	17
4.1.- Fibras de vidrio	17

4.2.- Fibras de vidrio con revestimiento de plástico	18
4.3.- Fibras plásticas	18
4.4.- Fabricación de fibras ópticas.....	18
4.4.1.- Método MCDV	19
4.4.2.- Método de OCVD	19
4.4.3.- Método VAD.....	20
4.4.4.- Método de fusión directa o de doble crisol	20
4.5.- Estirado y acabado final de la fibra óptica.....	21

CAPITULO V.- EMPALMES, CAJAS Y CONECTORES 23

5.1.- Uniones de las fibras ópticas	23
5.2.- Pérdidas extrínsecas e intrínsecas	23
5.3.- Empalmes	26
5.3.1.- Empalmes mecánicos	26
a) Método de varillas.....	26
b) Método de ranura en V	26
c) Método elastomérico.....	27
d) Otros métodos	27
5.3.2.- Empalmes por fusión	27
5.4.- Máquinas para empalmar fibras opticas.....	28
5.5.- Cajas de empalmes	31
5.5.1.- Caja de empalme cilíndrica	31
5.5.2.- Caja de empalme rectangular	32
5.6.- Conectores	34
5.6.1.- De férula o casquillo	34
5.6.2.- Bicónicos	35
5.6.3.- De excentricidad ajustable	35

CAPITULO I

INTRODUCCION

Los sistemas de comunicación basados en el uso de fibras ópticas han revolucionado el concepto tradicional de las telecomunicaciones, debido a que es posible transmitir señales luminosas en lugar de señales eléctricas con una gran capacidad de transporte de información.

En la actualidad se construyen redes de telecomunicaciones con aplicaciones de voz, datos y vídeo utilizando fibras ópticas.

Los sistemas de comunicación basados en cables de fibras ópticas ofrecen ventajas sobre otras basadas en cables de cobre:

- 1).- Alta capacidad de información.
- 2).- Dimensiones más pequeñas.
- 3).- Menor peso y tiempo de instalación.
- 4).- Baja atenuación.
- 5).- Grandes distancias entre repetidores.
- 6).- Bajo costo -precio benéfico-
- 7).- Inmunidad a campos electromagnéticos.

Las fibras ópticas pueden ser también una solución a muchos de los problemas que se presentan en otras frecuencias que viajan a través de los medios de transmisión atmosféricos.

CAPITULO II

GENERALIDADES

2.1.- Antecedentes históricos:

La utilización de la luz como transportadora de señales de comunicación fue estudiada hace mas de cien años por Alejandro Graham Bell, inventor del teléfono. Bell utilizó un espejo, un detector de selenio y luz solar para demostrar que la voz humana podía ser transmitida a través de la misma. Su sistema, conocido como fotó-fono, consistía en hacer llegar la voz hasta el detector que estaba en un espejo, cuando las ondas del sonido llegan al espejo, producen una vibración que es capturada inmediatamente por el detector de luz como una vibración de energía luminosa.

En su sistema opto-electrónico, Bell se enfrentó con dos problemas: el primero, era que la luz blanca (solar) que estaba utilizando, no era la adecuada, ya que por su alta variación de frecuencias no se lograba ni buena modulación del sonido, ni buena nitidez; el segundo problema, era que el aire no era el medio mas adecuado para lograr la transmisión, en virtud de que las partículas contenidas en el aire absorben la luz originando pérdidas de información.

En 1854, Jhon Tyndall demostró el principio de la reflexión total interna; conduciendo la luz en una cascada de agua, observó que los rayos de luz viajando a través del agua no escapan hacia el aire sino hasta que exceden a un ángulo crítico.

El principio de operación de los sistemas de telecomunicaciones hoy en día es en esencia el mismo. Ante la creciente demanda, y ante la necesidad de hacer mas eficientes las comunicaciones, las compañías telefónicas se convirtieron en pioneras, al ser las primeras en experimentar con cables de fibra óptica para la transmisión de señales. Las fibras ópticas existentes hasta 1966 tenían pérdidas superiores a los 1,000 dB/Km.

En 1970 tres físicos de la Corning Glass Works, removiendo las impurezas en los materiales con que se fabrican las fibras ópticas, lograron que éstas tuvieran pérdidas menores a los 20 dB/Km. Actualmente se producen fibras con pérdidas del orden de 0.15 dB/Km., a una longitud de 1,550 nm, siendo el promedio de 1 dB/Km.

Desde el año 1976 Siemens esta utilizando en Múnich el tramo experimental de 2.1 Km., para la transmisión de señales telefónicas, de T.V. y de video-teléfono. En el año 1977 Siemens instaló en Berlín el primer trayecto de fibra óptica para el correo Federal Alemán. El CNRN, de Ginebra (Suiza), desde 1978 tiene en servicio un cable de conductores de fibra óptica a prueba de radiaciones. A partir de esa época se comenzó a utilizar la nueva tecnología a nivel mundial.

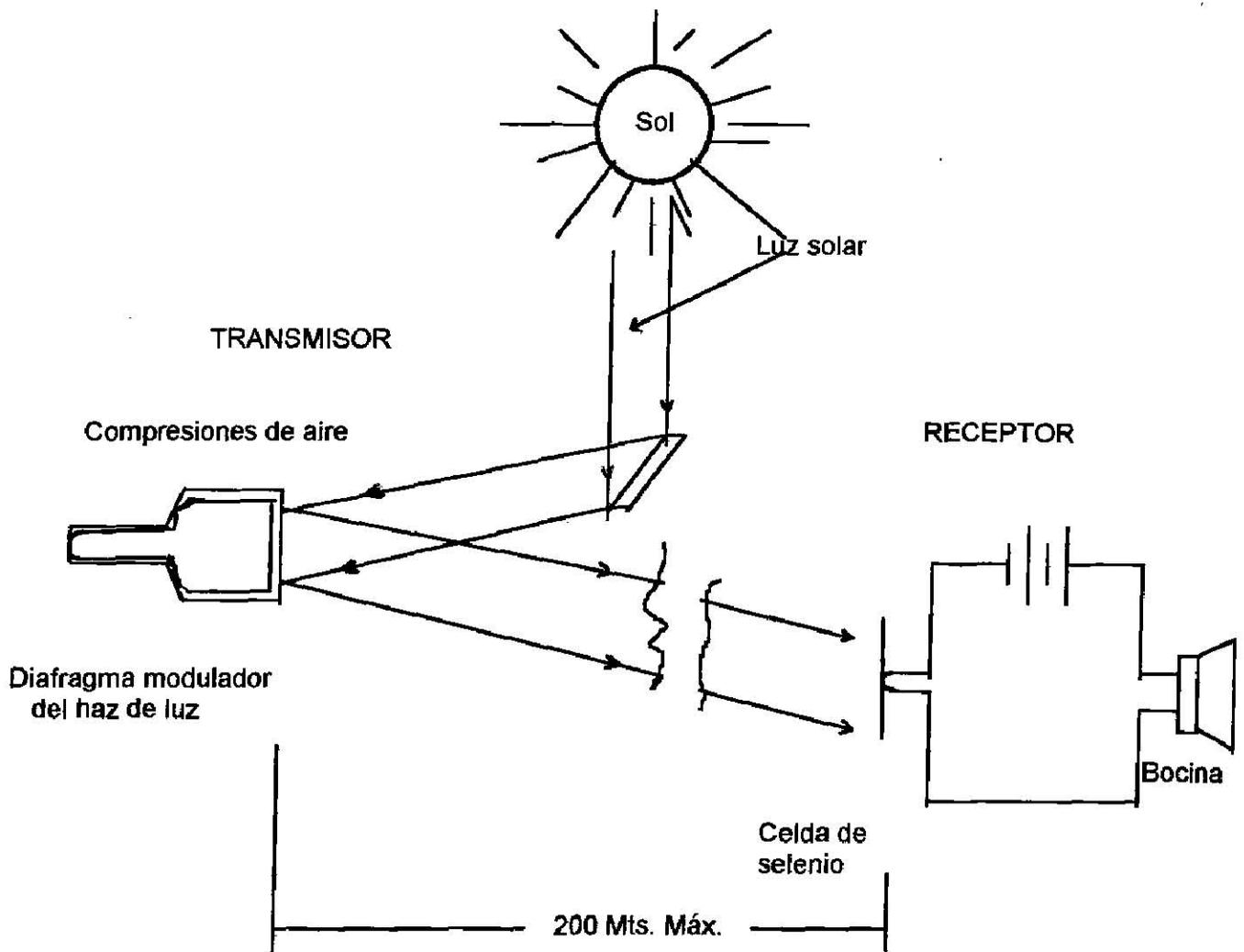


Figura 1.1 Experimento de Graham Bell

2.2.- Presentación (Definición).-

Las fibras ópticas son hilos fabricados con vidrio ó plástico cristalino que son capaces de conducir un haz luminoso cuyas características se describen a lo largo de todo el texto.

La comunicación por medio de fibras ópticas es un sistema de comunicaciones que hace posible enviar señales luminosas en lugar de señales eléctricas con una alta capacidad de transmisión en el ancho de banda infrarrojo y de muy bajas atenuaciones.

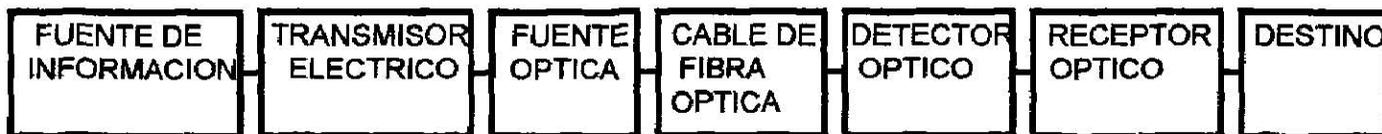
Un sistema de comunicación básico consiste de un transmisor o modulador enlazado a la fuente de información; al medio de transmisión y a un receptor o demodulador en el punto de destino. Para aplicaciones a grandes distancias estos sistemas requieren de repetidores o amplificadores de línea, a intervalos, para eliminar la atenuación de la señal e incrementar su nivel antes de que la transmisión continúe hacia su punto de destino. Fig. 2.2 (a).

