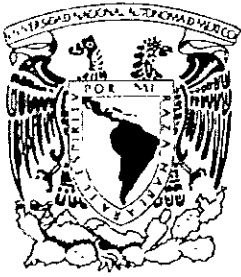


55



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

"COMUNICACIONES. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE
TRANSMISION MEDIANTE FIBRA OPTICA"

TRABAJO DE SEMINARIO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

RAUL LOPEZ NAVARRO

24/1/03

ASESOR ING JORGE RAMIREZ RODRIGUEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

Comunicaciones. Componentes de un sistema de transmisión
mediante fibra óptica.

que presenta el pasante: Raúl López Navarro

con número de cuenta: 9031609 - 2 para obtener el título de .

Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 14 de Septiembre de 2000

| MODULO | PROFESOR | FIRMA |
|------------|-------------------------------------|----------------|
| <u>I</u> | <u>Ing. Jorge Ramírez Rodríguez</u> | <u>[Firma]</u> |
| <u>II</u> | <u>Ing. Vicente Magaña González</u> | <u>[Firma]</u> |
| <u>III</u> | <u>Ing. Rodolfo López González</u> | <u>[Firma]</u> |

Agradezco :

A "Mis Padres y Hermanos", por el apoyo que me brindaron para poder finalizar mi estudios y por el agradable ambiente familiar que hizo que mis estudios fueran mas sencillos y espero que este logro haga sentir muy felices a mis padres por todo el esfuerzo que realizaron para que yo pudiera realizar esta meta.

Los Quiero Mucho

A "Amalia Peralta", por la gran influencia que tuvo en mi carrera ya que gracias a ella puede comprender que cuando se quiere y se tienen las ganas de realizar cualquier cosa se pueden lograr.

Te amo

A todas aquellas personas que de una u otra manera me ayudaron a la realización de este logro.

Muchas Gracias

INDICE

INTRODUCCIÓN

SISTEMAS DE COMUNICACIONES

- Sistema de comunicaciones 1
- Sistema de radiocomunicación 2
- Sistema de comunicación por cable metálico 4
- Sistema de comunicación por fibra óptica 5

CAPITULO 1

SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR FIBRA OPTICA

- Definiciones de los elementos de un sistema de comunicación por fibra óptica 6
- Características de los sistemas de comunicaciones por fibra óptica 7

CAPITULO 2

LA FIBRA OPTICA

- Reseña histórica 9
- Cable de fibra óptica 11
 - Definiciones 11
- Transmisión de luz en una fibra óptica 13
 - Ley de Snell 13
 - Apertura numérica 14
 - Angulo critico 15
- Modo de propagación 15
- Perfil del índice 15
- Fibra multimodo 16
 - Fibra de índice escalón 16
 - Fibra de índice gradual 19
- Fibra monomodo 20
- Perdidas de potencia óptica (atenuación) 21
 - Extrínsecas 21
 - Intrínsecas 22

- Ancho de banda de la fibra óptica 23
 - Dispersión modal 24
 - Dispersión cromática del material 24
 - Dispersión cromática guía de onda 25
- Comparación de las fibras multimodo (índice escalón e índice gradual) y las fibras monomodo 25
- Ventajas y desventajas de las fibras ópticas 26
- Clasificación de los cables de fibras ópticas 30
 - Cable estructura holgada 30
 - Cable estructura ajustada 32
 - Cable de figura en 8 33
 - Cable blindado 34
 - Cable aéreo autoportante 35
 - Cable submarino 35
 - Cable compuesto tierra – óptico (OPGW) 36
 - Cable híbrido 36
 - Cable de abanico 36
- Composición del cable de fibra óptica 36
 - Definiciones 37

CAPITULO 3

EMISORES Y DETECTORES ÓPTICOS

- Emisores ópticos 41
 - Diodo emisor de luz (LED) 41
 - Diodo láser (LD) 44
- Receptores ópticos 47
 - Fotodetector PIN 48
 - Fotodetector de avalancha 50

