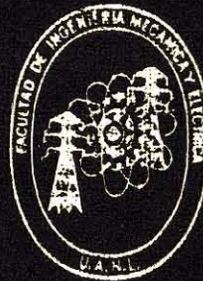


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica



**SISTEMAS DE FIBRA OPTICA, FABRICACION,
PROPIEDADES Y APLICACIONES EN
TELECOMUNICACIONES**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA:
EDGAR GARAY JIMENEZ

ASESOR: ING. LEOPOLDO VILLARREAL JIMENEZ

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.

JULIO DE 1998

T

TK510

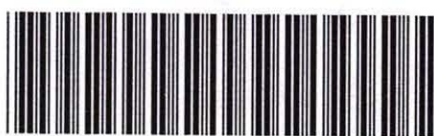
.59

G39

1998

c.1

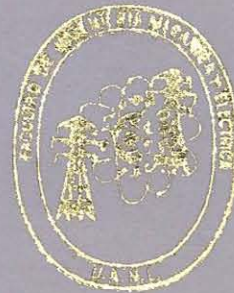
T
TK5103
.59
G39
1998
C.1



1080097028

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica



SISTEMAS DE FIBRA OPTICA, FABRICACION,
PROPIEDADES Y APLICACIONES EN
TELECOMUNICACIONES

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA:
EDGAR GARAY JIMENEZ

ASESOR: ING. LEOPOLDO VILLARREAL JIMENEZ

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.

JULIO DE 1998

T 5103
+ 59
939
1998



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SISTEMAS DE FIBRA ÓPTICA, FABRICACIÓN, PROPIEDADES Y
APLICACIONES EN TELECOMUNICACIONES

Por

EDGAR GARAY JIMÉNEZ

Como requisito para obtener el Grado de
LICENCIATURA EN INGENIERÍA con especialidad en
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

“ SISTEMAS DE FIBRA ÓPTICA, FABRICACIÓN, PROPIEDADES Y
APLICACIONES EN TELECOMUNICACIONES “

Aprobación de Tesis

Ing. Leopoldo Villarreal Jiménez
Asesor y Director de Tesis

Ing. Hilario Jiménez Favela
Revisor y Sinodal

Ing. Alfredo de la Garza
Revisor y Sinodal

Monterrey N.L. Julio 1998

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

Francisco Garay Hernández y Micaela Jiménez Fabela

Gracias por todo el apoyo, amor y comprensión que siempre he tenido hacia mi, siempre pensando en mi bienestar.

A MIS HERMANOS:

Francisco

Reyner

Douglas

Yadira

Quienes me han dado apoyo y cariño.

A MI NOVIA:

Beatriz Adriana García Martínez.

Por toda su paciencia en los tiempos de exámenes, por su comprensión y apoyo incondicional en la culminación de mi carrera, por el amor y cariño que siempre he recibido de ella, por el apoyo para la realización de esta tesis, te Amo Bety.

A MIS AMIGOS:

Raúl Mendoza Resendiz.

Juan Gabriel Garza Ocañas.

David Pérez Casanova.

Rolando Garza Ayala.

Claro de la Cruz Nava.

J. Daniel González Díaz.

R. Omar Torres Solis.

Jesús Ramos González.

Francisco Hernández.

Abraham Castañeda Peña

A MIS AMIGAS:

Norma Leija

Rocío

Norma, Mary

Astrid Haime, Martha

Gracia Marina

Flor Angélica

María del Carmen

Hazarmabeth

Judit

Por darme la oportunidad de conocer el concepto de la amistad y por todos los buenos momentos que hemos compartido juntos, gracias también por entenderme en los momentos de estudio y trabajo, y por mantener la amistad hacia mi desde hace tanto tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por regalarme una vida a lado de tan maravillosas personas, por darme salud y tanta felicidad.

Agradezco a todo mi familia, en especial a mi tío Ing. Hilario Jiménez Favela por creer en mi, por su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera, por siempre estar ahí cuando lo necesitaba, gracias por ser una excelente persona y por ser un excelente tío.

Agradezco a todos mis amigos de la escuela, que durante las clases y exámenes siempre supimos resolver juntos los problemas que se presentaban al estudiar y que siempre hicieron agradables los momentos que pasaba en la escuela.

A mi amiga Martha González Díaz por su paciencia en tiempos de exámenes, ya que estudiábamos varias horas y varios días, y siempre tuvimos el apoyo de ella, gracias por se tan comprensiva.

Agradezco a la Ing. Químico Raquel Mendoza Resendez por su apoyo para la realización de esta tesis, que siempre tuve todo el respaldo de parte de ella y de su familia para la culminación de mi tesis.

Agradezco a todos los maestros de la facultad en especial al Ing. Leopoldo Villarreal ya que fue el asesor de mi tesis y un gran maestro en el curso y en las clases que tuve la oportunidad de tomar con el.

ÍNDICE

CAPITULO 1

- 1.1 Introducción.
- 1.2 Generalidades.
- 1.3 Desarrollo histórico.
- 1.4 Definición de fibra óptica.
- 1.5 Ventajas de las fibras ópticas sobren conductores convencionales.
- 1.6 Comparación de la fibra óptica contra conductores UTP.
- 1.7 Principios de transmisión óptica.
- 1.8 Tipos de fibras.
- 1.9 Fuentes y detectores.

CAPITULO 2

- 2.1 Cables ópticos.
- 2.2 Estructuras de los cables ópticos.
- 2.3 Empalmes, cajas de empalme y conectores.

Capitulo 3

- 3.1 Dispositivos para la emisión y detección de la luz.

CAPITULO 4

- 4.1 Aplicaciones generales de la fibra óptica.
- 4.2 Funciones de la fibra óptica en telecomunicaciones.
- 4.3 Glosario
- 4.4 Bibliografía.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 INTRODUCCION

Hace tiempo se han conectado redes de comunicación en el mundo pero es tan rápida la modernización de los equipo que siempre quedaba atrás el avance en los conductores, se hace la búsqueda de un medio de comunicación que este muy por encima de la tecnología actual, con la fibra se logro esto.

La Historia de la comunicación por la fibra óptica es relativamente corta. En 1977, se instaló un sistema de prueba en Inglaterra; dos años después, se producían ya cantidades importantes de pedidos de este material.

Antes, en 1959, como o derivación de los estudios en física enfocados a la óptica, se descubrió una nueva utilización de la luz, a la que se denominó rayo láser, que fue aplicado a las telecomunicaciones con el fin que los mensajes se transmitieran a velocidades inusitadas y con amplia cobertura.

Sin embargo esta utilización del láser era muy limitada debido a que no existían los conductos y canales adecuados para hacer viajar las ondas electromagnéticas provocadas por la lluvia de fotones originados en la fuente denominada láser.

Fue entonces cuando los científicos y técnicos especializados en óptica dirigieron sus esfuerzos a la producción de un ducto o canal, conocido hoy como la fibra óptica. En 1966 surgió la propuesta de utilizar una guía óptica para la comunicación.

Esta forma de usar la luz como portadora de información se puede explicar de la siguiente manera: Se trata en realidad de una onda electromagnética de la misma naturaleza que las ondas de radio, con la única diferencia que la longitud de las ondas es del orden de micrómetros en lugar de metros o centímetros.

Como portadora de información. En poco más de 10 años la fibra óptica se ha convertido en una de las tecnologías más avanzadas que se utilizan como medio de transmisión. Este novedoso material vino a revolucionar los procesos de las telecomunicaciones en todos los sentidos, desde lograr una mayor velocidad y disminuir casi en su totalidad los ruidos y las interferencias hasta multiplicar las formas de envío en comunicaciones y recepción por vía telefónica.

Las fibras ópticas son filamentos de vidrio de alta pureza extremadamente compactos: El grosor de una fibra es similar a la de un cabello humano. Fabricadas a alta temperatura con base en silicio, su proceso de elaboración es controlado por medio de computadoras, para permitir que el índice de refracción de su núcleo, que es la guía de la onda luminosa, sea uniforme y evite las desviaciones, entre sus principales características se puede mencionar que son compactas, ligeras, con bajas pérdidas de señal, amplia capacidad de transmisión y un alto grado de confiabilidad debido a que son inmunes a las interferencias electromagnéticas de radio-frecuencia. Las fibras ópticas no conducen señales eléctricas por lo tanto son ideales para incorporarse en cables sin ningún componente conductor y pueden usarse en condiciones peligrosas de alta tensión. Tienen la capacidad de tolerar altas

diferencias de potencial sin ningún circuito adicional de protección y no hay problemas debido a los cortos circuitos Tienen un gran ancho de banda, que puede ser utilizado para incrementar la capacidad de transmisión con el fin de reducir el costo por canal; De esta forma es considerable el ahorro en volumen en relación con los cables de cobre.

Con un cable de seis fibras se puede transportar la señal de más de cinco mil canales o líneas principales, mientras que se requiere de 10,000 pares de cable de cobre convencional para brindar servicio a ese mismo número de usuarios, con la desventaja que este último medio ocupa un gran espacio en los ductos y requiere de grandes volúmenes de material, lo que también eleva los costos.

Los negocios de hoy, y más aún los del futuro, se apoyan en servicios de Telecomunicaciones de gran calidad, alta velocidad, gran flexibilidad y conveniente relación precio/rendimiento.

1.2 GENERALIDADES

Desde hace mucho tiempo se ha manejado la transmisión de señales por medio de conductores metálicos. En los últimos años los avances de la ciencia en cuanto a telecomunicaciones se refiere ha tenido notables avances ya que por ejemplo, se puede hacer la transmisión simultánea de 10800 canales telefónicos a través de un par de conductores coaxiales.

La gran desventaja de los conductores coaxiales es que hacen aumentar la atenuación, esto hace que con el incremento del ancho de banda de la transmisión las distancias entre los repetidores disminuya proporcionalmente.

También se tiene que en los conductores metálicos tiende a perder parte o toda la información al pasar cerca de un campo electromagnético y electrostático. La utilización de la fibra óptica cerca de estos campos no afecta en nada a la transmisión de los datos.

Ya que la frecuencia de la luz es muy grande, y el ancho de banda de la señal es muy pequeño, comparado con el ancho disponible, o sea que aun cuando el ancho de banda de la señal sea de algunas centenas de Mhz (por ejemplo para la transmisión digital PCM de 565 Mbps), la relación entre el ancho de banda de la señal y la frecuencia de la portadora es menor que 10. Por lo tanto la atenuación que ocurre a lo largo del medio de transmisión es determinada exclusivamente por la frecuencia de la luz infrarroja, sin consideración del ancho de banda de la señal. La atenuación dependiente de la frecuencia de la señal y por lo tanto de su ancho de banda, que ocurre en conductores metálicos, deja de existir.

Otra de las ventajas de la fibra óptica es que pueden viajar juntos varios pares sin que ninguna de estas afecte a las demás (diafonía) señales que viajan dentro, garantizando un desacoplamiento perfecto entre circuitos adyacentes.

Además de el continuo crecimiento en el equipo de computo, y la necesidad de transmitir voz, datos y vídeo por un mismo cable hace de la fibra el conductor de red mas avanzado en la actualidad, y tiene la capacidad de trabajar a altas velocidades y tener incrementos en la red sin sufrir alteraciones físicas.

1.3 DESARROLLO HISTÓRICO

El uso de ondas portadoras de luz visibles o luz para comunicaciones ha sido común desde hace ya algunos años. En 1880 Alejandro Graham Bell logro la comunicación de voz utilizando un rayo de luz, sin embargo las investigaciones para establecer comunicaciones por medios ópticos fueron continuadas hasta cerca de siglo XX. A continuación se enlistan los principales avances en el estudio de las fibras ópticas.

1960 Desarrollo del primer láser.

1966 Sugerencia de las fibras de vidrio como soporte de transmisión.

1970 Presentación de una fibra de silicio dopado, con 20 dB/Km.

1971 Láser de inyección y diodo LED, de AlGaAs, operando en modo continuo a temperaturas ambiente.

1973 Fibras de 4 dB/Km ($\lambda=0.8 - 0.85 \mu\text{m}$) fabricas por el método "Outside Vapor Deposition".

1974 Fibras de 2 dB/Km ($\lambda=1.6 \mu\text{m}$) con fibras de SiO₂ dopadas con Germanio, y descubrimiento del método "Modified Chemical Deposition".