Para comunicaciones por fibras ópticas el sistema se muestra en el diagrama de la Fig. 2.2 (b), en donde la fuente de información provee una señal eléctrica al transmisor, que excita una fuente óptica para dar modulación a la portadora de la onda de luz. La fuente óptica que provee la conversión electro-óptica puede ser un semiconductor láser o un diodo emisor de luz (led).

El medio de transmisión consiste de un cable de fibra óptica y el receptor consiste de un detector óptico que excita una etapa eléctrica y provee demodulación de la portadora óptica. Para la detección de la señal óptica o de la conversión óptico-electrónica, son utilizados fotodiodos p-n, p-i-n, o avalancha; y en algunas ocasiones, fototransistores.



Fig. 2.2(a).- Sistema básico de comunicación.



Nota.- A la fuente óptica se le conoce como FOTOEMISOR, y al detector óptico como FOTODETECTOR.

Fig. 2.2(b).- Sistema de comunicación por fibra óptica.

2.3.- Ventajas

2.3.1.- Alta capacidad de transmisión de información.

Las fibras ópticas pueden transmitir grandes volúmenes de información a altas velocidades y permitir la conversión simultanea de un gran número de usuarios, esto debido a que su ancho de banda es propiamente infinito y solo se encuentra limitado por las capacidades del transmisor y receptor.

Tipo de cable	Capacidad de transmisión de información	Conversaciones simultaneas teóricas.
Par sencillo	1 MHz - Km.	300
Coaxial	100 MHz - Km.	30,000
F. O.	100 GHz - Km.	30,000,000

(*) Esto ha sustituido al antiguo concepto del ancho de banda, porque en las F. O. el ancho de banda es propiamente infinito y sólo se encuentra limitado por las capacidades del transmisor y el receptor.

2.3.2.- Atenuación.

La atenuación es la pérdida de potencia óptica a medida que la luz viaja a través de la fibra óptica. La atenuación varía con la longitud de onda de la luz, por lo que, para observar el comportamiento de la atenuación de las fibras ópticas, se requiere una gráfica de dB/Km., contra nm (longitud de onda).

Una característica importante de la atenuación de las fibras ópticas, es que es constante para todas las frecuencias de modulación dentro del ancho de banda.

La atenuación en una fibra óptica tiene dos causas principales:

Dispersión Absorción

La **dispersión** es debido a imperfecciones en el material, esto ocasiona la reflexión de la luz en todas direcciones. Los factores que contribuyen a esta dispersión son los siguientes:

- Dispersión de Rayleigh
- Fallas de homogeneidad e imperfecciones
- Irregularidades en el diámetro del núcleo
- Curvaturas abruptas

Dispersión de Rayleigh

Cuando la luz se propaga a través de un material no completamente homogéneo, es decir, que no tenga un índice de refracción constante, la luz puede verse en direcciones distintas a la dirección de propagación. La luz emitida es llamada la luz de Tyndall.

Curvaturas

Las fibras tienen un radio mínimo de curvatura, una curva muy cerrada dañará el vidrio. Las curvas tienen otros dos efectos:

a.- Incrementan ligeramente la atenuación. Las curvas cambian los ángulos de incidencia y reflexión lo suficiente para que los modos de orden mayor se pierdan, ya que no alcanzan la condición para la reflexión total. Esta pérdida será notable si el radio de curvatura es menor de 5 a 10 mm.

b.- Las curvas decrementan la fuerza de tensión de la fibra.

Microcurvaturas

Las pérdidas por microcurvaturas son resultado de pequeñas variaciones en la interface núcleo-revestimiento, estas microcurvaturas pueden causar que modos de orden mayor se reflejen a ángulos que no permiten posteriores reflexiones. Las microcurvaturas se presentan por ejemplo con las variaciones de temperatura, cuando la fibra y el revestimiento primario tienen diferentes coeficientes de dilatación térmica.

La **absorción**, es el proceso por el cual las impurezas contenidas en la fibra absorben energía óptica y la disipan en forma de calor. La absorción del material resulta de la excitación molecular y electrónica de las partículas de impurezas dentro de la fibra. Si la longitud de onda iguala a la frecuencia resonante de un cable molecular de impureza, la molécula vibrará; la energía requerida para causar esta vibración se toma de la luz y de esta manera se pierde señal óptica. Los factores que contribuyen a la absorción son:

- absorción IR (infrarrojo)
- absorción OH (hidróxido, humedad)
- absorción UV (ultra violeta)
- iones metálicos
- daños por tracción, instalación

2.3.3.- Distancia entre los repetidores.

En la comunicación por fibras ópticas el número de repetidores es menor.

- En un par a la velocidad máxima de transmisión de 2 Mbits/seg. Se requieren repetidores cada 1.5 a 4 Km.
- En un coaxial a la velocidad de transmisión de 140 Mbits/seg. Se requieren repetidores cada 4.65 Km.
- En una fibra óptica a una velocidad de transmisión de 2 Mbits/seg. Se requieren repetidores cada 9 Km..
- En una fibra óptica a la velocidad de transmisión de 140 Mbits/seg. Se requieren repetidores cada 25 Km.

2.3.4.- Inmunidad a interferencia y diafonía

Las fibras ópticas forman una guía de onda dieléctrica y libre de interferencia electromagnética (EMI); libre de interferencia de radiofrecuencia (RFI) y libre de efectos transitorios de conmutación (EMP).

La operación de un sistema de fibra óptica no es afectada por la transmisión en un medio eléctricamente ruidoso y el cable de la fibra no requiere protección de EMI. El cable no es susceptible a descargas eléctricas. La diafonía es despreciable aun y cuando sean cableadas muchas fibras juntas

2.3.5.- Otras ventajas

- **Costo.-** Mientras que los costos de producción de los cables par y coaxiales tienden a incrementarse; el costo para producir fibra óptica disminuye debido al perfeccionamiento de las técnicas para producirlas.
- **Dimensiones.-** Un cable de 2,400 pares, con diámetro externo de 80 mm., puede ser sustituido por una fibra óptica con un diámetro externo de 3.5 mm.
- **Peso y tiempo de instalación.-** Un cable multipar de 3.5 Km., de largo pesa aproximadamente 20,650 Kg y se requieren de 800 horas-hombre para instalarlo; un cable coaxial para la misma capacidad y longitud pesa aproximadamente 18,620 Kg y requiere de 400 horas-hombre; en cambio, un cable de fibra óptica pesa 350 Kg y se necesitan de tan solo 88 horas-hombre para su instalación.
- Las fibras ópticas son flexibles, permiten la propagación a muy altas tensiones sin necesidad de transformadores que aíslan la corriente; también son inmunes al ruido, no radian, son altamente resistentes a la intrusión e insensibles a interferencias de campos electromagnéticos causados por medios externos.

2.4.- Desventajas.

Las desventajas de las fibras ópticas son realmente pocas y se refieren a su manejo, al tipo de conectores y a las cajas de empalme utilizadas en su instalación, ya que para ellos se requiere de equipo y personal especializado.

CAPITULO III

TEORIA DE LAS FIBRAS OPTICAS

3.1.- Fundamentos de operación.

El mecanismo de la transmisión de la luz a lo largo de una fibra óptica se basa en la reflexión total interna que ocurre cuando una luz emerge de un medio denso a uno menos denso. Su principio de operación se explica físicamente a partir de la teoría electromagnética y en la óptica geométrica que describe el comportamiento del haz de luz dentro de la fibra.

Las fibras ópticas son filamentos, generalmente de forma cilíndrica, que constan de un núcleo y un revestimiento de plástico, donde el núcleo es la sección central de la fibra a través de la cual viaja el haz de luz; y el revestimiento, es la capa que rodea al núcleo, y su función principal es reflejar la luz hacia el centro de la fibra, atrapándola dentro del núcleo.

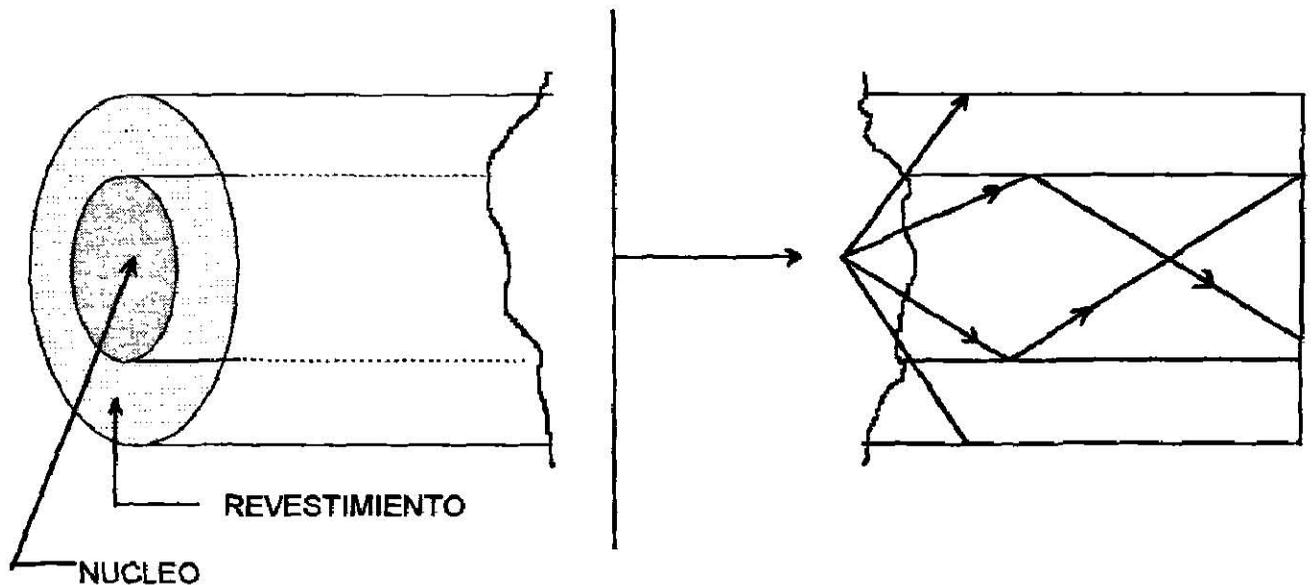


Fig. 3.1.- Diseño y funcionamiento de la F. O.