CAPITULO 4

EMPALMES Y CONECTORES

- Empalmes 52
 - Definición 52
 - Empalme mecánico simple 52
 - Empalme térmico simple 54
 - Empalme térmico simple de conductores de fibra óptica monomodo 55
 - Empalme de inyección de luz y detección local para conductores de fibra óptica 56
 - Empalme múltiple 58
 - Empalme múltiple mecánico 58
 - Empalme múltiple térmico 59

| | |
|--|----|
| • Conectores | 60 |
| - Conectores ópticos de férula única | 60 |
| - Conector SMA .. | 62 |
| - Conector ST | 64 |
| - Conector bicónico | 65 |
| - Conector F.C. | 67 |
| - Conector F.C. / A.P.C. | 67 |
| - Conector F.C. / P.C. | 70 |
| - Conector S.C. | 72 |
| - Conectores especiales | 73 |
| • Perdidas por conectores | 76 |
| • Perdidas por empalmes | 77 |

CAPITULO 5

CARACTERISTICAS DE LOS ELEMENTOS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR FIBRA OPTICA

| | |
|---|----|
| • Análisis de un sistema por fibras ópticas | 78 |
| • Requerimientos del sistema | 79 |
| - Señales analógicas | 79 |
| - Señales digitales | 80 |
| • Arreglo del sistema | 80 |
| • Nivel de potencia requerido | 81 |
| • Plan de especificaciones | 81 |
| • Plan de cableado del sistema | 81 |
| • Características del transmisor | 82 |
| • Características del receptor | 83 |

| | |
|--------------------|----|
| CONCLUSIONES | 84 |
|--------------------|----|

| | |
|----------------|----|
| GLOSARIO | 85 |
|----------------|----|

| | |
|---------------------|----|
| BIBLIOGRAFÍAS | 86 |
|---------------------|----|

INTRODUCCION

La comunicación se define como la transmisión de información de un lugar a otro. Esta transmisión se hace entre un emisor y un receptor. La información se presenta bajo la forma de diversas señales que tienen un significado preciso para el emisor y el receptor, si la comunicación se hace directamente entre dos personas dichas señales pueden ser sonidos e imágenes, o bien, pueden ser señales eléctricas si la comunicación se hace entre dos aparatos electrónicos. Las señales pueden tomar una forma particular (código) cuyo sentido lo conocen tanto el emisor como el receptor.

SISTEMAS DE COMUNICACIONES

Como todos los sistemas de comunicaciones, los de fibras ópticas también consisten en tres bloques: transmisor, medio de transmisión y receptor. Un diagrama a bloques de un sistema de comunicaciones punto a punto se muestra en la figura 1

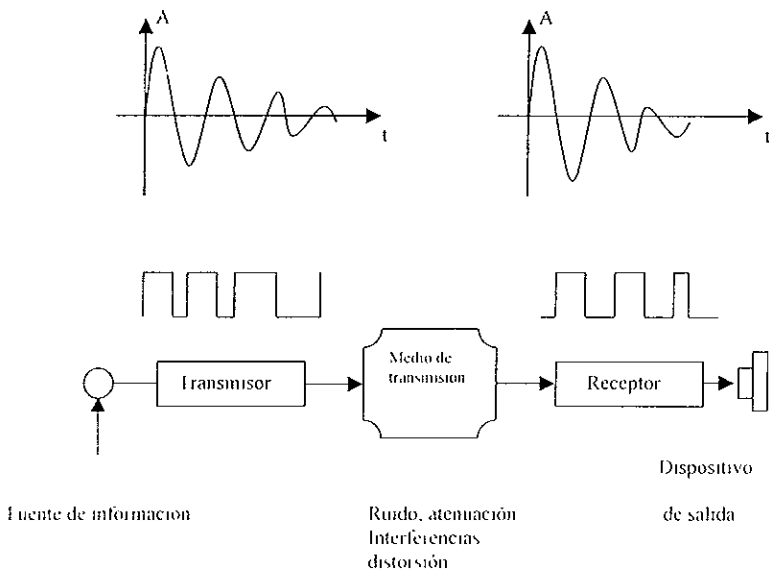


FIGURA 1. Diagrama a bloques de un sistema de comunicación punto a punto

En el transmisor se genera la información que se desea comunicar y se le da una forma adecuada para enviarse a través del medio de transmisión, el cual introduce atenuación, distorsión y es susceptible a interferencias electromagnéticas. La fuente de información puede ser cualquier transductor que transforme la manifestación de un fenómeno físico en oscilaciones de voltaje y corriente. Las señales que contienen la información pueden ser analógicas, como las provenientes de un termómetro, de un medidor de presión, etc; o pueden ser digitales como las provenientes de una computadora. En general todos los transductores generan señales analógicas, pero éstas pueden digitalizarse antes de ser transmitidas a través del medio de comunicación.