1975 Identificación de un mínimo de dispersión sobre 1.3 μm en fibras de SiO₂.

1976 Empalme de fibra mediante fusión por arcoelectrico.

1976 Láseres para altas longitudes de onda.

1976 Fibras de SiO₂ - GeO₂ con 0.5 db/Km a 1.3 y 1.55 μm .

1977 LED de InGaAsP/Inp y diodos PIN de InGaAs.

1977 Descubrimiento del metodo "Vapor Axial Deposition" para fabricar fibras.

1978 Fotodiodo de avalancha de InGaAs.

1979 Fibras monomodo con 0.2dB/Km ($\lambda = 1.55 \mu\text{m}$).

Hasta la actualidad se manejan los métodos convencionales, se tienen varios proyectos de mejora pero aun no se ponen en practica.

1.4 DEFINICIÓN DE FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica consta de un fino hilo de vidrio formado por dos partes, cada una con diferente índice de refracción. Los términos fibra óptica y guía de onda óptica se usan para describir fibras de vidrio de plástico impregnadas para transmisión óptica de señales de telecomunicaciones. La señal eléctrica pasa por un circuito de acondicionamiento de señal, la cual puede, por ejemplo alterar la amplitud, la frecuencia o (en casos de señales digitales) la forma de la señal. En la práctica, en sistemas de comunicación este alteramiento consiste en cambiar el código de la línea, y la adición de información siguiente como canales de servicio por ejemplo: la señal una vez acondicionada es llevada a un conversor electrico-optico.

Los conversores electrico-optico son dispositivos semiconductores que producen una radiación en la banda de luz mediante un estímulo eléctrico. Como fuentes luminosas se utilizan básicamente dos tipos: diodos emisores de luz (led's) especialmente diseñados, junto con láseres semiconductores (diodos láser) de alta calidad. Estos dispositivos convierten variaciones de corriente en el dominio del tiempo en variaciones correspondientes de luz. Con estas variaciones es como se modula a la portadora, por ejemplo, ante la señal de 1 en la señal eléctrica digital, la portadora toma un nivel de emisión y baja su nivel con la presencia de un 0. Para acoplar los emisores ópticos con los cables de fibra óptica se utilizan conectores según sea el equipo a integrar a la red.

El mecanismo de conducción de la banda de luz dentro de la fibra óptica es regido por las leyes de física referentes a la reflexión y refracción.

La fibra óptica consiste de dos partes : una a base de vidrio de alta pureza o plástico, con un determinado índice de refracción y conocida como núcleo (alma de oxido de silicio combinado con sustancias como germanio, fósforo o flúor, rodeado por una envoltura de vidrio, cuyo índice de refracción de la luces inferior al del núcleo), y otra de vidrio muy puro, aunque en algunas ocasiones se ha utilizado también plástico para su fabricación, con un índice de refracción ligeramente menor al primero y es llamado revestimiento.

Tanto el núcleo como el revestimiento son transparentes a la luz, pero debido a la diferencia en sus índices de refracción estas ofrecen diferentes características de propagación. De esta forma, la frontera existente entre ambos materiales se comporta como un espejo reflejando aquellos rayos que inciden sobre dicha frontera abajo de un cierto ángulo, regresando al núcleo y provocando su propagación a lo largo de la fibra.

A este fenómeno de propagación de la luz se le conoce como reflexión interna total. En forma genérica todos los rayos de luz que atraviesan las fronteras de dos medios ópticamente transparentes de diferentes densidades experimentan una refracción y cambio de acuerdo con la Ley de Snell.

1.5 VENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA SOBRE LOS CONDUCTORES CONVENCIONALES

- ⇒ Gran ancho de banda en la transmisión.
- ⇒ Baja atenuación.
- ⇒ Por que tiene un ancho de banda para el futuro.
- ⇒ Distancias grandes entre repetidores.
- ⇒ Inmune al ruido.
- ⇒ Es transparente a condiciones ambientales (radiación, agua, etc.).
- ⇒ No es afectada por la interferencia electromagnética.
- ⇒ No se afecta por iluminación.
- ⇒ No hay problemas aterrizado, pues el conductor no es metálico.
- ⇒ Cables mas ligeros y manejables.
- ⇒ *Disposición ilimitada de materia prima.*

Las características mas importantes son de transmitir información a altas velocidades a grandes distancias, también al instalar fibra óptica se deja un ancho de banda para el futuro instalar mas equipo, o equipo mas sofisticado según avance la tecnología ya que al tener una red de fibra óptica se tiene la ventaja de que el equipo tardara en alcanzar la capacidad de transmisión de la fibra óptica.

Todas las ventajas se pueden utilizar con mayor claridad en las empresas donde se tienen sistemas de alta tensión, ya que es transparente al ruido y cargas electromagnéticas.

Se tienen varios sistemas donde se puede utilizar obteniéndose grandes resultados como son donde se enumeran a continuación:

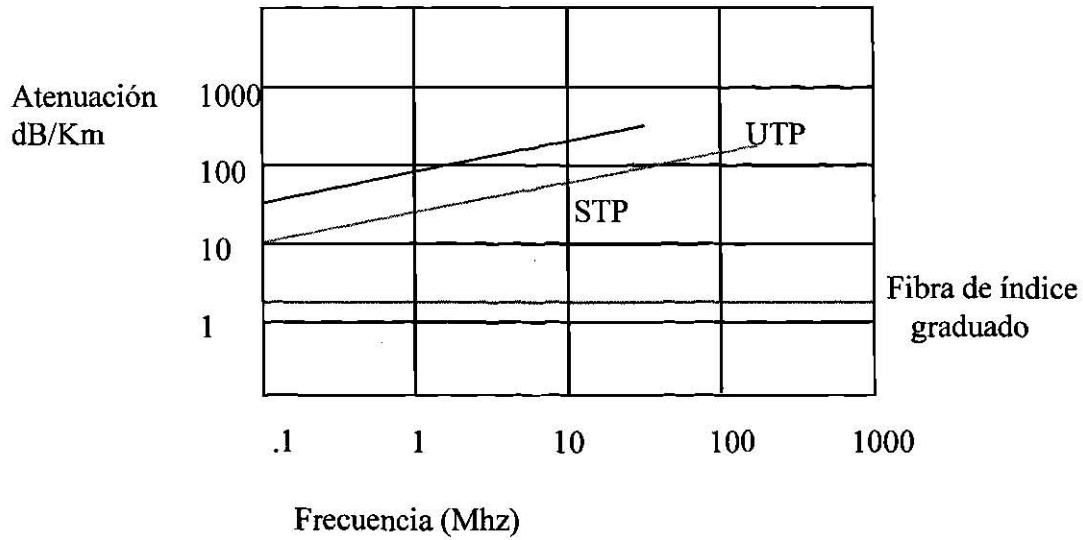
- 1) Redes de telecomunicaciones.
- 2) Sistemas troncales para telefonía.
- 3) Conexión con conmutadores y entre ruteadores.
- 4) Conexión con abonados.
- 5) Redes de comunicación de ferrocarriles.
- 6) Redes entre compañías nacionales e internacionales.
- 7) Videoconferencias.
- 8) Computadora a computadora.
- 9) Aplicaciones de control.
- 10) Motores de vehículos, aviones.

Se sabe que la fibra óptica por su pureza se utiliza también como elemento en la medicina para operaciones sofisticadas y además en el equipo que se utiliza en los hospitales. Se ha comprobado que los rayos solares al conducirlos por fibra óptica disminuye su grado de radiación haciéndolos mas saludables para plantas y animales.

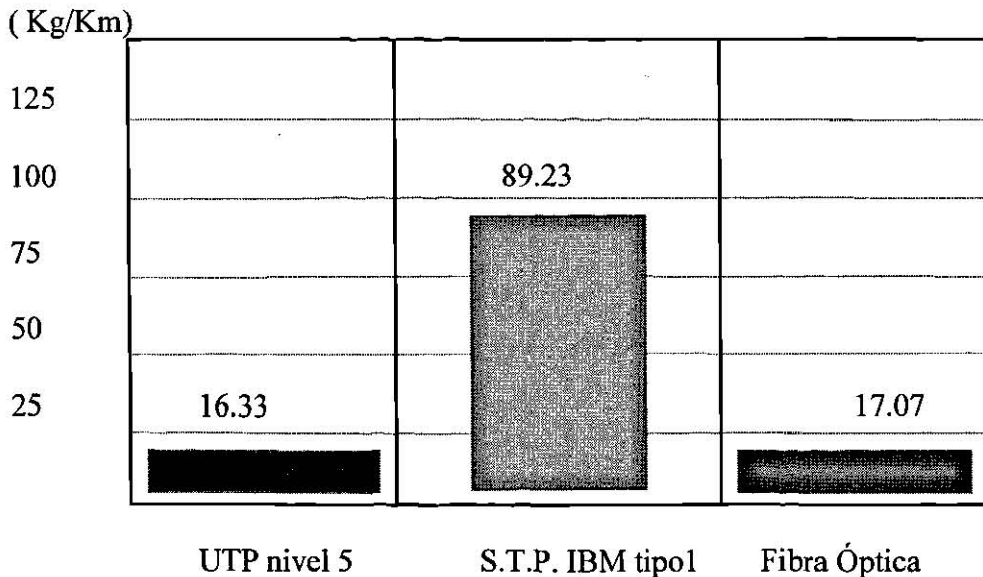
1.6 COMPARACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA CONTRA CONDUCTOR UTP

Atenuación:

La atenuación en la fibra óptica no depende en frecuencia.
La pérdida de señal es mas baja que en cobre.

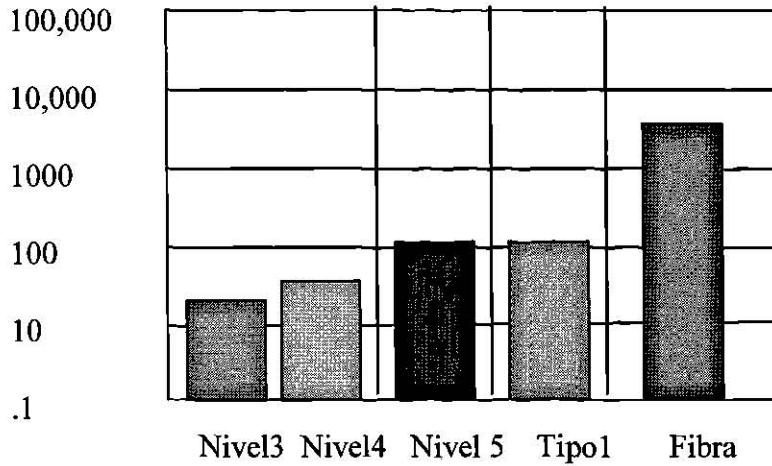


Peso de la fibra:



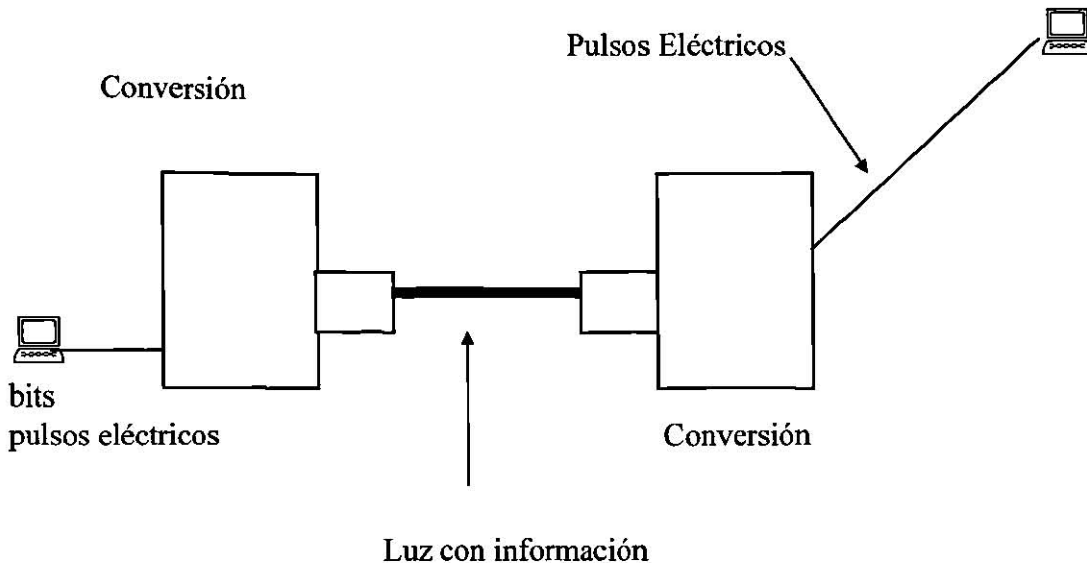
Dimensiones físicas: el cable de fibra óptica es mucho menos Voluminoso y mas flexible, el AT&T 1061 (4.3mm), el S.T.P. IBM tipo 1 (9.7mm) y la fibra o jumper (4.2 por 2mm).