3.2.- Modos de propagación.

Modo es un concepto físico-matemático que describe la propagación de las ondas electromagnéticas a través del medio, en otras palabras, se refiere a los caminos ópticos que sigue la luz dentro de la fibra.

El modo de propagación en una fibra óptica se determina básicamente de acuerdo a la frecuencia con la que se transmite la onda electromagnética a través de la fibra. Otros factores que se deben de considerar son: el diámetro del núcleo y la variación del índice de refracción. Sin embargo el tipo de fibra que se trate también es otro factor indispensable.

Si en una fibra existe solo un modo de propagación, se dice que es de tipo **Monomodo**, y si en la fibra existen n modos de propagación, se dice que es del tipo **Multimodo**.

3.2.1.- Fibras Multimodo.

Las fibras multimodo pueden ser de índice escalonado y fibras de índice gradual.

a).- Fibras de índice escalonado.

El núcleo de estas fibras esta constituido de un índice de refracción constante, rodeado por un revestimiento, el cual también posee un índice de refracción. El índice de refracción del revestimiento siempre es menor que el índice de refracción del núcleo. En este caso si existe dispersión modal.

La reflexión total interna que ocurre dentro de la fibra es producida por la diferencia entre los índices de refracción del núcleo y el revestimiento.

Para que la reflexión dentro de la fibra sea total, los rayos de luz deben reflejarse a un determinado ángulo, llamado ángulo crítico, ó, a ángulos mayores que este.

Este ángulo crítico esta dado por el inverso del seno de $(1 - \text{el diferencial de los índices de refracción})$, la diferencia de los índices de refracción de las fibras utilizadas en comunicaciones oscila entre 0.007 y 0.02.

Es recomendable procurar diferencias pequeñas entre los índices de refracción, con el objeto de obtener ángulos críticos grandes que vayan casi paralelos al eje, y evitar con ello pérdidas en la capacidad de información de la fibra.

b).- Fibras de índice gradual.

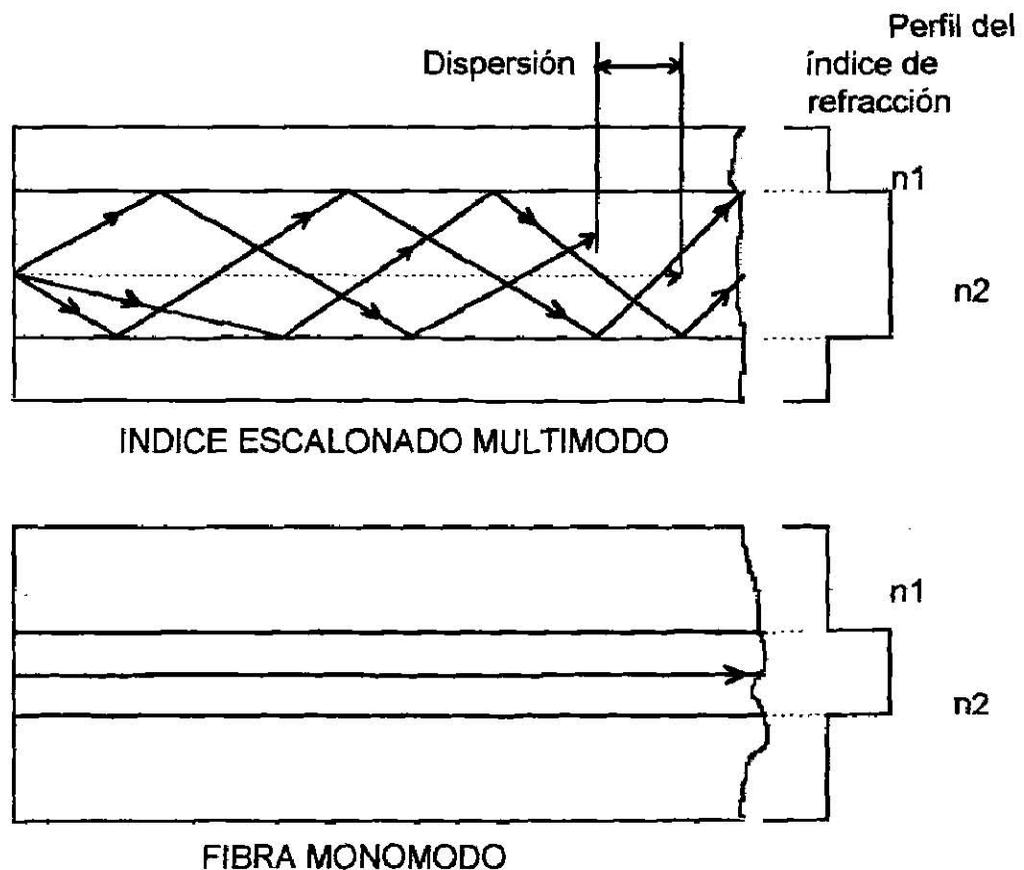
En este tipo de fibras el índice de refracción del núcleo va decreciendo gradualmente en función del radio, hasta llegar al revestimiento. Debido a que el índice de refracción del núcleo decrece, los rayos de la luz se van flexionando gradualmente regresando al centro del núcleo.

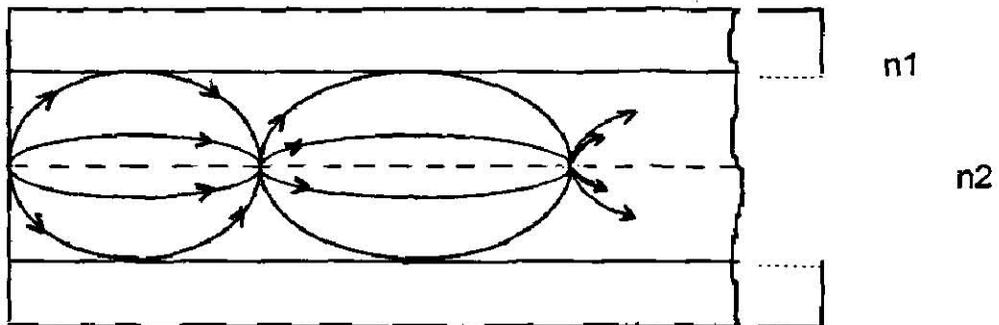
En las fibras de índice escalonado hay un pequeño retardo entre los rayos que inciden en la fibra paralelos al eje y aquellos que lo hacen con un cierto ángulo, debido a la diferencia de distancia recorrida. Para solucionar este problema se diseñaron fibras con un núcleo cuyo índice de refracción vaya decreciendo gradualmente desde el eje de la frontera con el revestimiento, provocando que las sucesivas refracciones hacia el eje del núcleo hagan que ambos rayos coincidan en tiempo. Es cierto que la trayectoria que recorren los rayos que inciden con diferentes ángulos es más larga, pero debido a que su velocidad es mayor en las regiones donde el índice de refracción es menor, compensa al recorrido haciendo que lleguen casi al mismo tiempo que los rayos axiales.

3.2.2.- Fibras Monomodo.

En estas fibras el índice de refracción del núcleo es constante y tiene un solo modo de propagación, pues permite que la luz viaje a través de una sola trayectoria a lo largo del núcleo evitando la dispersión modal.

Como característica física principal es que las dimensiones del núcleo son mucho menores que el revestimiento. En la siguiente figura se muestran los diferentes modos de las fibras ópticas.





INDICE GRADUADO MULTIMODO

Fig. 3.2.- Tipos de propagación de la fibra óptica.

3.3.- Parámetros de la fibra óptica.

3.3.1.- Índice de refracción (N).

Una de las características de cualquier material ópticamente transparente, es la velocidad con la cual viaja la luz en dicho material; esto se caracteriza por una constante matemática llamada índice de refracción.

El índice de refracción es la razón de la velocidad de la luz en el vacío (C) para la velocidad de la luz en ese material (V). Expresado en forma matemática nos queda:

$$N = \frac{\text{VELOCIDAD DE LA LUZ EN EL VACIO (C)}}{\text{VELOCIDAD DE LA LUZ EN OTRO MEDIO (V)}} ; N = C/V$$

La siguiente tabla nos muestra los índices de refracción de distintos gases, líquidos y sólidos:

MEDIO	N
AIRE	1.000294
HELIO	1.000036
HIDROGENO	1.000132
AGUA	1.333
ALCOHOL	1.361
DIAMANTE	2.419
AMBAR	1.550
SILICE	1.458
FUNDIDA	

3.3.2.- Apertura numérica.

La apertura numérica es un parámetro que indica el ángulo de aceptación de la luz en la fibra, o simplemente, la facilidad con que la fibra permite que la luz pase a través de ella. Solo la luz inyectada en la fibra a ángulos mayores que el ángulo crítico serán propagados.