Los sistemas de comunicaciones se pueden clasificar de diferente forma, dependiendo del parámetro de comparación. Por ejemplo, los podemos clasificar por la forma en que se envía el mensaje, ya sea digital o analógico, y puede ser en banda base, o en una portadora. Otro parámetro muy importante para clasificar los sistemas de comunicaciones es el medio de transmisión que emplean. Dependiendo del medio o canal de transmisión empleado, un sistema puede poseer una o varias características de peculiaridad que lo hace insustituible con respecto a otros sistemas que emplean diferentes medios de comunicación. Por el medio de transmisión los sistemas de comunicaciones se pueden clasificar en: sistemas de radiocomunicación, sistemas por cable metálico y sistemas por fibras ópticas.

SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACION

Todos los sistemas de radiocomunicación emplean el espacio como medio de transmisión. La información viaja en forma de ondas electromagnéticas no guiadas desde el transmisor hasta el receptor. Para que el transmisor radie energía electromagnética al espacio circunvecino es necesario emplear un transductor, el que transforme ondas de voltaje y corriente u ondas electromagnéticas guiadas en ondas electromagnéticas no guiadas. Este transductor es la antena transmisora, que dependiendo de la frecuencia y de la aplicación del sistema puede radiar energía de igual manera en todas las direcciones o en una dirección preferida. En el receptor también se tiene que emplear un transductor que transforme ondas electromagnéticas no guiadas en ondas de voltaje y corriente o en ondas electromagnéticas guiadas.

Este transductor es la antena receptora, que dependiendo de la frecuencia y de la aplicación del sistema puede recibir señales provenientes de todas las direcciones de igual manera o en una dirección preferida. Un diagrama de bloques de un sistema de radiocomunicación punto a punto se ilustra en la figura 2.

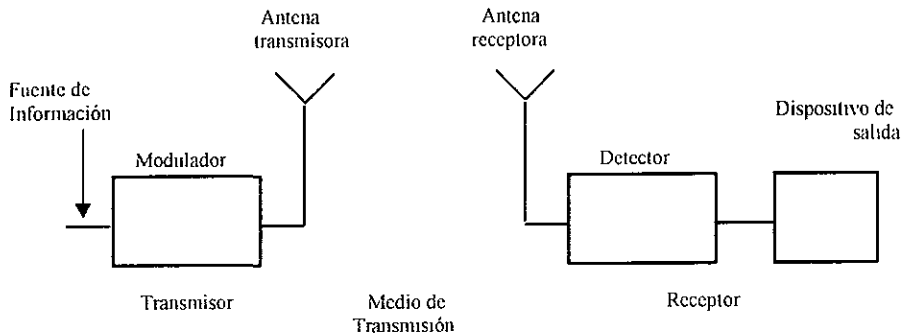


FIGURA 2. Diagrama a bloques de un sistema de radiocomunicación punto a punto

El hecho de que los sistemas de radiocomunicación no emplean un medio físico para la transferencia de energía desde el transmisor al receptor, hace que éstos posean una serie de características particulares de ellos y que en ciertas aplicaciones son insustituibles y en otras sería más conveniente emplear sistemas con otros medios de transmisión. Las principales ventajas y limitaciones de los sistemas de radiocomunicación son:

VENTAJAS

- ✓ Facilidad de comunicaciones móviles
- ✓ Facilidad de reconfiguración
- ✓ Facilidad de comunicaciones multipunto
- ✓ Facilidad de establecer enlaces en áreas de difícil acceso o sin Infraestructura
- ✓ Económicos
- ✓ Menor tiempo de instalación

LIMITACIONES

- Susceptibilidad a interferencias electromagnéticas
- Espectro electromagnético limitado
- Privacidad pequeña
- Dependencia de las condiciones ambientales

SISTEMA DE COMUNICACION POR CABLE METALICO

Los sistemas de comunicaciones por cable metálico necesitan de un medio físico como canal de transmisión, y éste debe ser conductor de electricidad. Esta propiedad le da una serie de características a estos sistemas. Un diagrama de bloques de un enlace punto a punto de un sistema de comunicaciones que emplea como medio de transmisión conductores eléctricos (par de alambres, cable coaxial, guía de onda) se muestra en la figura 3.