Ancho de banda en Mhz @ 100m



1.7 PRINCIPIOS DE LA TRANSMISIÓN ÓPTICA.

En los sistemas de transmisión óptica la información a ser transmitida, en forma de una señal modula una fuente óptica apropiada, que la dirige hasta el lugar de recepción. En la recepción la señal óptica es reconvertida a una señal eléctrica. El proceso esta compuesto de un transmisor óptico, un cable con varios pares de fibras y un receptor óptico. Mediante un diminuto láser, el transmisor convierte los impulsos eléctricos en señales de luz, que el receptor óptico toma y reconvertiere en impulsos eléctricos que son los bits que entienden los equipos de computo y comunicaciones.



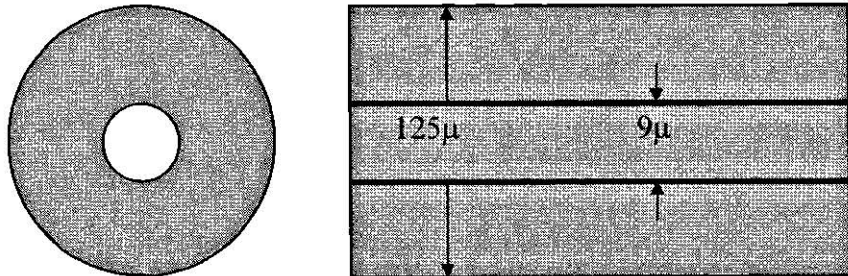
1.8 TIPOS DE FIBRAS

Las fibras ópticas se clasifican en dos formas:

1.- Por su relación núcleo/revestimiento en:

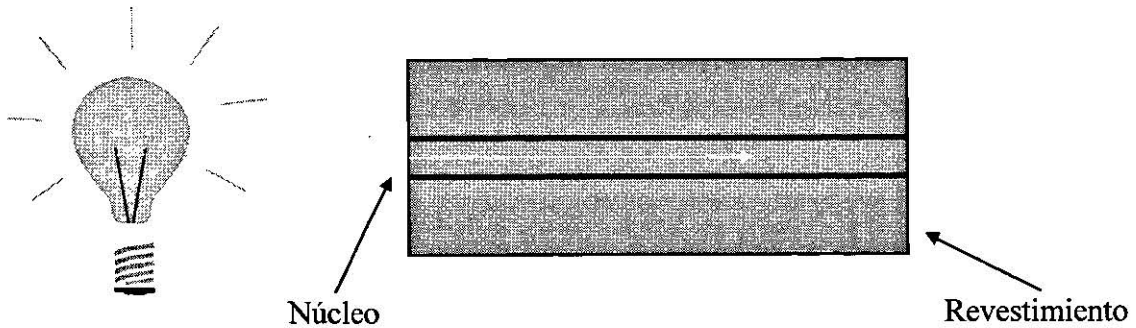
- a).- Monomodo
- b).- Multimodo

a).- Monomodo:



Su relación núcleo revestimiento es muy chica, por lo general $9/125\mu$.

Se utilizan principalmente en aplicaciones de muy alta velocidad y para muy grandes distancias.



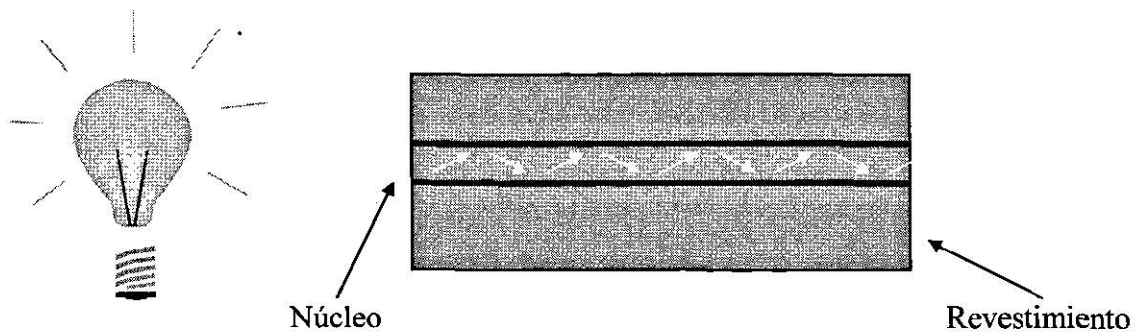
Así es la propagación en las fibras monomodo.

Fibras multimodo:

Su relación núcleo/revestimiento es mas grande (50/125 a 10/140), por lo general se usa la 62.5/125m.

Se utilizan principalmente en aplicaciones de redes locales de alta velocidad y para distancias de 1 o 2 Km.

El modo de propagación de la fibra multimodo es como se muestra en la siguiente figura:



De los tipos de fibras que existen y que operan en forma multimodal esta la de índice escalonado, cuyas características son aplicables a toda la descripción hecha anteriormente, pero presenta limitaciones debido a la gran dispersión modal, por ello existe otra construcción conocida como de índice graduado, en el cual el índice de refracción varia de una forma inversamente proporcional conforme este se aleja del centro y es expresado por la siguiente ecuación:

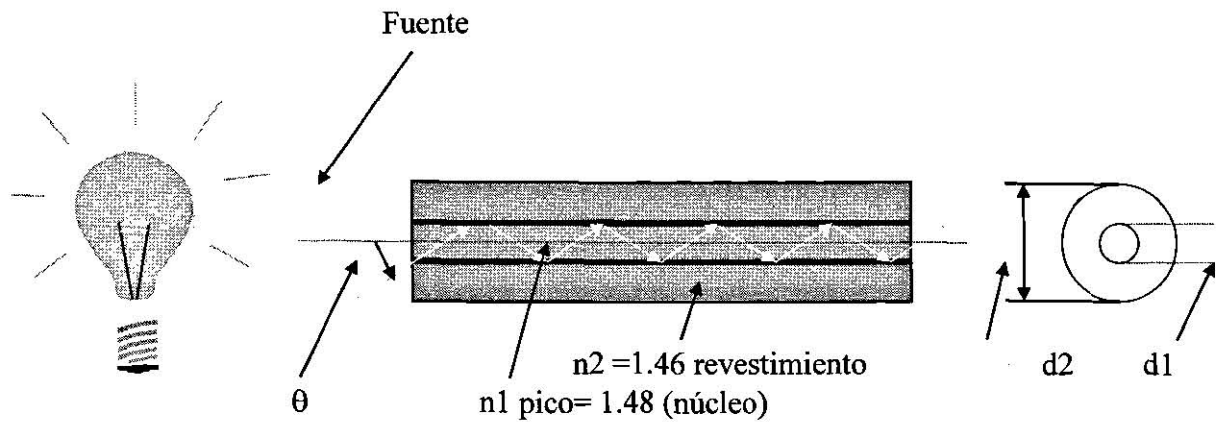
$$n(r) = n_0(1 - \Delta r)$$

En donde $n(r)$ es la variación del índice de refracción de acuerdo a la coordenada radial r , y Δ es la diferencia de índices de refracción, siendo $n_0 = n(0)$. Este tipo de fibras es de gran importancia en aplicaciones de gran ancho de banda para larga distancia por la disminución en el valor de la dispersión modal obtenida (anchos de banda hasta de 2 Ghz y distancias hasta de 10 Km sin repetidor).

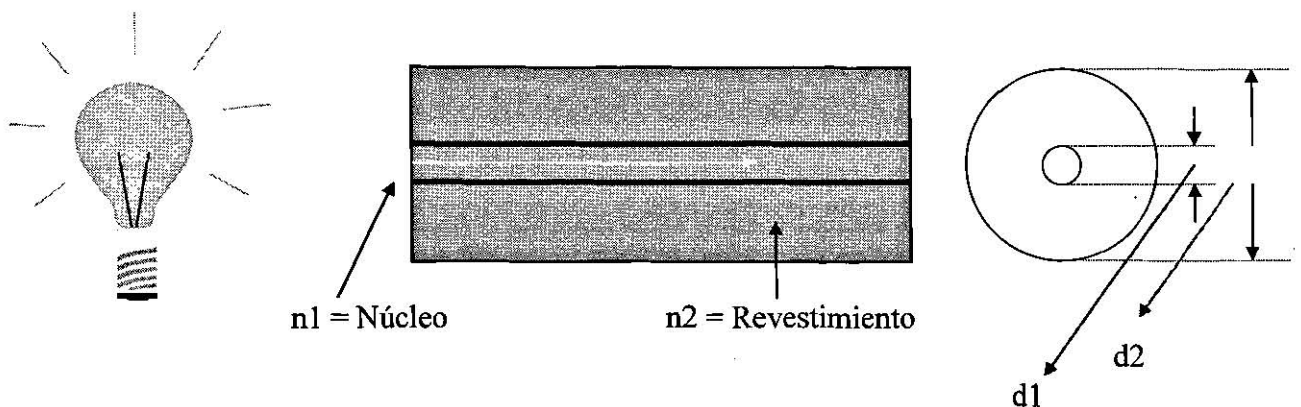
Cuando el volumen de los datos a transmitirse se incrementa, es necesario emplear un tercer tipo de fibra, conocida como fibra óptica unimodo.

Uno de los problemas mas importantes de las fibras con índice graduado es la dispersión cromática, esto consiste en la dispersión del pulso causada por diferentes longitudes de onda que requieren de diferentes tiempos para viajar a través de la fibra, provocando limitaciones en la calidad de la transmisión.

Propagación de la luz en una fibra multimodo de índice graduado.



Propagación de un solo modo a través del núcleo de una fibra unimodo.



Mediante el empleo de construcciones con núcleo mas pequeño (en la fibra multimodo, el núcleo es de 50 μm de diámetro con una diferencia de índice núcleo revestimiento del 1%, mientras que en la de tipo unimodo es de 9 μm , con una diferencia del 0.33%; en ambos casos el revestimiento es de 125 μm de diámetro) es posible transmitir un solo modo de propagación a un tiempo (estrictamente hablando, se propagan dos modos ortogonalmente polarizados). Esto permite manejar un ancho de banda muy amplio comparado con las fibras multimodales como se observa en el cuadro 1.

La propagación de un solo modo en este tipo de fibras solo se obtiene con longitudes de onda mayores a la longitud de onda de corte, por lo que la dispersión modal no resulta ser una limitante en el ancho de banda: esto se debe a que la combinación de materiales particularmente contaminados, con los efectos de guía de onda sobre la fibra, permiten obtener una dispersión cercana a cero (su valor oscila en 3.5 ps/Km-nm); además, mediante el empleo de algunas geometrías especiales en la fibra unimodo, es posible lograr la transmisión de luz polarizada (aplicable al desarrollo de sensores) o el multiplexaje de varios diodos láser por una sola fibra.

Cuadro 1

Características de operación de las fibras ópticas.

Tipo	Longitud de onda (nm)	Perdida (dB/Km)	Ancho de banda (Ghz-Km)
Multimodo			
Índice graduado	850	3.0	1
Índice graduado	1300	1.0	2
Unimodo	1300	0.5	20
Unimodo	1550	0.3	20

1.9 FUENTES Y DETECTORES

Los sistemas de comunicaciones por fibras ópticas han fundamentado su desarrollo en los diodos láser semiconductores y en los diodos emisores de luz (led). Cada uno de ellos presentan características especiales que se deben considerar para su adecuada selección: potencia de salida, directividad, longitud de onda y ancho espectral, respuesta, linealidad, sensibilidad a la temperatura, costo y tiempo de vida. En la tabla dos se presentan algunos de estos parámetros, mientras que en la tabla tres se muestra el costo estimado en dólares de las fuentes ópticas más usadas.