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

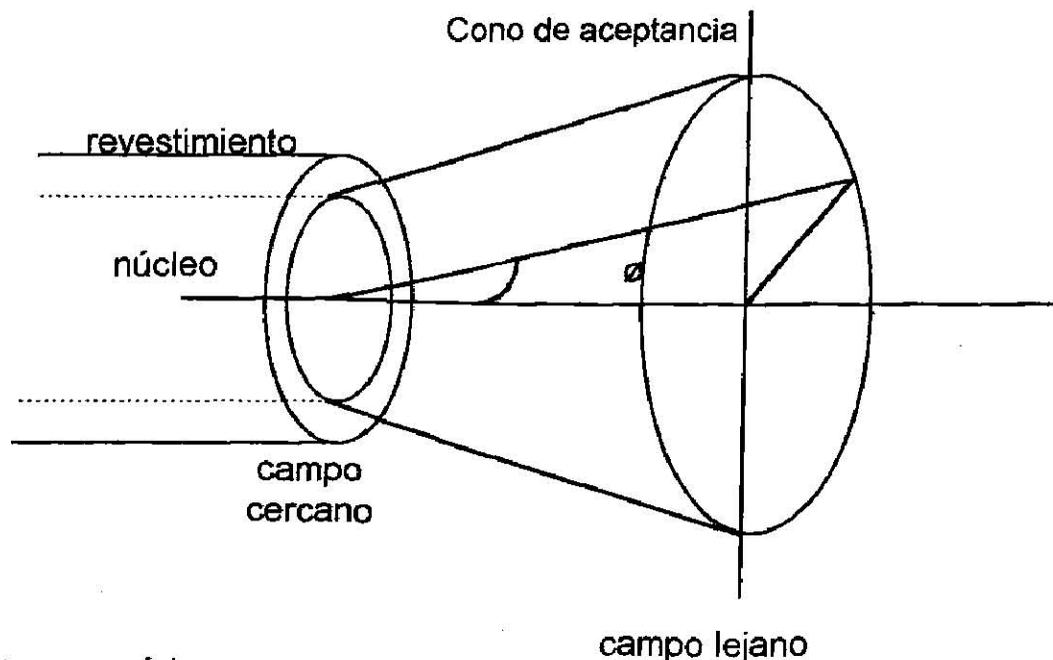
Aperturas numéricas muy grandes se relacionan con una alta eficiencia para su acoplamiento, permitiendo sólo pérdidas bajas en los empalmes, las conexiones y en la potencia.

La apertura numérica relaciona los índices de refracción del núcleo y del revestimiento:

$$NA = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

En general, fibras con un ancho de banda grande tienen un NA pequeño; estas permiten menos modos; menos modos significa menos dispersión y así mayor ancho de banda.

El ángulo máximo que puede tener se le conoce como máximo ángulo de aceptación, ya que si excede este valor, dejará de ocurrir la reflexión total interna y el haz se refractará en el recubrimiento.



Apertura numérica:
 $NA = \text{Sen } \theta$

3.3.3.- Atenuación.

En la evolución de las fibras ópticas, la atenuación siempre ha representado un serio problema a vencer para obtener una alta calidad en la transmisión de señales.

La atenuación de una fibra se mide en decibeles (dB). Un decibel es 10 veces el logaritmo de la relación de dos niveles de potencia de entrada a salida. Este efecto se debe a los factores principalmente: a la absorción (conversión de la luz en calor) y a la dispersión. La absorción se debe a impurezas químicas y la dispersión a propiedades del material. La atenuación por absorción se divide a su vez en absorción intrínseca y absorción de impurezas extrínsecas.

a).- Atenuación por absorción intrínseca.

La atenuación por **absorción intrínseca** ocurre cuando un material en estado normal es considerado perfecto. Un ejemplo de ello es el vidrio, que se considera un material perfectamente transparente. Sucede que los vidrios transparentes representan fuertes bandas de absorción óptica en el ultravioleta y en el infrarrojo, y residuos de la misma presentan mayores efectos en la región de los 600 a los 1500 nm., de longitud de onda de transmisión.

En el ultravioleta la absorción se relaciona con las resonancias atómicas del oxígeno y varía de acuerdo a la composición del vidrio.

b).- Atenuación por absorción de impurezas extrínsecas.

La absorción de impurezas se debe al tipo de impurezas que se van introduciendo en el vidrio, en su mayoría iones metálicos como hierro, cobalto y cromo.

Cabe mencionar que el agua también es otra impureza en su forma de iones OH (hidróxido), pues dichos iones contribuyen con picos de absorción.

El valor mínimo absoluto de atenuación al que se ha llegado es de 0.1 db/km., con pérdidas intrínsecas de absorción prácticamente despreciables.

La atenuación por **dispersión** se divide también en: dispersión intrínseca; atenuación por inhomogeneidades en el vidrio y dispersión por aberración.

a.- Atenuación por dispersión intrínseca.

Cuando algunos rayos de luz dejan de ser guiados por la fibra, y se pierden a lo largo de su trayectoria, se dice que hay pérdidas de radiación o dispersión.

b.- Atenuación por inhomogeneidades en el vidrio.

Se debe a variaciones del índice de refracción, menores al tamaño de la longitud de onda de propagación. Las causas son fluctuaciones térmicas en la concentración de óxidos en el vidrio.

c.- Atenuación de dispersión por aberración.

Se debe a las variaciones en la distribución radial del índice de refracción.

En el caso de fibras ópticas de índice gradual, este tipo de atenuación no puede ser detectado debido a que las posibles imperfecciones se confunden con el material. En las fibras de índice escalonado sí se detecta y se presenta como una rugosidad entre la frontera del núcleo y el revestimiento. En la fibra monomodo, esta irregularidad es detectable únicamente cuando tiene una longitud de onda especial relacionada con las constantes de propagación del modo fundamental y el que le sigue.

3.3.4.- Dispersión.

La dispersión es otro fenómeno que afecta la transmisión de la señal en las fibras ópticas. Las diferentes velocidades con que viajan las longitudes de onda a través del medio, da origen a este fenómeno.

La dispersión del material es un factor límite en la capacidad de razón del bit. Este efecto se puede reducir utilizando una fuente de luz monocromática como el diodo láser.

La dispersión en las fibras es la que causa limitaciones en el ancho de banda y está regida por tres mecanismos: dispersión intermodal, dispersión del material y dispersión de guía de onda. En conjunto, estos tres fenómenos determinan la dispersión total.

a).-Dispersión modal.

Este tipo de dispersión no se debe al ancho de banda espectral de la fuente que produce la luz, sino al número de modos que viajan dentro de la fibra y a la diferencia de velocidades entre uno y otro.

Para una fibra monomodo, la dispersión modal será igual a cero, en tanto que para una fibra de índice gradual la velocidad de propagación cambia con el tiempo.

b).-Dispersión del material.

Una de las principales razones por la que es necesario hacer un análisis electromagnético y óptico para las fibras ópticas, es porque están hechas en su mayoría de vidrio, y el vidrio es un material dispersivo que cambia su índice de refracción en función de la longitud de onda.

La causa de la dispersión es simple, pues si la longitud de onda varía, hay diferentes velocidades de propagación en el material. Si el ancho espectral de la fuente de luz es infinito, habrá dispersión del material debido a que las señales de diferente longitud de onda tendrán diferentes velocidades de grupo.

c).- Dispersión de la guía de onda.

Este tipo de dispersión es causado por el ancho espectral de la fuente, pues aun permaneciendo constante el índice de refracción, persiste este efecto de dispersión llamado también dispersión intermodal.

3.3.5.- Ancho de banda.

Para determinar el parámetro de ancho de banda de las fibras ópticas, debemos de tomar en cuenta principalmente: el ensanchamiento de los pulsos modal, intermodal y del material; la forma del perfil del índice de refracción; las microdesviaciones que sufre la fibra con el uso y la instalación; y la distribución espectral de la fuente de luz que se utilice.

La figura de dispersión modal, intermodal y del material se pueden determinar controlando la forma de inyección de la luz a la fibra, la forma espectral y la amplitud de la fuente utilizada. El ancho de banda está definido por la siguiente ecuación:

$$AB = \frac{0.44}{\Delta t} \quad (\text{MHz-Km})$$

donde Δt es el ensanchamiento del pulso en nseg.

Una de las características que más interesa en la fabricación de la fibra, es obtener una excitación uniforme de los modos de propagación. Sabemos que los fenómenos de dispersión del pulso de luz provienen de efectos de la guía: modales, intermodales, del material y de fenómenos de transferencia de potencia entre modos originados por imperfecciones en la geometría de la fibra.

Efecto de dispersión modal.-

En este modelo de dispersión, un pulso de Dirac entra al primer proceso distribuyendo su potencia entre todos los modos de la fibra; cada modo llega en un tiempo diferente al final del mismo recorrido, para lo cual se tiene una respuesta " x " para una serie de pulsos que difieren en tiempo.

Efecto de dispersión intermodal.-

También se le conoce como dispersión de guía de onda, y depende del ancho espectral de la fuente.

Si suponemos que todos los modos se excitan de igual manera, la llegada será una serie de impulsos de la misma amplitud; tomando en cuenta el efecto de distribución de potencia en los modos, se puede demostrar que la forma del pulso de salida a una excitación modal se aproxima a una respuesta Gaussiana.

En algunas ocasiones la dispersión intermodal domina por completo a la dispersión material, como en el caso de una fibra de índice escalonado, cuando se usa con un laser.

Efecto de dispersión material.-

Cuando la distribución espectral de una fuente de luz es variable, el pulso de luz inyectado en un solo modo se ensanchará, debido a que la potencia del pulso se distribuirá de acuerdo a la función de variación y cada longitud de onda viajará con una velocidad diferente. La mayoría de las fuentes ópticas se pueden caracterizar por una distribución Gaussiana centrada en la longitud nominal de emisión.

Las técnicas de fabricación de fibras ópticas imponen un ancho de banda límite de aproximadamente 1 GHz por Km.

CAPITULO IV

TIPOS Y METODOS DE FABRICACION DE LA FIBRA OPTICA.

Las fibras ópticas utilizadas en comunicaciones deben tener una estructura y un diseño que permitan su utilización en los más variados ambientes, en múltiples configuraciones y además, deben cumplir con los requerimientos ópticos de transmisión,

Los materiales que conforman las fibras y su proceso de fabricación son factores primordiales para el cumplimiento de todos estos requisitos.