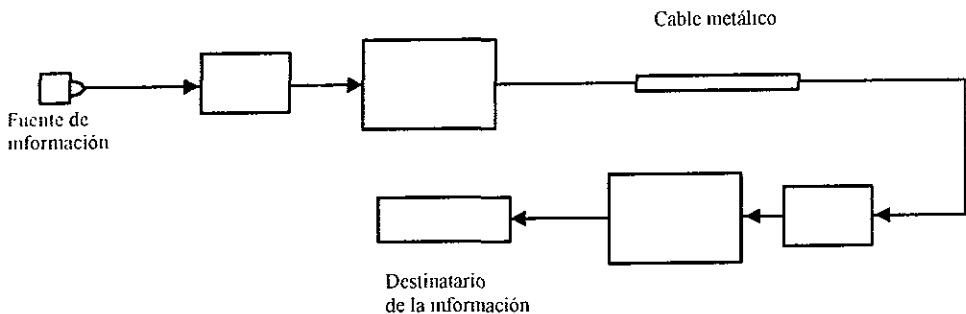


FIGURA 3. Enlace punto a punto de un sistema por cable metálico

El hecho de que estos sistemas empleen un medio físico que es conductor de la electricidad le da una serie de características particulares, las más sobresalientes son:

- ◆ Necesidad de un medio físico
- ◆ El medio de transmisión cuesta
- ◆ Se emplea tiempo en instalar el medio de comunicación
- ◆ Menor facilidad de reconfigurar al sistema
- ◆ Comunicación móvil sólo en áreas pequeñas
- ◆ Dificultad de comunicación punto multipunto
- ◆ Menor susceptibilidad a interferencias electromagnéticas
- ◆ Facilidad de conducir energía eléctrica
- ◆ Dificultad de emplearlos en medios explosivos y corrosivos
- ◆ No existen límites físicos a la capacidad de transportar información
- ◆ Problemas de bucles de tierra
- ◆ Mayor privacidad
- ◆ Sensibilidad al medio ambiente

Aquí en el análisis de las características particulares de los sistemas de comunicaciones por cable metálico, algunas de éstas se compararon con los sistemas de radiocomunicación; por ejemplo, mayor privacidad, quiere indicar que la información enviada a través de un sistema de comunicaciones por cable metálico, es más difícil interceptar que si enviase a través de un sistema de radiocomunicación

SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR FIBRA OPTICA

Los recientes progresos de la tecnología en rayos láser semiconductores y en fibras ópticas de baja atenuación hacen posible la realización de sistemas de telecomunicación mediante fibras ópticas como canal de transmisión. Estos sistemas ya son operativos. Es importante conocer su estructura general, así como las ventajas potenciales de su utilización en diversos campos.

En su forma más simple, un sistema de comunicación por fibra óptica está constituido por tres elementos, como se muestra en la figura 4.

- A) Un módulo de emisión, que tiene por función transformar la información en forma de señal eléctrica a información de luz. A este módulo se le llamará emisor óptico.
- B) Un canal de transmisión de la luz, que es la fibra óptica.
- C) Un módulo de recepción, que tiene por función transformar la información óptica recibida en información con la forma de señal eléctrica; se le llamará receptor óptico.

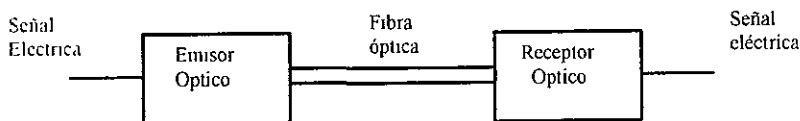


FIGURA 4. Sistema de comunicación por fibra óptica

CAPITULO 1

SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR FIBRA OPTICA

Los sistemas de comunicaciones por fibra óptica emplean también un medio físico dieléctrico como canal de transmisión. En este tipo de sistemas la información viaja en forma de rayos de luz, o sea en ondas electromagnéticas guiadas; la única diferencia con las ondas electromagnéticas de radio es la frecuencia de operación. Como en los sistemas de radiocomunicación, estos sistemas requieren de transductores para el acondicionamiento de la señal útil a transmitirse y recibirse. En el transmisor se requiere de un transductor de ondas de voltaje y corriente en ondas luminosas, en el receptor se requiere de un transductor de ondas luminosas en ondas de voltaje y corriente.