Tabla 2

Características de los transmisores ópticos.

Fuente	Material	Longitud de onda (nm)	Potencia Acoplada (nW)	Ancho de banda (MHz)	vida (h)
Láser	GaAlAs	850 (3)	1.0	100	10
LED	GaAlAs	840 (50)	0.1	50	10
Láser	InGaAsP	1300 (3)	1.0	500	10
LED	InGaAsP	1300 (50)	0.05	100	10
Láser	InGaAsP	1300 - 1 550	-	20 x 10	-

Unimodo, láser mono-frecuencia (experimental).

Tabla 3

Costo estimado de las fuentes ópticas (en dólares).

Dispositivo	Mínimo	Máximo
840 nm LED	5.00	300.00
1300 nm LED	450.00	800.00
840 nm Laser	300.00	1000.00
1300 nm Laser	1800.00	3500.00
1300 nm Laser (Unimodo)	2200.00	4000.00

Después de tener la luz acoplada y transmitida por la fibra óptica, debe ser detectada de alguna forma . Existen dos tipos de dispositivos utilizados: el fotodiodo PIN y el de avalancha: ambos pueden detectar señales tanto a 850 nm como a 1300 nm y los factores mas importantes considerados para su selección son los siguientes: responsividad, longitud de onda, ruido intrínseco del dispositivo empleado, respuesta y costo. En este caso la directividad no es un problema, ya que el área del detector es muy grande comparada con el área de acoplamiento de la fibra al mismo.

El empleo de fotodiodos PIN es recomendado, sobre todo por los bajos costos y alta confiabilidad son importantes dentro del diseño del sistema. Los de tipo avalancha no son solamente los mas caros, sino los requerimientos para compensar en temperatura la fuente de voltaje de polarización aumenta el costo del sistema. A pesar de ello su alta sensibilidad y ancho de banda mayor a 100 Mhz, ofrece mayores ventajas con respecto a el primero. En la tabla cuatro se observan las características de varios tipos de receptores ópticos.

Tabla 4
Características de los receptores ópticos.

Tipo	Material	Longitud de onda (nm)	Sensibilidad del receptor *	Ancho de banda (MHz)
PIN	Si	840	-44	50
APD	Si	840	-60	50
PINFET	Si	840	-48	100
APD	AlGaAsP	1300	-44	500
PINFET	AlGaAsP	1550	-40	500

* Tasa de error 10^{-9}

El uso de dispositivos que trabajen en las regiones de 1300 nm y 1500 nm resultan todavía muy caros. Se espera que, a fin de obtener bajos niveles de ruido y mayor ancho de banda, se puedan desarrollar módulos de recepción integrados con el detector, el amplificador y el regulador de polarización incluido. Esto reducirá el costo de los repetidores para sistemas de larga distancia.

CAPITULO 2

CABLES OPTICOS

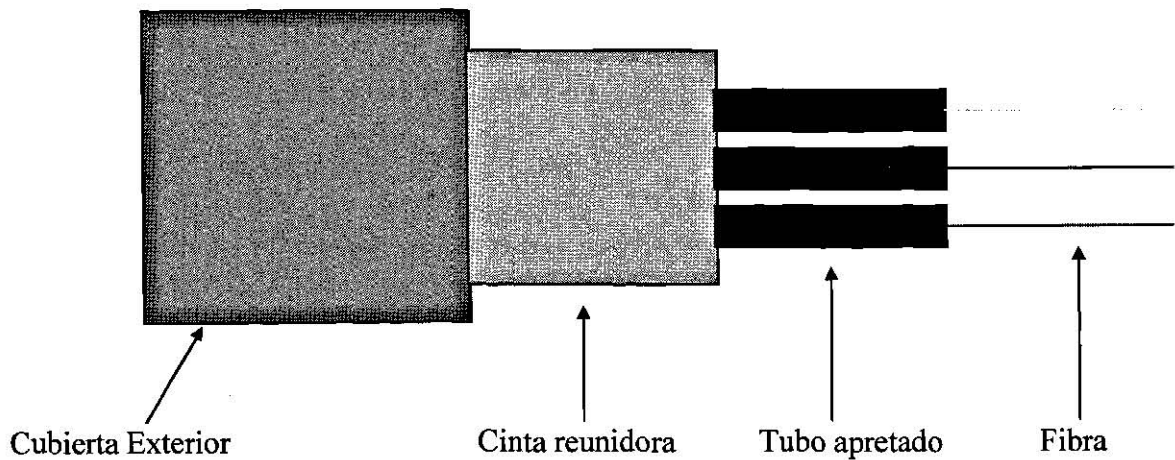
2.1 CABLES ÓPTICOS

COMPONENTES DE UN CABLE ÓPTICO

También las fibras ópticas se pueden clasificar por su construcción en:

- * Fibras para interiores
- * Fibras para exteriores

Fibras de uso interno (Breakout)



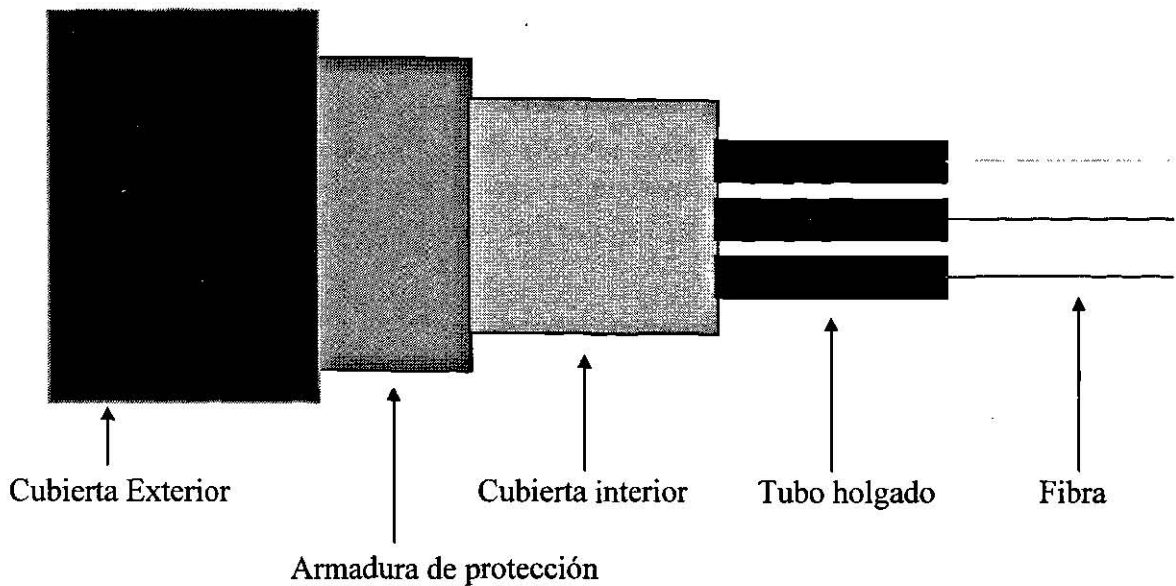
Fibra óptica de 6 hilos multimodo 62.5/125 µm.

Fibra de uso interno (Jumper).



Fibra de uso externo armada.

Este tipo de fibra esta protegida por una armadura formada por una malla metálica, para tener una mayor resistencia al estiramiento en su instalación por los ductos de la compañía telefónica, también cuenta con una cubierta interior para la protección de los tubos holgados que contienen la fibra óptica, la cubierta exterior es de un plástico muy resistente a las condiciones climáticas, a pesar de todos los componentes es muy manejable y flexible, otro componente que algunos conductores de fibra contienen es una guía de acero en el centro de la estructura para tener una mayor resistencia al estiramiento donde los tramos entre registros son muy grandes para su instalación.



Fibra óptica 6 hilos multimodo 62.5/125 μm .

A continuación se nombran y definen todos los componentes que forman el cable óptico:

- ◆ Cubierta primaria.
- ◆ Cubierta secundaria.
- ◆ Miembro de tensión.
- ◆ Barrera contra la humedad.
- ◆ Cubiertas de cable.
- ◆ Armadura.
- ◆ Barrera térmica.

◆ **Cubierta primaria.**

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

◆ **Cubierta secundaria.**

Para proporcionar a la fibra óptica una protección radial contra los esfuerzos mecánicos, se le coloca una cubierta secundaria, la cual puede ser de dos tipos: de tubo apretado (tinht), o de tubo holgado (loose). Como se muestra a continuación.

Tubo holgado.



Tubo apretado.



Cubierta de tubo apretado.

La cubierta de tubo apretado es un recubrimiento grueso aplicado sobre la cubierta primaria.

Los materiales que se utilizan pueden ser polietileno, nylon, poliéster o prolipropileno. Para proporcionar una protección adecuada se debe tener un diámetro entre 0.8 a 1 mm. Su aplicación se efectúa en una línea de expresión especial, ya que debe tenerse un cuidadoso control para evitar daños en las propiedades de la fibra.

Cubierta de tubo holgado.

En la cubierta de tubo holgado, las fibras ópticas se colocan en tubos termoplásticos con una cantidad de 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 hidrocópico como la jalea de petrolato (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. La fibra es un poco más baja que el tubo y tiene una configuración de hélice.

Se debe tener cuidado al escoger la cantidad extra de fibra, ya que si la fibra es muy larga, y el paso de la hélice muy corta, se pueden originar microcurvaturas, aun sin someterse a esfuerzos mecánicos; si la fibra es muy corta, las pérdidas en la fibra, se presentan como pequeños esfuerzos de tensión. En el proceso de expresión se aplica el Jelly y el tubo con el color respectivo en forma simultánea. Con el método del tubo holgado, la fibra tiene menos pérdidas, además de un mejor aislamiento a esfuerzos mecánicos. Se pueden agrupar hasta 10 fibras en un mismo tubo (en el caso de 3 mm) constituye la cubierta apropiada para su incorporación a un cable con una estructura mayor.

◆ **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 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:

1.- Acero.

Es utilizado ampliamente en forma de cable o alambre, como miembro de tensión central, por su alto esfuerzo longitudinal y en forma de fleje 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 agrega el cable, además que no se puede utilizar cuando se requiere un cable totalmente dieléctico.

2.- Filamento plástico.

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

3.- Fibras sintéticas.

Las fibras sintéticas comúnmente usadas como miembros, se presentan trenzadas o agrupadas. Se pueden utilizar además como miembros de cable. Existe un material excepcional para esta clase de trabajo, el, cual se utiliza ampliamente por su alto modo de elasticidad, el cual relacionado con su bajo peso, es cuatro veces mejor que el acero. Este material es de Aramida (Kevlar), es un poliéster aromático que se presenta en delgadas fibras trenzadas, agrupadas o unidas con resina.

4.- Fibras de vidrio.

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

5.- 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 y semirrígidos, o compuestos de material obteniendo un modulo de elasticidad similar al acero, con muy bajo peso.

Además de la fuerza mecánica, el peso, y el limite de elongacion también son importantes el coeficiente de expansión térmico y el precio de los miembros de tensión. La fuerza, el peso y el limite de elongacion determinan el tamaño necesario del cable para cumplir las especificaciones requeridas, mientras que el coeficiente de expansión alto es determinante en el diseño estructural del cable, ya que un coeficiente de expansión alto con relación al de la fibra podría generar una tensión en la fibra, junto con la estructura del cable en un rango de temperatura determinado.

◆ **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), el cual, además de ser repelente al agua, debe de 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 libres los elementos del cable.

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

◆ **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 una expansión térmica similar a los componentes adyacentes al cable, de tal forma que no se transmita esfuerzo mecánico a la fibra.

Los materiales mas comunes empleados son:

- ◇ El polietileno (PE).
- ◇ El cloruro de polivinilo (PVC).
- ◇ El Fluoruro de Etilenopropileno (FEP).

Polietileno.

Tiene excelentes propiedades eléctricas y mecánicas, es fácil de colorear, tiene buena flexibilidad en frío y buena resistencia a la humedad, aceites, productos químicos y ozono, así como un precio relativamente bajo. Es muy resistente al envejecimiento. Al PE translucido los rayos ultravioletas causan cuarteaduras, por lo que se debe incorporar un pigmento de negro de humo bien dispersado. El polietileno no contiene plastificantes. El polietileno es propagador de la flama por lo que se recomienda para cables exteriores. Se puede mejorar la resistencia a la flama agregando compuestos antifuego pero este influye negativamente sobre las propiedades eléctricas y mecánicas.