Para la fabricación de las fibras ópticas, deben utilizarse materiales que cumplan con las características mecánicas y ópticas deseadas en la fibra; dicho material debe satisfacer los siguientes requisitos:

- Que pueda ser transformado en fibras largas, delgadas y flexibles.
- Que sea transparente en una longitud de onda particular.
- Se deben escoger materiales compatibles entre sí, pero con pequeñas diferencias en sus índices de refracción.

El vidrio y el plástico son materiales que mejor satisfacen estos requisitos.

La mayoría de las fibras hechas de vidrio están formadas ya sea de cuarzo, silicio,

o bien, de silicatos.

Por otra parte, las fibras de plástico son menos utilizadas, ya que su atenuación es substancialmente más alta que la de las fibras de vidrio; son utilizadas principalmente en transmisión a corta distancia y en ambientes rudos y de mal trato, donde la mayor resistencia radial de las fibras plásticas ofrece una ventaja sobre las de vidrio.

4.1.- Fibras de vidrio.

El vidrio utilizado en la elaboración de las fibras ópticas se elabora fundiendo mezclas de óxidos de metal, sulfuros o selenuros.

El vidrio ópticamente transparente más utilizado en la fabricación de fibras, es el cuarzo. Para producir materiales compatibles con el cuarzo, de índice de refracción ligeramente diferente, se agrega al material flúor o algunos otros dopantes como el B₂O₃, el GeO₂ ó P₂O₅.

La materia prima del cuarzo es el Silicio, que se encuentra abundantemente en la tierra. El vidrio puro es el que se forma de cuarzo también puro, conocido como "cuarzo fundido ". Entre sus propiedades se encuentra que es resistente a la deformación a altas temperaturas -como 1000 grados centígrados- , y a la ruptura por choque térmico, dada su baja expansión térmica; y posee una buena durabilidad química y alta transparencia óptica, tanto en la región visible, como en la infrarroja.

La variedad de las fibras hechas de vidrio disponibles van desde las fibras con núcleos grandes y altas pérdidas (utilizadas en distancias de corta transmisión), hasta las fibras de alta transparencia, núcleo pequeño y bajas pérdidas (transmisión en bajas distancias).

4.2.- Fibras de vidrio con revestimiento plástico.

Se utilizan en transmisiones a corta distancia, donde las pérdidas son tolerables, aprovechando, además, su bajo costo. Su núcleo es de cuarzo y el revestimiento esta hecho de un material polímero (plástico) de menor índice de refracción.

Son llamadas fibras "PCS " (Plastic Clad Silca).

Como en la estructura de la fibra el revestimiento debe tener un índice de refracción menor que el núcleo, se pueden obtener los siguientes ejemplos de composición de la fibra:

NUCLEO	REVESTIMIENTO
GeO ₂	SiO ₂
P ₂ O ₅	SiO ₂
SiO ₂	B ₂ O ₃ -SiO ₂
GeO ₂ -B ₂ O ₃ -SiO ₂	B ₂ O ₃ -SiO ₂

4.3.- Fibras plásticas.

Las fibras totalmente plásticas son utilizadas para enlaces muy cortos (hasta 100

mts.), y su costo es muy bajo. Aunque presentan una atenuación considerablemente mayor que la de las fibras de vidrio, la resistencia radial y la durabilidad del plástico permiten que las fibras sean manejadas sin cuidados especiales.

4.4.- Fabricación de fibras ópticas.

Para la fabricación de fibras ópticas de vidrio se utilizan básicamente dos técnicas: el proceso de deposición de vapores y el método de fusión directa.

Los métodos de deposición de vapores, tienen su origen en la industria de los semiconductores y del vidrio, y se aplican por la pureza y la limpieza que logran; así, el método de fusión directa sigue los procedimientos tradicionales de elaboración del vidrio, en los cuales la fibra óptica es hecha fundiendo directamente los componentes de vidrio.

4.4.1.- Método MCVD.

La fabricación de preforma por medio del método MCVD se realiza en dos etapas.

En primer lugar se hace rotar un tubo de vidrio de cuarzo alrededor de su eje longitudinal en un dispositivo adecuado al tiempo que se calienta una estrecha zona del mismo desde afuera por medio de un quemador de gas detonante que se desplaza a lo largo del tubo.

Una vez terminada la etapa anterior, se pasa a la segunda etapa que consiste en calentar el tubo por secciones longitudinales hasta aproximadamente 2000 C°. De esta manera se produce el colapso del tubo para formar la varilla.

4.4.2.- Deposición externa de vapores químicos (OCVD)

Los problemas y las desventajas que presenta este método son:

- a) Se requiere de un control del perfil del índice de refracción.
- b) Se obtienen fibras con alta apertura numérica.
- c) Se necesita un control complejo de la deposición.
- d) Se obtienen fibras que se fracturan con shocks térmicos.

Las ventajas del método son:

- a) Se tiene un buen control del perfil del índice de refracción.
- b) No es necesario un paso separado de colapsado y estirado, aunque agrega complejidad al estirado.
- c) Se tolera utilizar materia prima con contaminación de H₂.
- d) No se necesitan tubos de cuarzo.
- e) Se tiene un buen control de las dimensiones.
- f) Es posible elaborar grandes preformas.

4.4.3.- Deposición axial de vapores (VAD).

Los problemas y las desventajas que se presentan con este método son:

- a) Dificultad para controlar el perfil del índice de refracción.
- b) Se presentan fluctuaciones en la densidad del tizne.
- c) Existen problemas en el control de la claridad y en el dopado con fluorúros.

Por otra parte, sus ventajas son:

- a) La preforma no tiene un orificio central, por lo que no requiere colapsado.
- b) Se puede trabajar en proceso continuo.
- c) Se logran los más bajos núcleos de OH.
- d) Se tolera utilizar materia prima con contaminante de H₂.
- e) No se requieren tubos de cuarzo.

Deposición de vapores por plasma.

Deposición de vapores químicos basado en calentamiento por microondas.

4.4.4.- Fusión directa o de doble crisol.

En este método de doble crisol, las varillas de vidrio para los materiales que forman

el núcleo y el revestimiento se elaboran separadamente. Primero se produce con la mezcla de polvos de vidrio purificados, los cuales son fundidos en un crisol y agitados hasta formar una mezcla homogénea. Una varilla de alimentación se forma de una varilla "semilla" que se incorpora por inmersión al vidrio fundido y después se saca lentamente a través de un anillo enfriador. El vidrio sale después de la varilla "semilla", solidificándose para tomar una forma cilíndrica de 5 a 10 mm. de diámetro y algunos metros de largo.

Las varillas son alimentadas en dos crisoles concéntricos calentados simultáneamente. El crisol interno contiene el vidrio fundido del núcleo y el externo el del revestimiento.

Para obtener fibras de índice gradual, se desplaza la boquilla del crisol externo y así, el vidrio del núcleo entra en contacto con el vidrio del revestimiento un poco antes de que se llegue al final de la boquilla del revestimiento, desde donde se estira la fibra.

Por último, la fibra pasa a la aplicación de la cubierta primaria y a su almacenado. Su producción alcanza varios cientos de metros por minuto.

En este caso es importante poner especial atención para evitar contaminantes durante el proceso, los cuales surgen principalmente del ambiente del horno y de los propios crisoles. Por esta razón los crisoles están hechos de platino de alta pureza

Las desventajas de este método son:

- a) Se tienen fibras con una alta dispersión.
- b) Se tiene una resistencia y durabilidad mecánica menores a otros métodos.
- c) Se tienen más pérdidas por tener baja pureza en la fibra.

Las ventajas que se observan son:

- a) Es un proceso continuo y económico con respecto a los demás
- b) Para bajas longitudes de onda se tienen altas aperturas numéricas.

4.5.- Estirado y acabado final de la fibra.

Las preformas obtenidas por los métodos IMCVD, MCVD, OCVD y VAD se estiran

de manera muy similar para la obtención de la fibra óptica.

Para pasar al proceso de estirado, se limpia y pule la preforma con el objeto de eliminar defectos superficiales que pudieran debilitar la fuerza mecánica de la fibra.

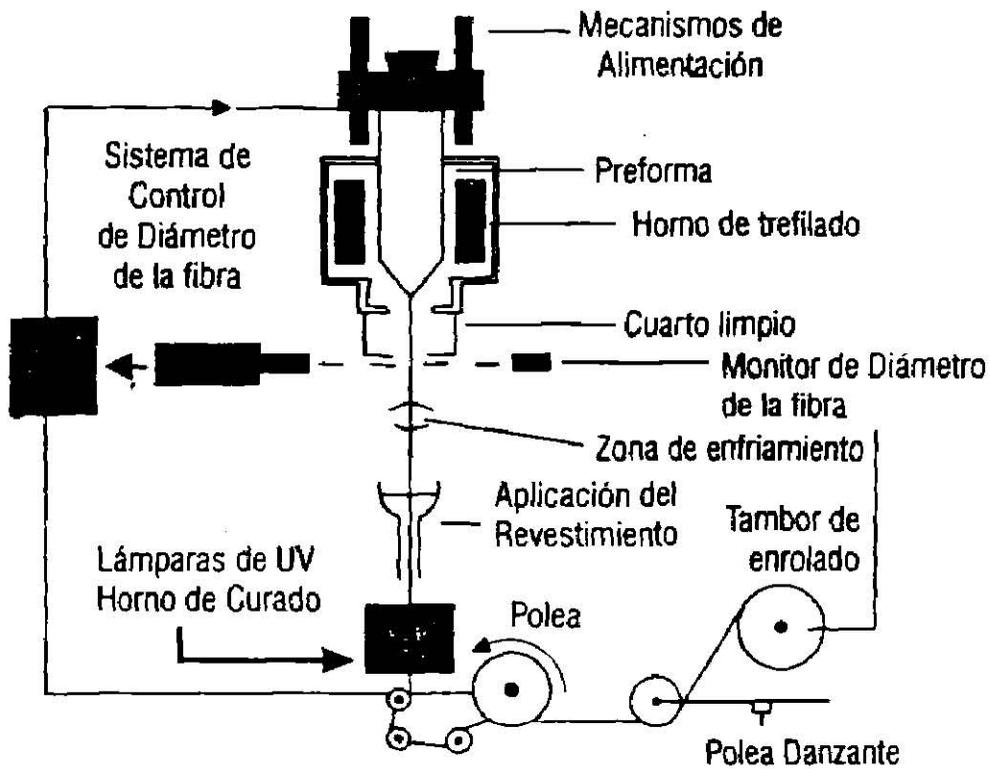
Una vez limpia la preforma, es sometida a una temperatura estable de 2,000 C°. Es en esta etapa donde la preforma se convierte en la fibra definitiva.