Los elementos ópticos que contiene cualquier sistema de comunicaciones por fibra óptica son:

- **Emisores ópticos.**- Son los transductores que transforman las ondas de voltaje y corriente *guiadas en ondas luminosas guiadas.*
- **Fibras ópticas.**- Son el medio de transmisión y son las guías de las ondas luminosas.
- **Empalmes ópticos.**- Son las uniones permanentes entre secciones de fibras ópticas.
- **Conectores ópticos.**- Son uniones removibles que se emplean generalmente para conectar al transmisor y al receptor con la fibra óptica.
- **Detectores ópticos.**- Son transductores que transforman las ondas luminosas en ondas de voltaje y corriente u ondas electromagnéticas guiadas de radio.
- **Repetidores ópticos.**- Las transmisiones a distancias demasiado grandes pueden necesitar la utilización de uno o varios repetidores, cuya función es amplificar la señal óptica. Un repetidor está constituido por un receptor óptico seguido por un emisor óptico, en la figura 5 se representa un repetidor óptico

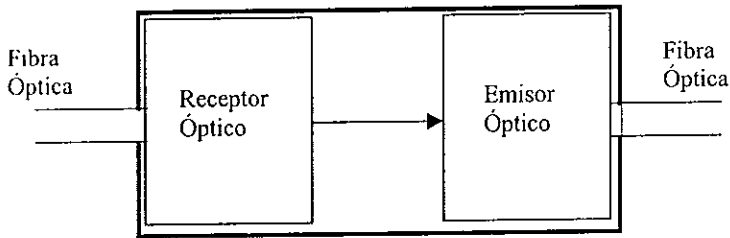


FIGURA 5. Repetidor Óptico

Un diagrama a bloques de un sistema de comunicación por fibra óptica se muestra en la siguiente figura 6.

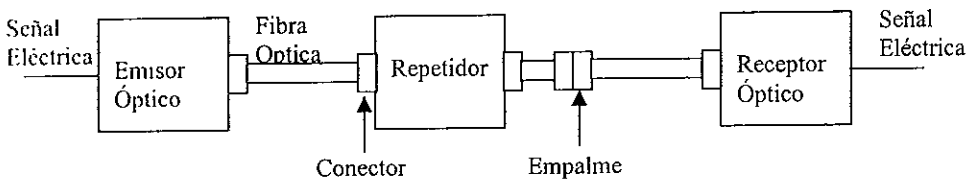


FIGURA 6. Sistema de comunicación por fibra óptica

Algunas de las principales ventajas y limitaciones de los sistemas de comunicaciones por fibras ópticas con respecto a los sistemas de radiocomunicaciones y a los demás por cable eléctrico, se deben a las características inherentes al medio de transmisión, que es la fibra óptica.

CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRAS OPTICAS

CARACTERÍSTICAS

ELIMINACION DE LAS INTERFERENCIAS ELECTROMAGNETICAS

VENTAJAS

- Seguridad de alta calidad de transmisión
- Reducción de costos de protección contra el ruido
- Localización cercana a líneas de alta tensión.

| | |
|----------------------------------|---|
| AISLAMIENTO ELECTRICO | { Eliminación de los problemas de bucle de tierra Travesía segura en zonas peligrosas Seguridad contra descargas eléctricas. |
| PERDIDAS PEQUEÑAS | { Espaciamiento grande entre repetidoras Confiabilidad grande gracias al número pequeño de repetidoras |
| ANCHO DE BANDA GRANDE | { Menor mantenimiento. Capacidad grande de transmisión Eliminación de igualadores Atenuación independiente del ancho de banda del mensaje transmitido |
| DIÁMETRO Y PESO PEQUEÑOS | { Reducción de los costos de instalación y reparación. |
| ESTABILIDAD EN MEDIOS SEVEROS | { Confiabilidad alta de la transmisión Reducción de la protección contra el medio ambiente |

OTRAS CARACTERÍSTICAS ADICIONALES

- ✓ Alta privacidad de la transmisión
- ✓ Niveles pequeños de potencia eléctrica en el transmisor.
- ✓ Se facilitan la movilidad en áreas reducidas
- ✓ Las derivaciones de la fibra óptica son más complicadas e introducen mayores atenuaciones en comparación con las derivaciones con cable eléctrico.
- ✓ Interferencias pequeñas entre fibras.
- ✓ Cableado de muchas fibras en un solo ducto.
- ✓ Mayor economía para enlaces mayores de 2Km y velocidades mayores a 2 Mbps.