Cloruro de polivinilo

El Cloruro

El cloruro de polivinilo (PVC) es un material termoplástico recomendado para temperaturas entre 5 y 70 °C. Tiene muy buena resistencia a la fricción. La dureza puede adaptarse dentro del rango de su uso, por medio de distintos tipos y cantidades de plastificantes. El PVC es resistente al envejecimiento, al ozono, ácido, aceites y solventes. Sin embargo algunos aceites y solventes pueden producir migración de los plastificantes endureciendo el PVC. El cloruro de polivinilo es un material difícilmente combustible pero los diferentes tipos de plastificantes utilizados para su ablandamiento son combustibles.

◆ **Armadura.**

Ya que el cable en algunas ocasiones esta sujeto a 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 mas utilizado es el acero. La armadura de flejes puede ser colocada en forma helicoidal o longitudinal. Para darle mayor flexibilidad al cable se corruga el fleje longitudinal.

La armadura debe colocarse sobre una cubierta interna de polietileno para no transmitir esfuerzos mecánicos a la fibra. Pudiéndose además otra cubierta de polietileno sobre la armadura para facilitar su manejo. El espesor de los componentes de la armadura dependerá de la protección deseada.

◆ **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 preferentemente se utilizan son el Teraftalato de polietileno y el papel de pulpa de madera.

2.2 ESTRUCTURAS DE LOS CABLES ÓPTICOS.

Existen básicamente tres tipos de construcciones que se emplean:

- * Elemento central de tensión (ECT).
- * Núcleo ranurado (NR).
- * Elemento exterior de tensión (EET).

Elemento central de tensión.

Este tipo de estructura consiste de un miembro de tensión colocado en el centro del cable y alrededor de él se colocan las fibras con cubierta secundaria en forma helicoidal rellenándose los espacios libres con Jelly, para darle una protección contra la humedad. El conjunto se reúne con una cinta de mylar para mantener primeramente en su lugar las fibras y posteriormente servir como una barrera térmica en el proceso de expresión de las cubiertas, formándose así el llamado núcleo del cable. Cuando se requiere alta densidad de fibras se pueden usar varias capas o bien utilizar tubos holgados que contengan mas de una fibra. Si se requiere buena flexibilidad del cable se deberá usar cubierta secundaria de tubo apretado, aunque como desventaja el cable es mas sensible a la temperatura.

Estructura de núcleo ranurado.

Este sistema incorpora al miembro central de tensión una cubierta plástica de gran espesor con ranuras en la periferia (de 6 a 12 ranuras) que van en forma helicoidal. En estas ranuras, se alojan las fibras, estas fibras pueden ir con cubiertas secundaria de tubo apretado, o bien únicamente con cubierta primaria, pudiendo ir con cada ranura mas de una fibra, dependiendo de la densidad de fibras que se requieren en el cable. De esta forma las fibras quedan desacopladas de los esfuerzos de tensión y tienen libertad de movimiento. Los espacios libres que no son ocupados por la fibra son llenados con Jelly, y posteriormente encintados con mylar, formándose así el núcleo del cable. A este núcleo pueden colocársele los demás elementos del cable, de la misma manera que en la estructura anterior.

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

Elemento de tensión exterior.

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

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

Este tipo de estructura se emplea frecuentemente en los cables monofibra y dúplex que se utilizan para la interconexión a los equipos (pig tails y jumpers). Sobre el miembro de tensión externo se colocan los demás elementos que conforman el cable (cubiertas, armaduras, barreras contra la humedad, etc.).

2.3 EMPALMES, CAJAS DE EMPALME Y CONECTORES.

Unión de fibras ópticas.

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

Las uniones de las fibras pueden ser fijas o temporales, en las primeras la unión se lleva a cabo por un empalme permanente, y en las segundas se utilizan conectores que puedan ser removibles. El tipo de unión que se elija dependerá de las necesidades de la instalación, por ejemplo, si se requiere una unión permanente de tramos largos de fibra óptica con muy bajas atenuaciones, por otra parte si se necesita instalar o retirar una fibra fácil y rápidamente, se emplean los conectores. El incremento de las pérdidas de un enlace es el factor mas importante que introduce cualquier unión de fibras ópticas, por lo cual, deben considerarse sus causas y la magnitud de sus efectos.

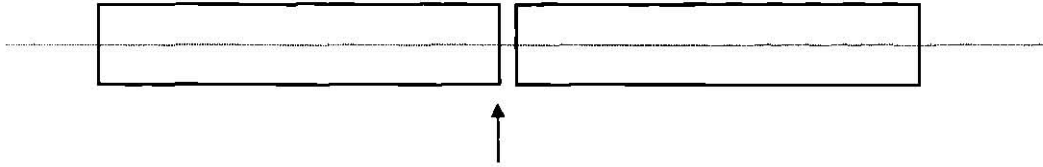
Las pérdidas pueden dividirse en extrínsecas e intrínsecas.

Las pérdidas extrínsecas a la fibra son causadas por desalineamiento mecánico de la unión de fibras. Este desalineamiento causan 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:

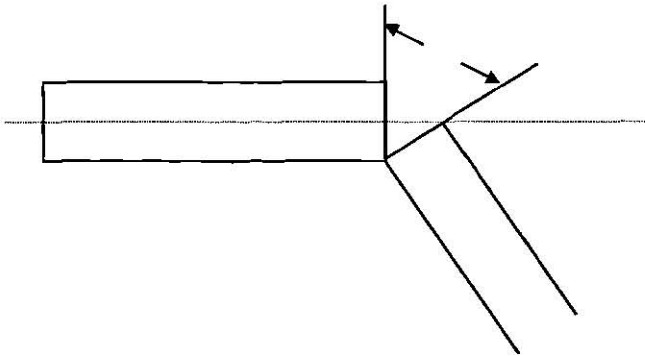
1.- Separación longitudinal, la cual ocurre cuando las fibras se unen sobre el mismo eje, pero tienen un espacio entre las caras de sus extremos

Se puede tener una separación y aun así tener comunicación pero con pérdidas.



Separación entre las fibras

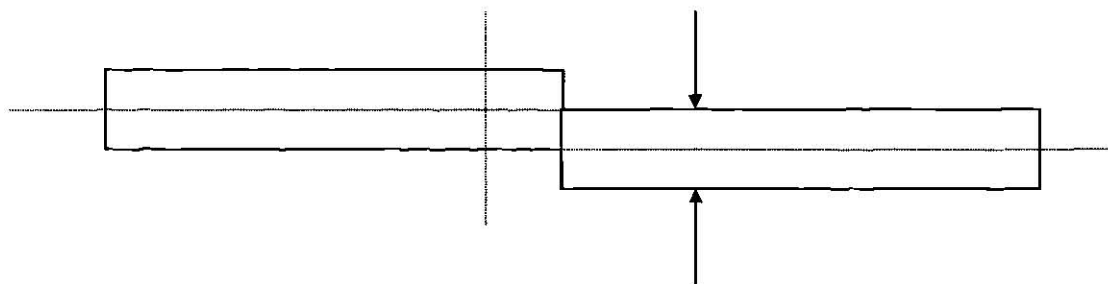
2.- Desalineamiento o falla angular, la cual sucede cuando los ejes de las fibras forman un ángulo y las caras de los extremos de las fibras dejan de estar paralelas.



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 desalineamiento mecánicos en la unión de fibras, están en función de método a los instrumentos utilizados para unir las fibras.



Desplazamiento Axial

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. Las variaciones en la geometría son:

- 1.- Diámetro del Núcleo
- 2.- Elipticidad del Núcleo.
- 3.- Apertura Numérica.
- 4.- Perfil del Índice.
- 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 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 daños son causados a la fibra durante su proceso de fabricación, y la forma de disminuirlas es mediante la utilización de fibras ópticas de alta calidad, que cumplan con rigurosas especificaciones y aseguren pérdidas despreciables al unir las entre sí.

Empalmes.

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

a) Empalmes Mecánicos.

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

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) acomodados uno frente al otro en forma manual, se les acomoda tan cerca como sea posible para la unión, pero este método hoy en día es obsoleto la capacidad de las empalmadoras actuales no permite empalmes mecánicos.

Se puede agregar una sustancia epoxica para adherir las fibras y además actuar como acoplador óptico. Las varillas son de un diámetro mucho mayor que el de la fibra y debe tener dimensiones muy precisas con tolerancias menores de 0.04m. Se tienen otros tipos de empalmes utilizando cuatro y seis varillas, con lo cual se tienen más puntos de alineamiento y menor volumen en el empalme.

Método de Ranura en V.

El método más utilizado de empalme mecánico es el de 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 sus 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.

Existen distintos tipos de empalmes con el método de la ranura en V . El mas sencillo utiliza una tapa plana. También puede utilizarse una tapa con otra ranura en V e inclusive existe un diseño con 3 secciones ranuradas, estas ofrecen una alineación de la fibra en forma mas precisa con la desventaja que requieren mas piezas de precisión, lo cual eleva el costo.

En este método del 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 extiende 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 ello se eliminan las fallas angulares y radiales reduciendo las pérdidas en el empalme.

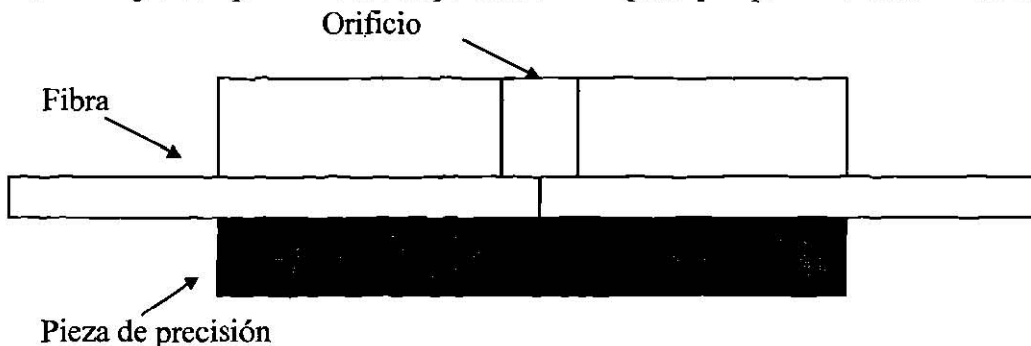
Otros Métodos.

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

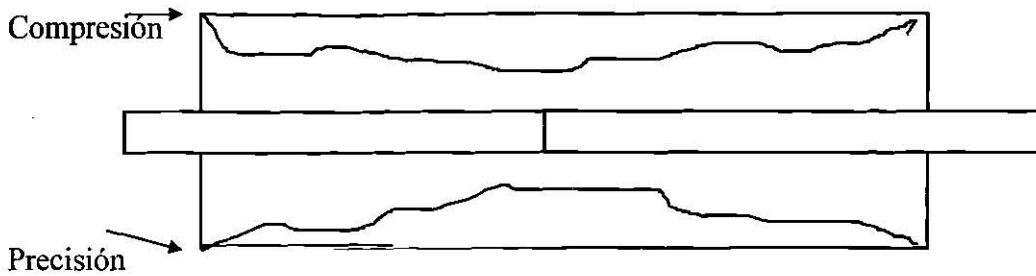
El mas sencillo es el empalme por tubo en donde se tiene una pieza de vidrio u otro material, con un orificio en forma de tubo y con un diámetro de la fibra a unir, incluyendo un orificio lateral para el adhesivo.

Se tiene el inconveniente de que es difícil introducir la fibra en un orificio tan pequeño y además la pieza debe de 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 del tubo es aquel que utiliza un tubo con dobleces de 15° en sus extremos como se muestra en la figura . La construcción puede hacerse con cuatro pequeñas varillas de vidrio. Los dobleces obligan a la fibra a apoyarse en la ranura en "V" como se muestra en la figura



El empalme por fusión es el empalme más utilizado y consiste en aplicar calor en una zona específica entre las fibras a unir, suavizándolas y fusionándolas. Las fibras deben prepararse precisamente en sus extremos quitándoles las cubiertas secundaria y primaria, cortando las caras de los extremos para que estén planas y perpendiculares al eje y limpiando la fibra de grasa y polvo. A continuación la fibra se monta ya sea en una base ranurada o en sujetadores controlados por microposicionadores accionados por motores con la libertad de poder moverse en las tres direcciones para tener 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 en un lapso muy pequeño, mucho menor que en la fusión, con lo que se redondean los extremos suavizando la superficie, evitando con esto las imperfecciones.