Posteriormente se mide el diámetro de la fibra como medida de control. Aquí la fibra pasa de 1,600 C° a la salida del horno, a 80 C° para la etapa de recubrimiento primario.

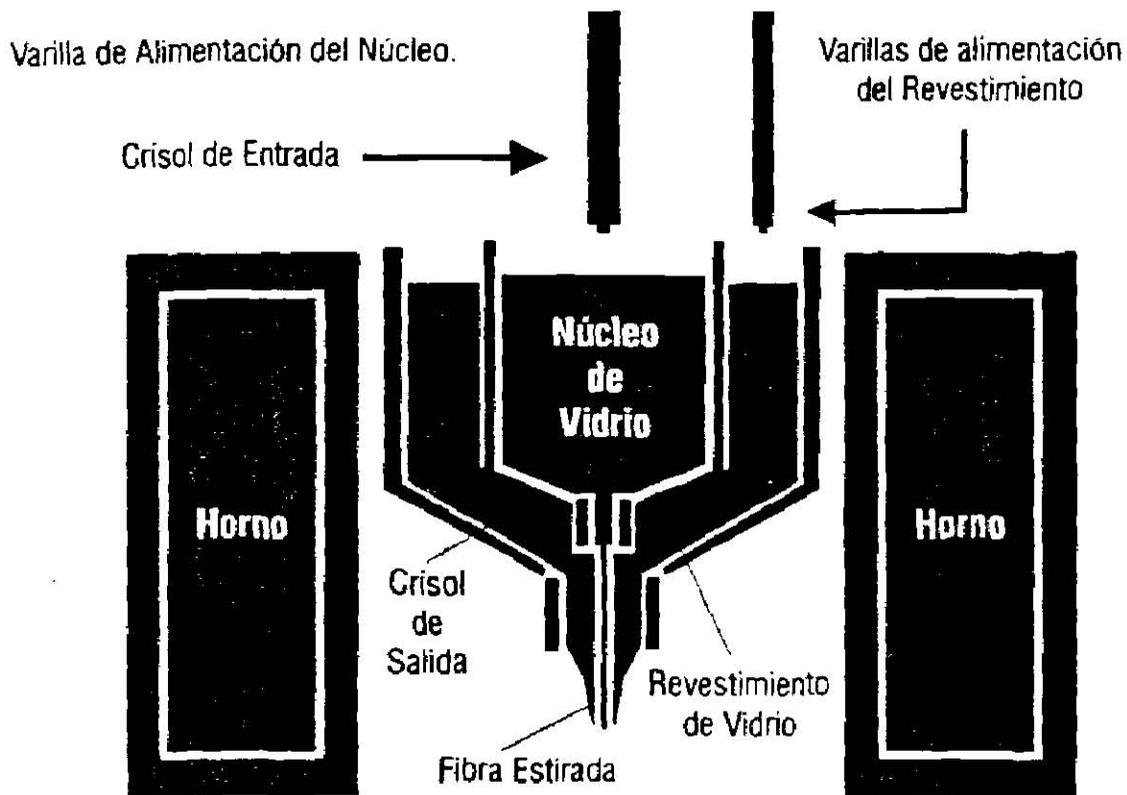
Los materiales utilizados en la cubierta primaria se dividen en dos grupos: acrilatos epóxicos y polímeros de silicio.

El control de estirado se hace tomando la señal del monitoreo del diámetro de la fibra y enviándolo al mecanismo de alimentación de la preforma y al tambor de estirado para regular su velocidad.

Torre de trefilado de la Fibra



Método de Doble Crisol



CAPITULO V

EMPALMES, CAJS Y CONECTORES

5.1.- Uniones de las fibras ópticas.

La interconexión y acoplamiento de fibras ópticas, se requiere de especial cuidado, ya que se desea reducir al mínimo las pérdidas causadas por uniones de fibras ópticas necesarias en el sistema. Estas uniones pueden ser fijas o temporales, en las primeras la unión se lleva a cabo por un empalme permanente, y en las segundas se utilizan conectores que pueden ser removibles. El tipo de unión que se elija dependerá de las necesidades de instalación, por ejemplo, si se requiere una unión permanente de tramos largos de fibra óptica con muy bajas atenuaciones, se hace un empalme permanente, por otra parte cuando se necesita instalar o retirar una fibra fácil y rápidamente, se emplean los conectores.

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

5.2.- Pérdidas extrínsecas e intrínsecas.

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

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

Existen tres tipos principales de desalineamiento:

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

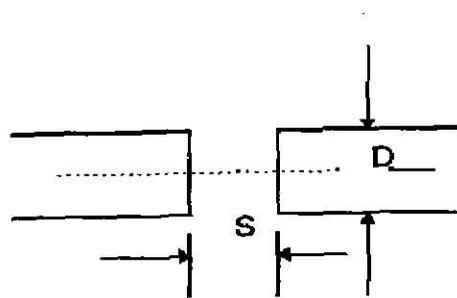
2.- **Desalineamiento o falla angular**, la cual sucede cuando los ejes de las fibras forman un ángulo y las caras de los extremos de las fibras dejan de estar paralelas.

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

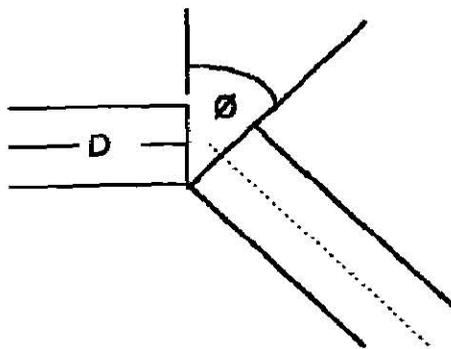
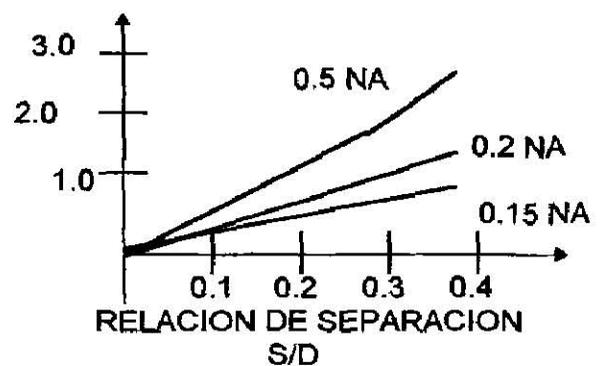
Esta última falla es la más usual y a su vez, la que genera más pérdidas, ya que al reducir el área de traslape entre los núcleos de las fibras, se disminuye la potencia óptica que pasa de la fibra transmisora a la receptora.

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

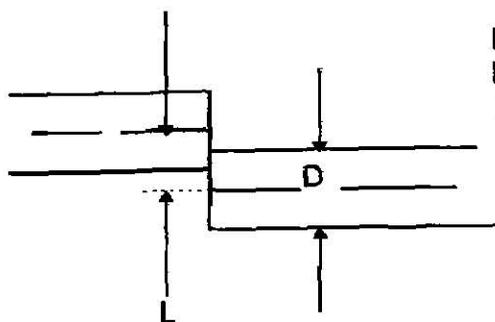
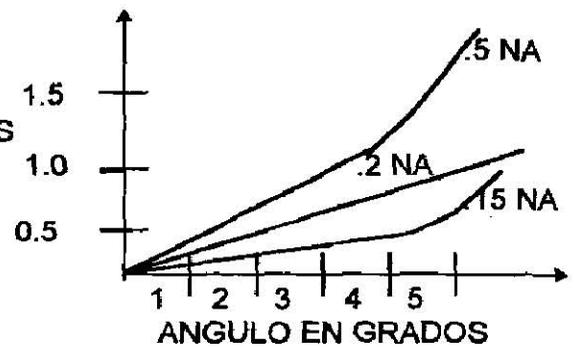
Así, los extremos de la fibra deben ser planos y perpendiculares al eje de la fibra



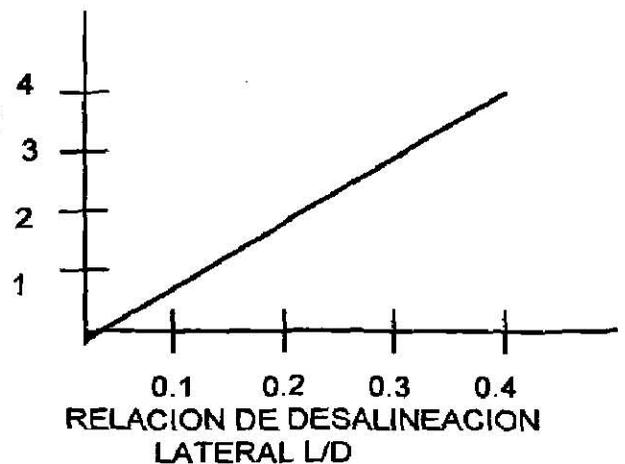
PERDIDAS EN SEPARACION FINAL EN dB.



PERDIDAS ANGULARES EN dB.



PERDIDAS DE DESEALINEACION LATERAL EN DB.