CAPITULO 2

LA FIBRA OPTICA

RESEÑA HISTÓRICA DE LA FIBRA ÓPTICA

Desde la historia conocida más antigua, la luz se ha usado para comunicar a distancia, aunque las técnicas empleadas han sido a menudo lentas y engorrosas. Históricamente, la comunicación ha estado limitada por condiciones atmosféricas por ejemplo, era generalmente imposible con niebla o lluvia fuerte y restringida a operaciones de visión directa.

En el siglo pasado, Alexander Graham Bell trabajó en el proyecto Photophone para enviar voz mediante un haz de luz. La luz del sol se reflejaba en un espejo que vibraba con las ondas sonoras de la voz. El receptor era una fotocélula que generaba una corriente eléctrica que pasaba al altavoz. De esta forma Bell había producido un haz de luz modulado en amplitud, el cual recuperó, 200m más lejos, con la ayuda de un gran espejo parabólico en cuyo centro colocó un detector de selenio.

En 1930, J.L Baird, un científico inglés y C W Hansell, un científico de Estados Unidos, fueron concesionados con las patentes para rastrear y transmitir imágenes de televisión, a través de cables de fibra no cubiertos. Unos cuantos años después, un científico alemán llamado H Lamm, transmitió exitosamente imágenes a través de una fibra de vidrio sencillo. En 1951, A.C.S. Van Heel, de Holanda y otros científicos ingleses experimentaron con la transmisión de la luz a través de paquetes de fibras. Sus estudios llevaron el desarrollo del fibrascopio flexible, el cual se usa extensamente en el campo médico. Fue Kapani quien acuñó el término "Fibra Óptica" en 1956.

En 1958, Charles H. Townes, un americano y, Arthur L. Schawlow, un canadiense, escribieron un artículo describiendo cómo era posible usar emisión simulada para amplificar las ondas de luz (láser), así como las microondas (máser). Dos años después, Theodore H. Maiman construyó el primer máser óptico.

El láser (amplificación de la luz estimulada por emisión de radiación), fue inventado en 1960. La potencia relativamente alta de salida del láser, alta frecuencia de operación y capacidad para llevar una señal de ancho de banda extremadamente grande lo hacen idealmente deseado para sistemas de comunicación de alta capacidad. La invención del láser aumentó bastante los esfuerzos de investigación en las comunicaciones de fibra óptica, aunque fue hasta 1967 que K. C. Kao y G. A. Bockham, propusieron un medio de comunicaciones usando cables de fibra cubiertos.

Los cables de fibra disponibles en la década de 1960 eran extremadamente desperdiciados (más de 1000 dB.km), lo cual restringía las transmisiones ópticas a distancias cortas. En 1970, Kapron, Keck y Maurer, de Corning Glass W, en New York, desarrollaron una fibra óptica con pérdidas menores a 2 dB/km. Este fue el gran descubrimiento, necesario para permitir los sistemas prácticos de comunicaciones de fibra óptica. Desde 1970, la tecnología de fibra óptica ha crecido desmesuradamente. Recientemente, los Bell Laboratories transmitieron exitosamente 1 billón de "bps" a través de un cable de fibra, para 600 millas, sin un regenerador.

A finales de los años 70 y a principios de los 80, el refinamiento de los cables ópticos y el desarrollo de fuentes de luz y detectores costeables de alta calidad, abrieron la puerta al desarrollo de sistemas de comunicación de fibra óptica de alta calidad.

El principio básico de encendido y apagado de la comunicación con luz utilizado en el pasado es similar al utilizado hoy en las fibras ópticas. La señal de información a transmitir controla una fuente de luz encendiéndola y apagándola en una secuencia codificada particular o variando su intensidad. La luz se acopla a una fibra óptica que la guía a lo largo de la distancia de la comunicación. En el extremo del receptor, un detector decodifica la luz y reproduce la información de la señal.

Aunque la luz viaja en línea recta en el espacio libre, las propiedades del vidrio de una fibra óptica guían la luz alrededor de los dobleces y permiten a las rutas de cable de fibra óptica trabajar como las rutas de cable estándar de hilo de cobre, con algunas restricciones. La distancia de propagación está determinada principalmente por las pérdidas de luz en la fibra óptica y por la velocidad de conmutación. En el otro extremo de la fibra óptica, la luz se acopla a un fotodetector sensible a la intensidad de luz que convierte la señal pulsante luminosa en una señal eléctrica útil.