Para aplicar calor a la unión se aplica principalmente un arco eléctrico aunque también se tiene fusión 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 debe de estar cuidadosamente controlados para obtener un empalme eficiente. Para la optimización de este método, se alimenta luz en un extremo de la fibra a empalmar y en otra fibra se recoge la luz de la misma forma y midiéndola y observándose que donde la potencia óptica recibida sea la mayor se tendrá la alineación óptima de las fibras. Esto puede efectuarse automáticamente sin intervención del operador.

Mediante el método de fusión se logran atenuaciones por empalme entre 0.5 y 0.1 dB llegando a tener inclusive menos de 0.01 dB.

Una vez hecho 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 manejo de la fibra, crecimiento de grietas por calentamiento y esfuerzos residuales por cambios en la composición química disminuyen considerablemente la resistencia mecánica del punto de unión en las fibras.

Maquinas para empalmar fibras ópticas.

A partir de los años 70's se comenzaron a desarrollar las primeras maquinas 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 perdidas aceptables, la maquina para empalmar debe manejar y monitorear varios parámetros.

Dichos parámetros 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 maquinas para empalmar, comenzando primero por fusión con gas, después por arco eléctrico formado por dos electrodos y finalmente se ha desarrollado la aplicación de láser para la fusión. El primer método resulto con grandes perdidas ya que el mismo quemador de gas generaba impurezas en la unión de fibras. El ultimo método es aun muy costoso aunque sigue en desarrollo. Por lo que el método de fusión por arco eléctrico es comúnmente utilizado, en el se controla la corriente aplicada a los electrodos.

Para poder alinear la fibra se debe utilizar un sistema de monitoreo, el cual por lo general esta constituido por un juego de espejos y lentes amplificadas por un microscopio o una pequeña cámara de vídeo.

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

Para la medición de las perdidas 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 dobléz, varia el ángulo de incidencia de la luz sobre el revestimiento dando como resultado que parte de la luz pueda entrar o salir al exterior de la fibra.

Para inyectar la luz se dobla la fibra en un diámetro de entre 6 y 8 mm, para que la fibra no sufra una tensión excesiva. El equipo utilizado tiene un sistema con el cual se puede tener una evaluación de las pérdidas obtenidas en el empalme y así saber si un empalme es bueno o no.

Una tercer generación surgió con el sistema de alineamiento de perfiles de índice de refracción (PAS- Profile Alingn System).

El sistema reemplaza a el microscopio por una cámara de vídeo en donde se obtiene una señal de posición de los núcleos de las fibras a unir. Esta señal se utiliza para alinear automáticamente las fibras. De esta forma la alineación puede efectuarse a diferencia de la generación anterior, sin doblar o 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 solo consideran dos parámetros para 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, el cual se considera de cuarta generación.

En este equipo la estimación se hace en al zona del empalme y además toma siete parámetros para elaborar la estimacion, 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, al sistema se le denomina procesamiento de imagen del empalme caliente (WISP-Warm Splice Image Processing).

Por otra parte se ha venido desarrollando equipos de fusión para multifibras. Esto para poder competir con los conectores multifibras. En este tipo de maquinas se alinean y se 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.

Cajas de empalme.

A efectuar un empalme por fusión sobre un cable de fibras ópticas, se debe 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.

Las cajas de empalme se pueden instalar en postes, pozos de visita, en interiores o enterradas directamente en el suelo, por lo que deben ser altamente resistentes a la humedad, corrosión, esfuerzos mecánicos y temperaturas extremas.

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

Conectores de Férula o Casquillo.

En los 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 concentricidad entre fibra y el casquillo, ya que de ello dependen las perdidas en el conector. Existen una gran variedad de estos conectores siendo los mas representativos los siguientes:

a.- El conector FC, en donde la fibras 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 epoxica 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 automatizado. Tiene pérdidas entre 1 y 0.6 dB para las fibras monomodo. Se puede lograr menos perdidas mejorando las perdidas de pulido presentando una superficie mas plana. Es altamente durable (1000 inserciones).

El diseño FC-PC (Physical Contact), presenta en la punta del casquillo, en lugar de 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 perdidas llegando a tener menos de 0.5 dB conector. Se utiliza en transmisión de voz y datos en alta velocidad. Tiene alta durabilidad.

b) El tipo de SMA (Subminiatura- A) es un conector muy utilizado en equipo de transmisión de datos. Como su nombre lo indica, tiene un tamaño muy pequeño, además de buena durabilidad y amplia disponibilidad del mercado. Es uno de los conectores mas fáciles de ensamblar, ya que requiere de un mínimo de herramientas y de habilidad. Sus

CAPITULO 3

DIPOSITIVOS PARA LA EMISION Y DETECCION DE LA LUZ

perdidas no son tan bajas como FC-PC y se encuentran y se encuentra entre 0.7 y 2 dB. Además, se puede tener la cubierta externa del conector en distintos materiales dependiendo de la aplicación, pudiendo ser de acero, bronce niquelado o plástico.

Conectores Biconicos.

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

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 conector está el fabricado por **Diamond** al debe ajustarse el centrado de la fibra con un microscopio. Además contiene un casquillo que puede rotar 30 con respecto a todo el conector.

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

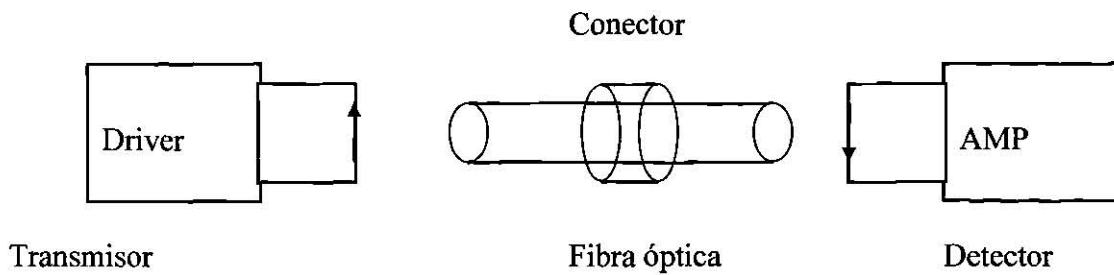
El ajuste se hace mediante cuatro tornillos radiales diferenciales con auxilio de una herramienta especializada; el segundo alineamiento, se lleva a cabo entre los casquillos a unir, estos son insertados en una esfera con un orificio, asegurando así que los ejes axiales de ambos casquillos y ambas fibras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

3.1 DISPOSITIVOS PARA LA EMISIÓN Y DETECCIÓN DE LA LUZ.

Un sistema de comunicación por fibra óptica más simple consiste de un fotoemisor, un fotodetector y fibras ópticas.

la siguiente figura nos muestra este sistema de comunicación.

Trayectoria de transmisión



ENLACE TÍPICO CON FIBRA ÓPTICA.

Un fotoemisor es un transductor de señal eléctrica a señal luminosa, y un fotodetector es un dispositivo que detecta y convierte la señal luminosa que recibe en señal electrónica.

El principio de operación de fotoemisores y fotodetectores se explica a partir de la física de estado sólido, ya que están contruidos de distintos materiales como.

Para los fotoemisores.

Ga As (Arsenuio de galio).

In Ga P (indio, galio y fósforo).

Para los fotodetectores.

Si (Silicio).

Ga As (Arsenuio de Galio).

P (Fósforo).

FOTOEMISORES

Los fotoemisores que se utilizan en un sistema de comunicación son el LED (diodoemisor de luz), y el diodo láser de inyección.

El LED se clasifica en:

Diodo emisor de superficie.

Diodo emisor lateral.

DIODO EMISOR DE SUPERFICIE.

El diseño de este tipo de LED se construye con una área de emisión pequeña (15 a 100 μm de diámetro), sumergido en un material semiconductor con el fin de disparar el calor eficientemente.

La separación de la superficie emisora es angosta para minimizar pérdidas por absorción. En este tipo de diodo la radiación es constante en todas direcciones, esencialmente isotópica y con una distribución de emisión de 120 grados.

DIODO EMISOR LATERAL.

Este tipo de diodo emplea una doble heterounión para confinar a los fotones en una capa angosta; la mayor parte de la radiación es por la capa reflectora, lo cual hace que la radiación efectiva sea muy alta.

Este tipo de diodo se utiliza con mucha eficiencia en una fibra con una apertura numérica pequeña comparada con la superficie emisora.

Una característica de los LED's es su salida espectral.. La salida espectral se considera un proceso aleatorio gaussiano, la siguiente gráfica nos muestra la intensidad relativa en función de la longitud de onda.

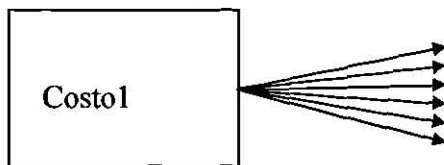
DIODO LÁSER DE INYECCIÓN.

El principio básico para la emisión de un diodo láser es la emisión estimulada.

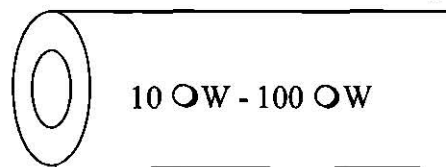
La amplificación de la luz se produce cuando un fotón incidente estimula la emisión de un segundo fotón, con una energía casi igual a la energía de separación entre los dos niveles electrónicos.

En las siguientes figuras se muestran los tipos de fotoemisores (LED's y láser) , así como la potencia que generan.

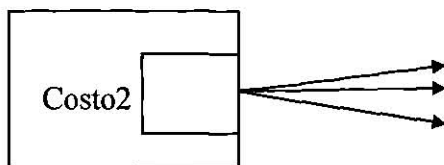
Diodo emisor de superficie



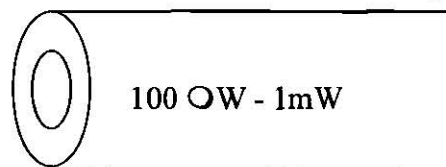
Potencia de entrada a la fibra óptica



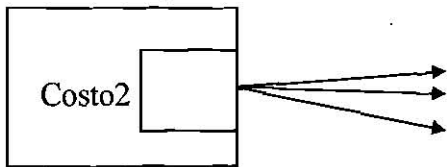
Diodo emisor lateral



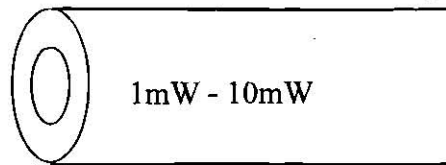
Potencia de entrada a la fibra óptica



Diodo láser de inyección

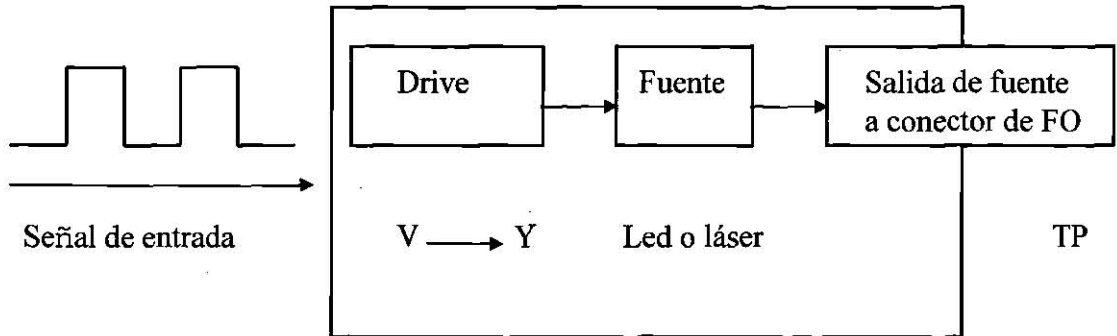


Potencia de entrada a la fibra óptica



Transmisión.