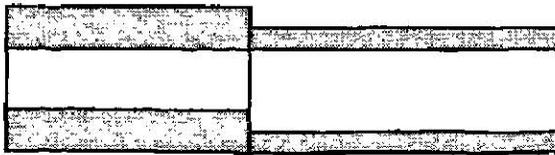


PERDIDAS CAUSADAS POR EL FACTOR DE DESALINAMIENTO

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

- 1.- Diámetro del núcleo
- 2.- Elipticidad del núcleo
- 3.- Apertura numérica
- 4.- Perfil del índice de refracción
- 5.- Concentricidad del núcleo y el revestimiento

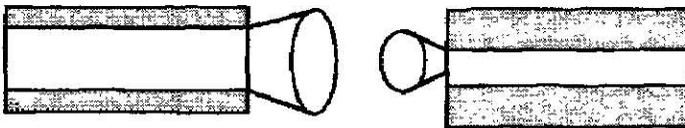
De estos parámetros, los que generan mayores pérdidas son las variaciones del diámetro del núcleo, sobre todo cuando la fibra transmisora tiene un núcleo de mayor tamaño que la fibra receptora, y la variación de apertura numérica, ya que si la fibra transmisora tiene una apertura numérica mayor que la fibra receptora, toda la potencia óptica que se salga del cono de aceptación de la fibra receptora estará perdida. Este tipo de pérdidas son causadas por la fibra durante su proceso de fabricación, y la forma de disminuirlas es mediante la utilización de fibras ópticas de alta calidad, que cumplan con rigurosas especificaciones y aseguran pérdidas intrínsecas despreciables al unirse entre sí. La siguiente figura muestra las posibles pérdidas causadas por propiedades intrínsecas de la fibra.



DIFERENTE DIAMETRO EN EL REVESTIMIENTO



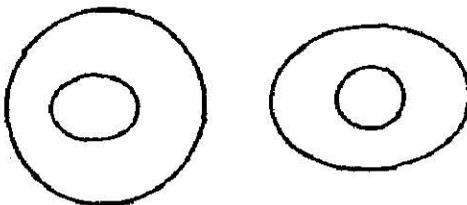
DIFERENTE DIAMETRO EN EL NUCLEO



DIFERENTE A. N.



NUCLEO EXCENTRICO



NUCLEO ELIPTICO O REVESTIMIENTO ELIPTICO

5.3.-Empalmes.

Las dos técnicas básicas para realizar empalmes son: mecánicas y por fusión.

5.3.1.- Empalmes mecánicos.

Cuando se tienen enlaces de corta distancia donde se puedan considerar pérdidas considerables se utilizan empalmes mecánicos, en los cuales las fibras son unidades a través de medios mecánicos, como ranuras en forma de "V", varillas (de acero o vidrio) o esferas.

a).-Método de varillas.

Este es uno de los primeros métodos utilizados de empalmes mecánicos.

Por lo general se utilizan tres varillas de acero o vidrio (o pins) para que en el orificio central queden alineadas las fibras a unir.

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

Las varillas son de un diámetro mucho mayor que el de la fibra y deben tener dimensiones muy precisas con tolerancias menores de 0.04 μm .

Se tienen otros tipos de empalmes utilizando cuatro y seis varillas con lo cual se tienen mas puntos de alineamiento y menor volumen en el empalme.

b).- Método de ranura en V

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

La unión se logra mediante una tapa que sujeta las fibras, manteniéndolas en contacto.

El material acanalado puede ser silicon,, plástico, material cerámico, acero o aluminio.

Las fibras se unen a la mitad del canal y se ponen en contacto con la ayuda de bloques móviles supervisando la unión ya sea así a simple vista o con una lupa.

Existen distintos tipos de empalmes con el método de ranura en V. El más sencillo utiliza una tapa plana. También puede utilizarse una etapa con otra ranura en V e inclusive existe un diseño con tres secciones rasuradas, estas ofrecen una alineación de la fibra en forma más precisa con la desventaja que requieren mas piezas de precisión, lo cual eleva su costo.

En este método se tiene la limitación de unir solo fibras con diámetros de revestimiento iguales y con una alta concentricidad. Las ventajas del método son: Su facilidad y rapidez de elaboración. La pérdida por el empalme es de hasta 1 dB.

c).- Método elastomérico

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

d).- Otros métodos.

Existen distintos elementos mecánicos que actúan para alinear las fibras a unir.

El más sencillo es el empalme por tubo, en donde se tiene una pieza de vidrio u otro material, con un orificio en forma de tubo y con diámetro ligeramente mayor al de la fibra a unir, incluyendo un orificio lateral para el adhesivo.

Se tiene el inconveniente de que es difícil introducir la fibra en un orificio tan pequeño y además la pieza debe tener una gran precisión en su construcción para evitar un desalineamiento en la unión.

Una variación de este método es el empalme "crimpeado". En este método el tubo tiene un diámetro mayor y es menos elaborada su construcción. Se tiene una herramienta especializada que comprime en forma precisa el tubo para que queden alineadas las fibras.

Otra variación al método es aquel que utiliza un tubo con dobleces de 15 grados en sus extremos. La construcción puede hacerse con cuatro pequeñas varillas de vidrio. Los dobleces obligan a la fibra a apoyarse en la ranura que forman dos de las varillas quedando así alineadas.

También existen empalmes mecánicos que se basan en esferas macizas de fina construcción entre los cuales se alinean las fibras a unir.

Por otra parte se han desarrollado empalmes multifibra para satisfacer la aparición de cables multifibra en forma de listón. En un principio se basan en los empalmes de ranura en V.

En la mayoría de los empalmes que utilizan adhesivo debe "curarse" este con luz ultravioleta en ambientes limpios.

5.3.2.- Empalmes por fusión.

El empalme por fusión es el método más utilizado y consiste en aplicar calor a una zona específica entre las fibras a unir, suavizándolas y fusionándolas.

Las fibras deben prepararse precisamente en sus extremos quitándoles las cubiertas secundaria y primaria, cortando las caras de los extremos para que estén planas y perpendiculares al eje y limpiando la fibra de grasa y polvo. A continuación la fibra se monta ya sea en una base rasurada o en sujetadores controlados por microposicionadores accionados por motores o manualmente, con la libertad de poder moverse en las tres direcciones para obtener un alineamiento óptimo, supervisado mediante un microscopio.

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

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

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

Este procedimiento puede efectuarse automáticamente sin intervención del operador.

Mediante el método de fusión se logra atenuaciones por empalme ente 0.2 y 0.1 dB. Llegando a tener inclusive menos de 0.01 dB para fibras idénticas.

Una vez hecho el empalme por fusión se debe proteger con una cubierta que sustituya las cubiertas primaria y secundaria de la fibra y además almacenarse de tal forma que no reciba esfuerzos de tensión, ya que la combinación de daños superficiales por manejos de la fibra, crecimiento de grietas por calentamiento y esfuerzos residuales por cambio a la composición química disminuyen considerablemente la resistencia mecánica del punto de unión de las fibras.

5.4.- Máquinas para empalmar fibras ópticas.

A partir de finales de los años 70's se comenzaron a desarrollar las primeras máquinas portátiles para empalmar fibras ópticas por fusión.

El principio básico con el cual son diseñadas, es, la aplicación de calor en el punto de unión de las fibras para la fusión de estas.

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

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

■ **Posición**

Con el objeto de alinear las fibras para tener un buen empalme, se utilizan posicionadores de presión en las tres dimensiones.

■ **Calor**

Para regular la cantidad de calor aplicado al punto de unión de las fibras se manejan dos parámetros: el tiempo de aplicación de la fuente de calor; y la intensidad de la fuente de calor.

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

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

Para poder alinear la fibra se deben utilizar un sistema de monitores, el cual por lo general está construido por un juego de espejos y lentes amplificadas por un microscopio o una pequeña cámara de vídeo.

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

En la evolución de los empalmes por fusión se han establecido "generaciones". Así, la primera generación la constituye el sistema totalmente manual en donde el operador alinea las fibras observando estas a través de un microscopio.

Para la medición de las pérdidas en el empalme se tiene el equipo de medición en un extremo del enlace, el cual puede estar a varios kilómetros de distancia.

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

En la fibra, al sufrir un doblado, varía el ángulo de incidencia de la luz sobre el revestimiento dando como resultado que parte de la luz pueda entrar o salir al exterior de la fibra.

Para inyectar la luz se dobla la fibra en un diámetro al menos 8 mm pero no mayor de 6 mm. para que la fibra no sufra una tensión excesiva.

Con este sistema se pueden alinear incluso las fibras con núcleos excéntricos, ya que lo que se compara es la cantidad de luz que se transmite de un núcleo a otro.

El equipo utilizado es el FSU850, este equipo tiene un sistema con el cual se puede tener una evaluación de las pérdidas obtenidas en el empalme a base de comparar referencias de campo y así saber si un empalme es bueno o no.

Una tercera generación surgió con el sistema de alineamiento de perfiles de índice de refracción (PAS-Profil Alignment System).

El sistema reemplaza al microscopio por una cámara de vídeo, se obtiene una señal de posición de los núcleos de las fibras a unir. Esta señal se utiliza para alinear automáticamente las fibras, de esta forma la alineación puede efectuarse a diferencia de la generación anterior sin doblar, ni comprimir la fibra.

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

Por ello es conveniente utilizar un equipo de medición para determinar las pérdidas reales.

Existe ya un equipo de empalme por fusión desarrollado por ERICSSON, el cual se considera de cuarta generación.

En este equipo la estimación se hace en la zona crítica del empalme y además toma siete parámetros para elaborar la estimación. Tipo de deformación en el núcleo, amplitud de la deformación y su longitud, la diferencia del nivel del núcleo y del revestimiento y variación de diámetro exterior y de la línea vertical blanca que aparece en la zona del empalme.

Como la estimación se efectúa precisamente en el momento de la fusión, el sistema se le denomina procesamiento de imagen del empalme caliente (WSIP-WARM Splice Image Processing).

La imagen también procede de una cámara de vídeo, la cual alimenta a un microprocesador para que efectúe la alineación automática mediante servomotores de precisión y haga la estimación de las pérdidas en la unión.