La tecnología actual de fibra óptica de hoy puede soportar velocidades de transmisión por encima de los 2,000 millones de pulsos por segundo. Esto se traduce en unas 60,000 llamadas telefónicas simultáneas. Un cable estándar de 200 fibras puede llevar 6,000,000 de conversaciones telefónicas, mientras que un cable de cobre de la misma longitud sólo puede llevar 10,000 conversaciones.

EL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Una fibra óptica consiste en un material transparente cilíndrico y largo que confina y propaga ondas luminosas. Está compuesta de tres capas diferentes: el núcleo central que lleva la luz, el revestimiento que cubre el núcleo y que confina la luz dentro del núcleo, y el recubrimiento que dota de protección al revestimiento. El núcleo y el revestimiento están formados frecuentemente por vidrio de sílice, mientras que el recubrimiento es un plástico o una cubierta acrílica.

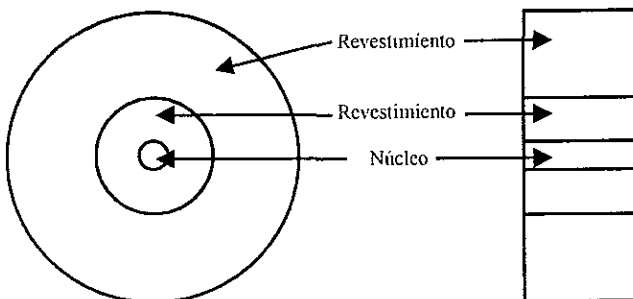


FIGURA 7. Fibra óptica

Las capas del núcleo de sílice y del revestimiento difieren ligeramente en su composición, debido a pequeñas cantidades de materiales, como boro o germanio, que son añadidos durante el proceso de fabricación. Esto altera las características del índice de refracción de ambas capas, dando lugar a las propiedades de confinamiento de la luz necesarias para la propagación de los rayos.

El índice de refracción del núcleo de sílice tiene un valor alrededor de 1.5 y el del revestimiento es ligeramente menor, alrededor de 1.48. El índice de refracción del aire es 1.003. El recubrimiento de la fibra está normalmente coloreado, usando códigos de color estándar del fabricante, que facilitan la identificación de la fibra. Las fibras ópticas pueden también estar hechas completamente de plástico o de otros materiales. Estas fibras son generalmente menos caras pero tienen una atenuación mayor (Perdidas) y una aplicación limitada.

En una fibra óptica la luz incidente en un extremo sale por el otro, con tan sólo las pérdidas por atenuación del propio material, debido a un fenómeno conocido como reflexión interna total, que tiene lugar cuando un haz incide en la superficie de un cuerpo transparente con una oblicuidad suficiente y ángulos de refracción que pueden llegar a 90°.

Si el ángulo de incidencia es mayor que el ángulo crítico del material se produce la reflexión interna total cuando el haz viaja a lo largo de la barra, mediante innumerables secuencias de reflexiones interiores. Si el exterior de la barra posee un índice refractivo menor, el haz se refleja hacia la superficie opuesta, avanzando en pulsos hacia el otro extremo de la barra.

Aparte de la transmisión de luz la característica más extraordinaria de las fibras ópticas reside en su flexibilidad y en la posibilidad de someterlas a ángulos muy cerrados sin detrimento alguno de sus cualidades ópticas, siempre que la relación entre el diámetro de fibra y la curva descrita por la misma no permita al haz interiormente reflejado llegar a ningún punto de la superficie interna del revestimiento cilíndrico con un ángulo inferior al crítico.

TRANSMISIÓN DE LUZ EN UNA FIBRA

Cuando un rayo de luz se propaga sin obstáculos por un medio como el aire o el vidrio, viaja en línea recta. Sin embargo, cuando un rayo de luz viaja de un medio a otro, se dobla en la frontera que separa ambos medios. A esta torcedura se le denomina refracción. El ángulo con el cual se refracta se denomina ángulo de refracción. El ángulo con el cual el rayo de luz choca con la frontera del medio se denomina ángulo de incidencia.

El ángulo de incidencia está relacionado matemáticamente con el ángulo de refracción de acuerdo con la ley de Snell.

| | |
|---------------------|--|
| Ley de Snell | |
| | $n_1 \times \text{sen } a = n_2 \times \text{sen } b$ |
| donde | n₁ = índice de refracción del primer material n₂ = índice de refracción del segundo material a = ángulo de incidencia en el primer material b = ángulo de refracción en el segundo material |

La refracción de un rayo de luz ocurre en un extremo de la fibra cuando el rayo pasa del aire al medio que conforma el núcleo de la fibra. Los ángulos de refracción y de incidencia se miden respecto al eje perpendicular a la superficie de separación aire-fibra.