La siguiente figura muestra el diagrama a cuadros de un transmisor de fibras ópticas.



Transmisor

TP.- Potencia de salida del transmisor.

Los dos tipos de acoplamiento de salida de los transmisores mas comunes son:

PIGTAIL

ADM (Active Device Mount)

Comparación entre potencia, tamaño de la fibra y longitud de onda del Pigtail y ADM.

PIGTAIL

Tamaño de la fibra		100/140 μ m	62.5/125 μ m	50/125 μ m
Longitud de onda	830nm	+5 dB	TP	-3.5
Longitud de onda	1300 nm	-5.5 dB	-6 dB	-9.5dB

ADM

Tamaño de la fibra		100-140 μ m	62.5/125 μ m	50/125 μ m
Longitud de onda	830nm	+5 dB	TP	-3.5
Longitud de onda	1300 nm	-5.5 dB	-6 dB	-9.5dB

FOTODETECTORES.

El detector en un componente ideal en un sistema de fibras ópticas, su función es convertir la señal óptica recibida en una señal eléctrica, la cual se amplifica antes de ser procesada.

PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LOS FOTODETECTORES.

Un fotón puede ser detectado por un proceso de interacción de la materia en el que el fotón es aniquilado y su energía transformada en calor o corriente eléctrica.

Los requisitos para la ejecución y compatibilidad de detectores son muy similares a los requisitos de las fuentes de emisión.

Estos requisitos son:

- Alta sensibilidad de operación.
- Alta fidelidad.
- Amplitud de respuesta eléctrica a la señal óptica recibida.
- Tiempo de respuesta corto.
- Estabilidad de las características de ejecución.
- Tamaño físico del detector.

Los fotodetectores se clasifican en dos tipos.

- PIN (Positive Intrinsic Negative)
- APD (Avalanche Photodiode)

FOTODIODO PIN.

El fotodiodo PIN se utiliza para permitir la operación en longitudes de onda grandes donde la luz penetra más profundamente en el material semiconductor.

El Fotodiodo PIN tiene las siguientes características:

- Si se incrementa el ancho de la región activa se incrementa la eficiencia.
- El ancho de la región de agotamiento incrementa el tiempo de tránsito de los fotones.

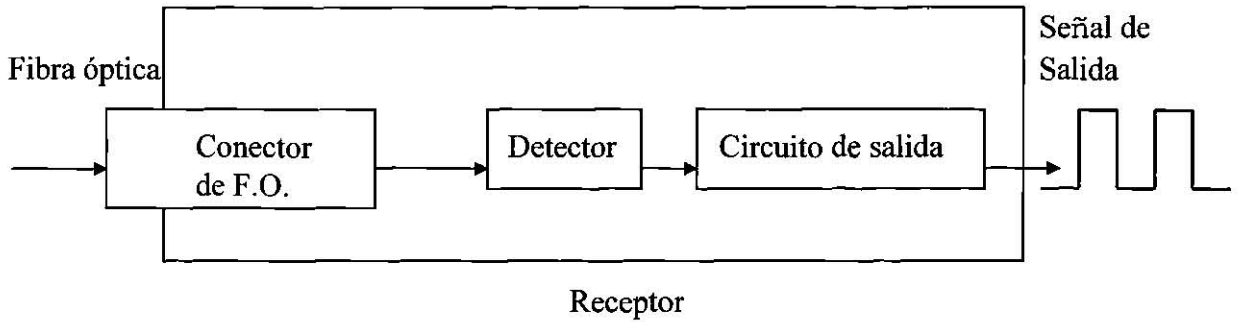
Fotodiodo APD.

El fotodiodo APD se polariza fuertemente siendo el campo eléctrico de la unión lo suficientemente grande para acelerar los fotones de carga y adquirir suficiente energía para más aceleración, de lo que se lograría por un proceso de ionización.

El fotodiodo APD puede tener una estructura y geometría que maximice la absorción de fotones.

Receptor.

La siguiente figura nos muestra el diagrama a cuadros de un receptor de fibras ópticas.



Detectores (Características).

PIN (Positive Intrinsic Negative).

Gran durabilidad, no es costoso, para uso rudo, etc.

APD (Avalancha Photodiodo).

Bajo ruido de preamplificación, muy costoso, mediana durabilidad.

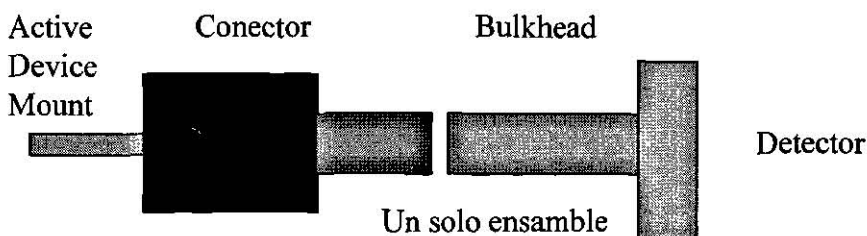
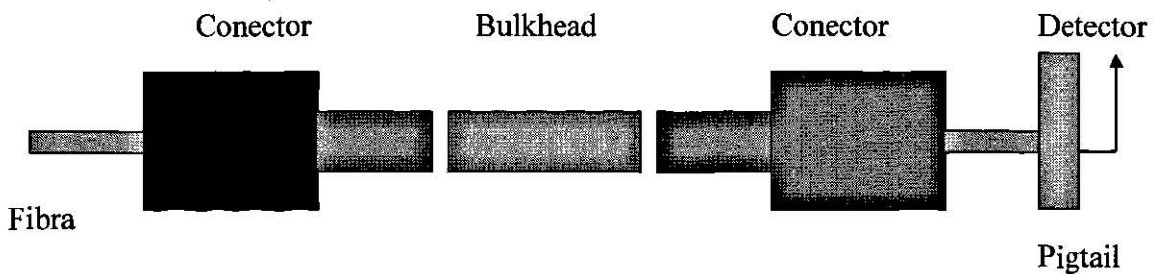
Longitud de onda.

Silicio (830 nm)

Ga As (1300 nm)

Acoplamiento Mecánico.

En las siguientes figuras se muestran los acoplamientos mecánicos que pueden tener los detectores.



CAPITULO 4

APLICACIONES GENERALES DE LA FIBRA OPTICA

4.1 Aplicaciones Generales de la Fibra óptica.

Las aplicaciones mas comunes son:

- Arrea nuclear
- Ecología.
- Terreno agroalimentario.
- Medicina.
- Odontología.
- Aeronáutica.
- Militar.
- Comunicaciones.

Arrea nuclear.

El terreno nuclear, gracias a ciertos dispositivos espectrofotometricos de medida a distancia, se puede analizar cuantitativa y cualitativamente las muestras de uranio y de plutonio en espacios blindados; esto es de gran utilidad en retratamiento de residuos radiactivos. El detector de partículas del CERN en Ginebra funcionan con ayuda de 60,000 fibras ópticas plásticas de centelló de 1mm de diámetro.

Ecología.

En cuanto al medio ambiente, los capadores de fibra ópticas están preparados para medir la acidez de los medios líquidos.

Terreno agroalimentario.

En el terreno agroalimentario, es posible determinar las tasas de azúcar contenidas en los alimentos: un captador de fibras ópticas se sitúa, por ejemplo: sobre la piel de un fruto conectado a un espectometro.

Medicina.

En medicina, los endoscopios de fibras ópticas exploran el cuerpo humano en profundidad: pólipos, úlceras, cáncer, arteriosclerosis, infartos y muchas otras dolencias pueden ser descubiertas a través de estos instrumentos, que reducen las molestias y evitan numerosas operaciones de exploración quirúrgica a los pacientes.

Otras se utilizan para cauterizar úlceras sangrantes: un láser de argon envia la luz, que es absorbida por el pigmento rojo de las celulas sanguineas, transformandola en calor y cauterizando casi instantaneamente los vasos sanguineos.

Odontologia.

En odontologia, se utilizan lamparas polimerizadoras- mediante el calor emitido a traves de la fibras opticas- para endurecer los empastes dentales.

Aeronautica.

En los dominios de la aeronautica y el espacio los boroscopios de fibras opticas - una especie de endoscopios - inspeccionan los motores de los aviones sin necesidad de demostrarlos. Tambien enlaces de fibras opticas en el interior del aparato resuelven numerosos problemas gracias a su inmunidad a las perturbaciones electromagneticas, su capacidad de transmision y su reducido tamaño.

Militares.

Las aplicaciones militares de esta fibra son: en la guia optica de torpedos, enlaces submarinos con los sonar y los misiles autopropulsados, sistemas de comunicacion sobre el terreno, hidrofonos, lentes de tiro con vision nocturna para carros de combate.

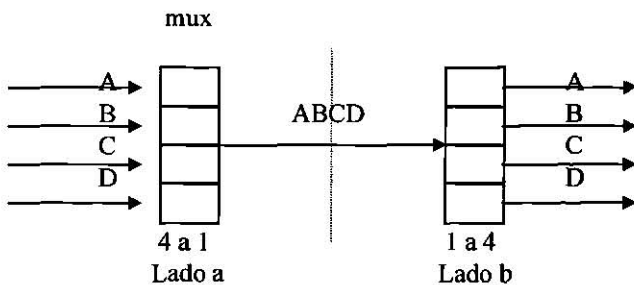
4.2 FUNCIONES DE LA FIBRA OPTICA EN TELECOMUNICACIONES

La fibra optica como ya se ha explicado tiene varias funciones en esta ocasion se vera enfocada a telecomunicaciones, para el uso optimo de la fibra optica se debe de contar con equipo multiplexor de alta capacidad, especializado para la implementacion de redes, soportando aplicaciones de voz, datos, imagenes, video, LAN, WAN, manejando diversos medios de comunicacion.

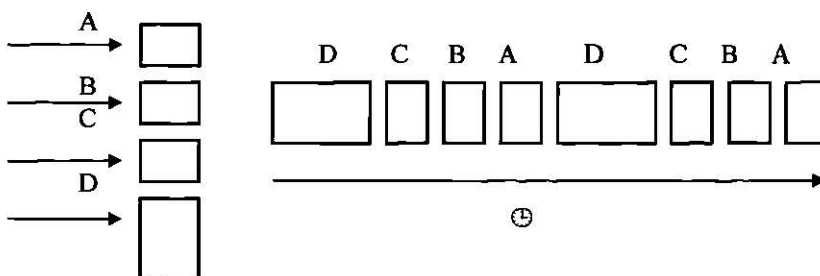
Para tener una vision de la necesidad de el multiplexaje se aplicara la **teoria y proposito del multiplexaje:**

1.- Las dos importantes categorias de multiplexaje son:

- FDM.- Multiplexaje por Division de Frecuencia.
- TDM.- Multiplexaje por Division de Tiempo.
- STDM.- Multiplexaje Estadistico por Division de Tiempo.

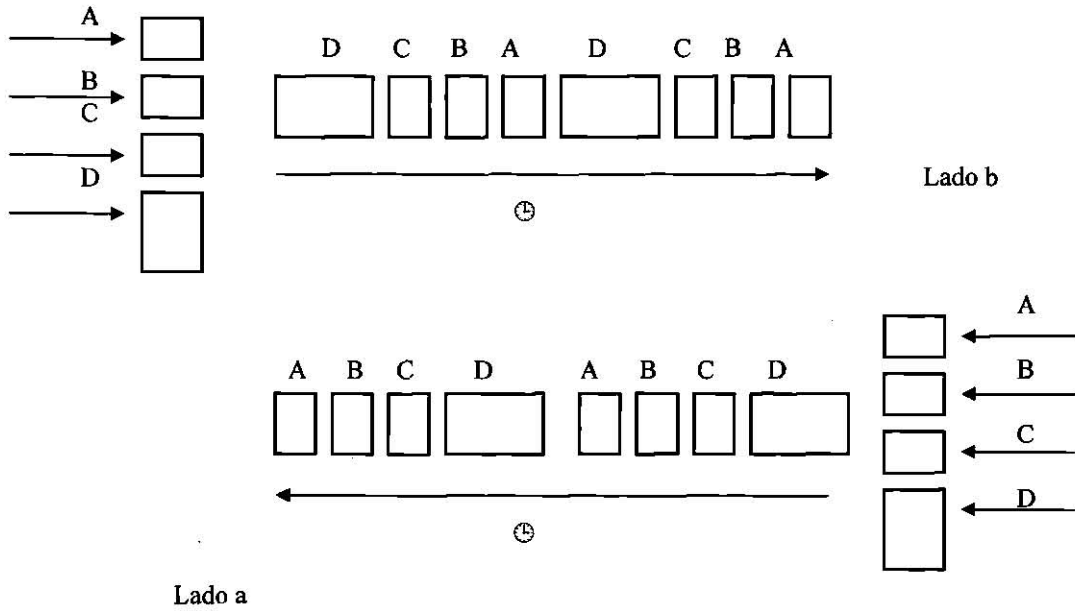


Multiplexaje es la tecnica de comunicaciones para combinar varias señales en una sola señal manteniendo la integridad de las señales combinadas, para posteriormente recuperarlas.