Se considera que este equipo, el FSU900, tiene un 5% de error con respecto a la medición hecha en un OTDR, con lo cual no es necesario utilizar otro equipo, ni a más personal y ni a equipo de comunicación asociado.

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

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

Por otra parte se han venido desarrollando equipos de fusión para multifibras. Esto para poder competir con los conectores multifibras. En este tipo de máquina se alinean y empalman a la vez múltiples fibras agrupadas, ya sea en forma de listón o en forma cuadrangular. En este caso las herramientas de corte son de mucha importancia para poder obtener buenos empalmes.

5.5.- Cajas de empalmes.

Al efectuar un empalme por fusión sobre un cable de fibras ópticas, se deben proteger las uniones de las fibras del ambiente externo y al mismo tiempo tener acceso para efectuar algún mantenimiento sobre los empalmes cuando sea necesario, para satisfacer esta necesidad se utilizan las cajas de empalme, diseñadas para ser instaladas en postes, en pozos de visita, en interiores o enterradas directamente en el suelo, por lo que deberán ser altamente resistentes a la humedad, a la corrosión, a esfuerzos mecánicos y a temperaturas extremas.

Según su estructura existen dos tipos de cajas de empalmes: cilíndricas y rectangular.

5.5.1.- Caja de empalme cilíndrica

Este diseño de caja consta de dos bases o tapas circulares unidas mediante dos postes o barras, también incluyen charolas organizadoras para el acomodo de las fibras, los accesorios necesarios para fijar el cable en una funda plástica o cubierta moldeada en forma cilíndricas para cubrir todo el arreglo.

Para la instalación de la caja de empalme circular se siguen los siguientes pasos

a) Preparación de la caja. Para este tipo de caja es necesario hacerlas perforaciones en las tapas circulares, las cuales deben ser de igual diámetro que el cable a empalmar.

En algunos diseños de cajas cilíndricas, las tapas vienen en dos partes y estas se deben de ensamblar y sellar una vez que se ha colocado el cable.

b) Preparación del cable. Para poder montar el cable óptico en la caja es necesario prepararla. Para ello se debe remover la cubierta externa del cable en un longitud entre 1.20 y 1.50 mts. Dependiendo del largo de la caja. Se debe remover la armadura o el refuerzo textil de aramida en la misma longitud que la cubierta externa.

Si las tapas vienen en dos partes, se limpia la cubierta del cable aproximadamente 1.50 m., se aplica pasta sellante en el área limpia y se deja que seque, o bien, se aplica helicoidalmente una cinta sellante sobre el cable. Se colocan sobre el cable las partes de la tapa ajustando con un cintillo de acero.

- c) **Instalación del cable en la caja.** Para evitar que el cable tenga movimientos indeseados y para mantener continuidad en los elementos metálicos, se unen los hilos mensajeros o miembros centrales de tensión, ya sea entre sí o bien en la caja que los una.

Se elaboran los empalmes y estos se colocan en los organizadores, los cuales en su mayoría son en forma de charola, aunque existen también bolsas de plástico las cuales se enrollan para su acomodo.

d) **Cierre de la caja.** Para este tipo caja se coloca una funda plástica alrededor de todo el arreglo de modo que quede en forma simétrica. Esta funda es cerrada mediante un fleje metálico o plástico, un sellador o aplicando calor. En el caso de cajas con cubiertas moldeadas, éstas pueden ser plásticas o metálicas, estas se unen y se sellan ya sea con resinas o con mangas termocontráctiles. En cualquier caso se necesita de herramienta y mano de obro especializada para poder cerrar herméticamente.

e) **Instalación.** Para colocar la caja de tipo cilíndrico ya sea en postes, en pozos o en interiores, se requiere de herrajes especiales para su fijación. Las ventajas de las cajas de empalme de tipo cilíndrico son que presentan una estructura similar a la caja de empalmes en conductores metálicos.

Las desventajas son: una vez cerrada la tapa, si se quiere reabrir por mantenimiento o expansión se deben destruir elementos de la cubierta exterior; su dificultad para preparar y cerrar la caja herméticamente.

5.5.2.- Caja de empalme rectangular

Este tipo de caja de empalme consiste en una estructura de acero inoxidable resistente a ácidos, con organizadores en forma de charolas de acero inoxidable o bien, en forma de cartucho de plástico.

a) **Preparación de la caja.** La caja se abre retirando los tornillo de la tapa, se limpia
y a los cojinetes se les quita la grasa que pudiera tener.

b) **Preparación del cable.** El cable es insertado en el cojinete correspondiente ya sea para cable con o sin armadura. Al cojinete se le adhiere una parte de la manga termocontráctil y al cable la otra. Para proteger el cable del calor aplicado a la manga, se le agrega una cinta de aluminio. En caso de que el cable tenga una armadura de

alambres de acero ésta se retira, se aplica una manga a la cubierta interna para que se sujete al cojinete, se reinstala la armadura, y se le aplica otra manga termocontráctil.

En este paso es importante hacer correctamente las mediciones en el cable para su preparación, ya que se corre el riesgo de dejar con juego el cable una vez instalado o bien que no alcance la fibra óptica en el momento del empalme. También debe cuidarse la instalación de las mangas termocontráctiles para que no quede en cable con esfuerzos mecánicos indeseados.

c) Instalación del cable en la caja. Se instala el cojinete en el orificio correspondiente en la caja. Debe asegurarse que el cojinete quede fijo y en la posición correcta.

Se retiran las cubiertas del cable y sus rellenos de forma que queden las fibras con cubierta secundaria y el miembro central de tensión. Este último se mide y corta de tal forma que al fijarlo al sujetador en la caja, libre de esfuerzos mecánicos al resto del cable. En caso de que el cable óptico contenga pares metálicos para señalización, estos se empalman aislándolos y fijándolos en el sujetador.

Las fibras se colocan en los organizadores. Se toma un tubo apretado u holgado y se colocas en forma precisa, marcando el punto donde se empalmará, esta medida se aplica a las demás fibras marcándolas y cortando los excesos. Una vez hecho esto, se retira la cubierta secundaria de la fibra y se empalma,

Después de cada empalme, este se protege con un pequeño tubo termocontráctil que sustituye a la cubierta primaria. Estos son entonces sujetos en cada organizador.

d) Cierre de la caja. Para cerrar la caja de tipo rectangular, se le aplica aire caliente a su interior para eliminar humedad.

Además se le colocan bolsas secantes para absorber la humedad residual. Después se coloca la tapa apretando los tornillos en el orden especificado por el fabricante para lograr una alta hermeticidad.

e) Instalación. Para colocar este tipo de caja en postes, pozos, muros o interiores, se utiliza el herraje integrado a la caja para su sujeción.

Si se quiere entrar directamente solo se requiere señalización para su protección e identificación.

Las cajas de tipo rectangular, ofrecen las siguientes ventajas:

- Se pueden montar, cerrar y abrir fácilmente.
- Una vez cerrada la caja, puede reabrirse para mantenimiento sin necesidad de destruir ningún elemento de la caja, ni agregar elementos.
- No requiere de herramienta altamente especializada.
- Ofrece una gran protección al cable y a los empalmes.
- Es resistente a la corrosión, la humedad, a impactos, al fuego y al agua.

5.6.- Conectores

Cuando se requiere unir dos fibras ópticas en forma rápida y temporal, se utilizan los conectores. Estos en base a sus principios de diseño, se pueden dividir en dos tipos de conectores: de acercamiento mecánico de precisión de los extremos de la fibra y de acercamiento óptico de los frentes de onda de las fibras a unir.

En el primer caso, se utilizan estructuras que requieren de precisión lateral, de azimutal y longitudinal para lograr el alineamiento requerido de la fibra.

En el segundo caso se utilizan lentes para ayudar en el alineamiento de las dos fibras a unir, logrando mejores tolerancias angulares.

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

5.6.1.- Conectores de férula o casquillo.

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

Se debe mantener la conectividad entre la fibra y el casquillo, ya que de ellos dependen las pérdidas en el conector. Existe una gran variedad de estos conectores siendo los más representativos los siguientes:

a) El conector FC, en donde la fibra es descansada en un casquillo que contiene en su interior una capilaridad concéntrica encargada del centrado y fijación de la fibra. Al montar la fibra al conector, la fibra es preparada con resina epóxica en la cavidad del casquillo para lograr la fijación adecuada de la fibra. El casquillo es de cerámica por lo general cubierta de acero.

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

b) El diseño FC-PC (Physical Contact), 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 real contacto físico en la unión. Este factor reduce las reflexiones y las pérdidas llegando a tener menos de 0.5 dB por conector. Se utiliza en transmisión de voz y datos en alta velocidad. Tienen alta durabilidad.

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

5.6.2.- Conectores bicónicos.

Esta tecnología es ampliamente utilizada en la fibra multimodo para telecomunicaciones en transmisión de datos.

Consiste en dos conos concéntricos que se encargan de alinear la fibra en el casquillo. Se obtienen pérdidas menores de 1 dB. El casquillo es de cerámica encapsulado en metal y la cubierta es de cuarzo combinado con material epóxico. Incluye un resorte para ajustar el punto de contacto.

5.6.3.- Conectores de excentricidad ajustable.

En estos conectores se logra un alineamiento transversal preciso al rotar una fibra con respecto a la otra, estando ambas fibras excéntricamente montadas. El alineamiento óptico se logra cuando la señal monitoreada a través del conector es máxima. En estos casos se tienen pérdidas menores de 0.5 dB en fibras monomodo. Una vez hecho el ajuste del conector para la fibra montada, se fija para que no sea alterada, aunque la necesidad de hacer un ajuste, la mayor complejidad del conector y su mayor costo son desventajas, la precisión lograda mediante este método es única.

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

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

El ajuste se hace mediante cuatro tornillos radiales diferenciales con auxilio de una herramienta especializada; el segundo alineamiento se lleva a cabo entre los casquillos a unir, estos son insertados en una esfera con un orificio, asegurando así que los ejes axiales de ambos casquillos y ambas fibras coinciden.