El multiplexaje TDM permite la asignacion de segmentos de ancho de banda adecuados al requerimiento de la aplicacion.

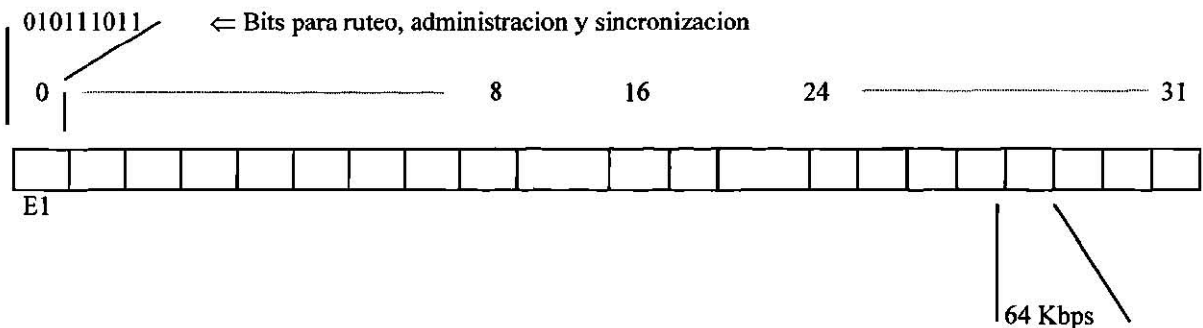
El multiplexaje requiere de comunicacion full-duplex, todas las señales se mantienen sincronizadas, la comunicacion es transparente a protocolos.



Una condicion para que el multiplexaje funcione libre de errores, es la exactitud y estabilidad de la sincronia que proporcione la compañía telefonica.

Un canal telefonico requiere de un ancho de banda de 64 Kbps, se disponen de mecanismos de compresion de voz a 32 Kbps y a 16 Kbps conforme a normas internacionales.

Estructura de un canal E1 que esta proporcionado por la compañía telefonica por medio de fibra optica para su utilizacion local o nacional, a continuacion se explica como funciona un E1;

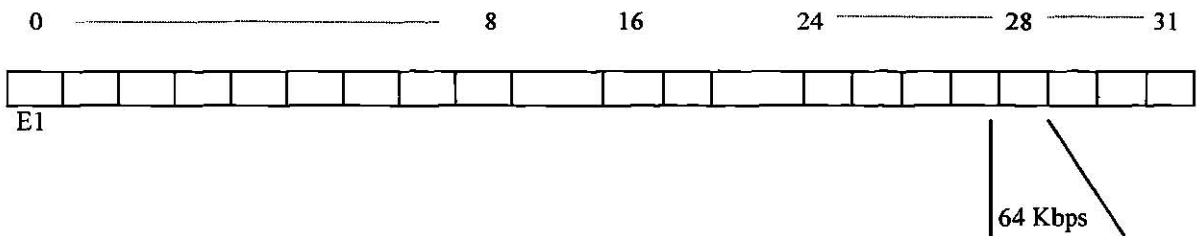


Estructura del canal E1

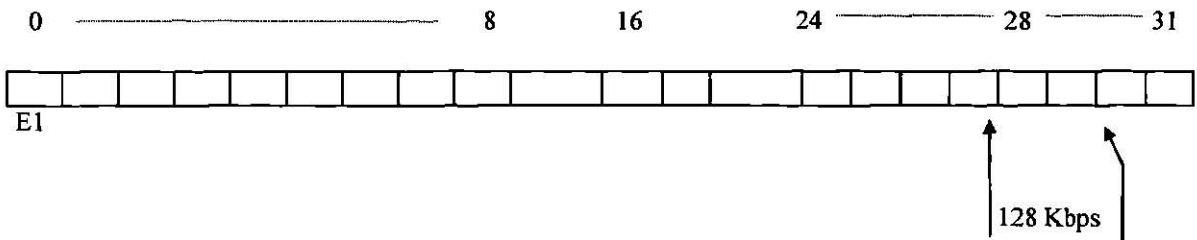
Cada uno de los segmentos puede ser utilizado para aplicación, permite la utilización de un segmento para varias aplicaciones, así un segmento puede ser subcanalizado conforme a los requerimientos de las aplicaciones:

Por ejemplo: 3 canales de voz, cada uno a 16.8 Kbps consumen 50.4 Kbps restando 13.6 Kbps que pueden ser empleados como canal de datos a 9.6 Kbps sincrónico o asíncrónico.

El segmento 28 contiene tres circuitos telefónicos más un canal de datos a 9.6 Kbps.



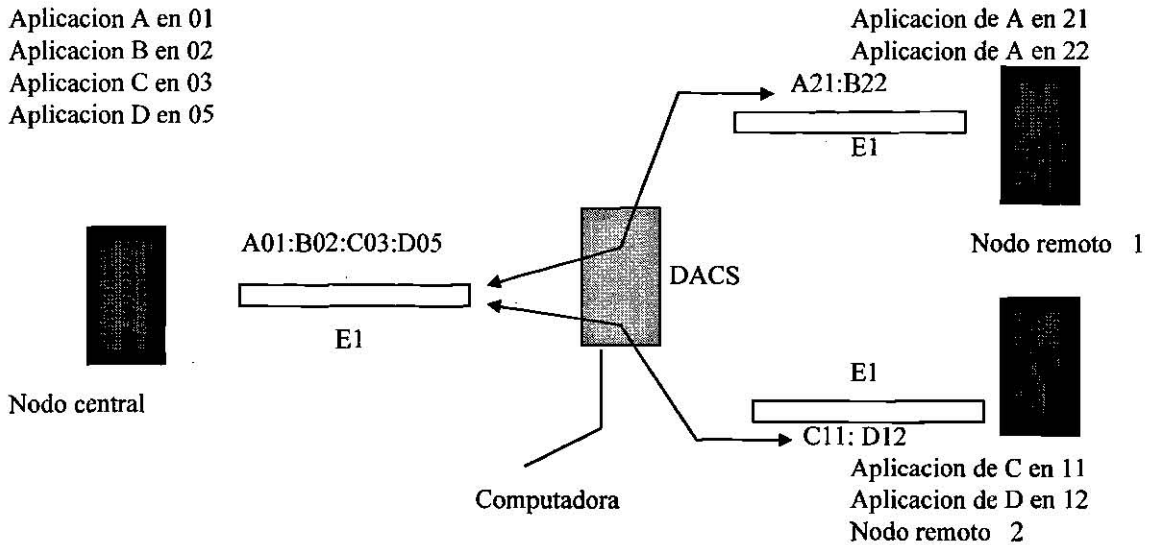
Cada uno de los segmentos es de tamaño fijo, sin embargo los multiplexores pueden utilizar segmentos contiguos para proporcionar el ancho de banda requerido por las aplicaciones.



Ejemplo: se pueden tener 7 canales de voz, cada uno a 16.8 Kbps consumen 117.6 Kbps restando 10.4 Kbps que pueden ser empleados como canal de datos a 9.6 Kbps.

Los segmentos 28 y 29 son manejados como un solo segmento de 128 Kbps de ancho de banda.

Los multiplexores en combinación con los servicios de RDI forman la red de comunicaciones. El equipo DACS de la compañía telefonica cumple funciones de ruteo de los segmentos de los E1's para cada nodo.



El E1 punto multipunto compuesto de fibra óptica funciona como un E1 pero sus E0 llegan a diferentes puntos de el país.

Para lograr el máximo aprovechamiento del E1 se debe tener el equipo necesario de multiplexaje y también buenos comprimidores de canales, a continuación describen las tarjetas necesarias para tener un buen aprovechamiento de un E1.

Para empezar se tiene la tarjeta CDA (combined digital aggregate) El modulo provee acceso full-duplex a los servicios RDI (E1).

Esta tarjeta maneja el dialogo de control y sincronía, efectúa la inserción y extracción de bits y frames de alarma, y además la señalización general para los equipos en la compañía telefónica.

Dispone de microprocesador propio para efectuar sus funciones, actuando como interface entre el E1 y las tarjetas de canales, manejando los segmentos (E0's) en forma independiente.

Tarjeta ACM ADPCM compression module.

El modulo maneja hasta 30 circuitos de voz PCM, efectuando tareas de compresión y descompresión.

Efectúa la interface entre las tarjetas de canales o circuitos de agregados, realizando la compresión requerida o pasando el segmento de voz a un E1 sin proceso alguno.

El modulo dispone de rutinas propias de diagnostico, para procesos de inicialización del modulo como para su operación constante.

Las dos tarjetas anteriores deben tener un respaldo de otra tarjeta igual ya que son las mas importantes de los componentes.

Tarjeta UDC Universal Data Card

La UDC es la tarjeta de canal que se emplea para conectar aplicaciones de datos (computadoras, ruteadores y todo lo referente a datos) al multiplexor.

Maneja señales asincronas, sincronas, isocronas, anisocronas, a velocidades desde 75 bps hasta 1,152 kbps.

Tarjeta UVC Universal Voice Card

La UVC es la tarjeta de canal que se emplea para conectar aplicaciones de voz (circuitos telefónicos) bajo señalizacion E&M al multiplexor.

La tarjeta UVC efectúa la digitalizacion (cuantizacion) de señales telefónicas analógicas y en su caso la compresión de estas, así como el proceso inverso.

Con el E1 y este equipo de multiplexion se puede tener una red optima trabajando, se pueden tener datos y voz como se explico anteriormente por la misma red.

4.3 GLOSARIO

Atenuación:

Es una medida de la pérdida de potencia de una señal óptica, expresada en decibeles por una unidad de longitud, comúnmente expresada en dB/Km.

Coefficiente de Atenuación:

Es la atenuación en una fibra por unidad de longitud.

Ancho de banda:

Es la capacidad de una fibra óptica de transmitir información. Entre mas grande sea el ancho de banda, mayor información puede ser transmitida a través de la fibra en un determinado periodo de tiempo.

Revestimiento:

Es la capa de material tal como vidrio o plástico que es fusionado a través del núcleo de una fibra óptica.

Núcleo:

Es el centro de la fibra donde la mayor parte de luz es transportada.

Acoplador:

Es un dispositivo para descomponer la señal óptica de una fibra en dos o mas fibras diferentes.

Decibel:

Es una medida de comparación de dos niveles de potencia.

Detector óptico:

Dispositivo que genera una señal eléctrica (típicamente una corriente eléctrica), cuando detecta luz.

Evento:

Esto es cuando hay una ruptura o cambio en la fibra ya sea por empalme o corte.

Reflexión de Fresnel:

Son reflexiones causadas por una discontinuidad en el índice de refracción de la fibra.

Láser:

Una intensa fuente de luz generada por la emisión estimulada de fotones.

Nanometro:

Unidad de longitud, la millonésima parte de un metro.

Fibra óptica:

Delgados hilos de vidrio ultra-puro diseñados para transmitir pulsos de luz de un transmisor a un receptor con cantidades de información muy altas.

Difusión de Rayleigh:

La difusión producida por no-uniformidades microscópicas en la fibra óptica que son muy pequeñas comparadas con la longitud de onda de la luz.

4.4 BIBLIOGRAFIA

Internet

Direcciones:

<http://www.if.ufrj.br/teaching/optica/fibras.html>

<http://informatica.aragon.unam.mx/ilhuicatl/fibra.html>

Curso General Data Comm

Redes y servicios de comunicación.

Curso sistemas de fibras ópticas

Curso avanzado de multiplexores.