Sólo los rayos de luz que inciden en la superficie aire-fibra con ángulos menores que el máximo ángulo de acoplamiento son retractados al núcleo de la fibra y capturados por ella. Los rayos de luz incidentes en la frontera aire-fibra con ángulos mayores que el máximo ángulo de acoplamiento no son capturados por la fibra, figura 8.

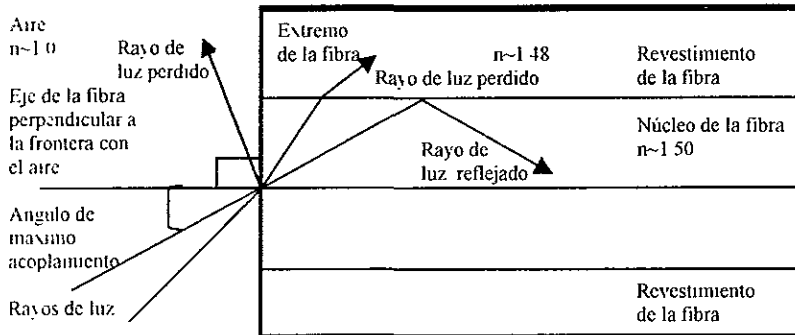


FIGURA 8. Refracción en una fibra óptica

La **apertura numérica** de la fibra (AN) está relacionada matemáticamente con el máximo ángulo de acoplamiento

| | |
|---|--|
| Apertura numérica (AN) | |
| $AN = \text{sen}(\text{ángulo máximo de acoplamiento})$ | |
| $AN = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$ | O |
| donde | <p>AN = apertura numérica de la fibra</p> <p>n1 = índice de refracción del núcleo</p> <p>n2 = índice de refracción del revestimiento</p> |

Cuando un rayo de luz pasa a través de la superficie de separación entre dos medios, desde un medio con un índice de refracción alto a un medio con un índice de refracción más bajo, el rayo se retracta en la superficie al pasar al segundo medio. A medida que aumenta el ángulo de incidencia del rayo de luz, se alcanza un punto en el cual ya no se retracta más el rayo de luz en el segundo medio y es completamente reflejado de vuelta al primer medio. Esto se denomina reflexión total interna, y el ángulo para el cual esto ocurre se denomina ángulo crítico, figura 9. El ángulo crítico se puede determinar con la siguiente fórmula

Ángulo crítico

$$\text{Ángulo crítico} = \text{arc sen}(n_2 - n_1)$$

donde n_1 = índice de refracción del núcleo

n_2 = índice de refracción del revestimiento

La luz puede propagarse por un cable de fibra óptica, por reflexión o refracción. Como se propaga la luz depende del modo de propagación y el perfil del índice de la fibra.

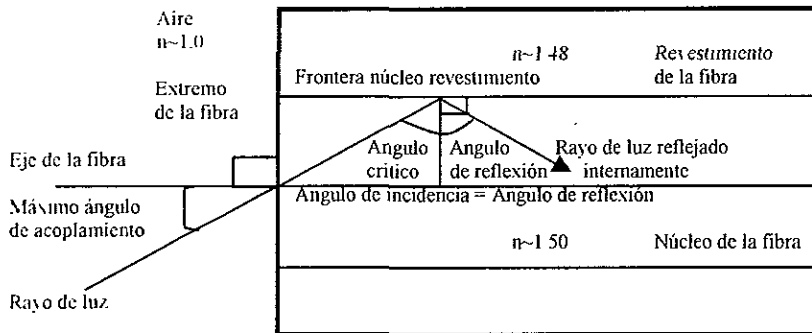


FIGURA 9. Refracción en una fibra óptica

Modo de propagación

En la terminología de fibra óptica la palabra “modo” simplemente significa trayectoria. Si hay solo una trayectoria que la luz toma en el cable, se llama modo sencillo; si hay más de una trayectoria, se llama multimodo.

Perfil del índice

El perfil del índice de una fibra óptica, es una representación gráfica del valor del índice refractivo, a través de la fibra. El índice refractivo se grafica en el eje vertical.

Hay dos tipos básicos de perfiles de índice escalonado y graduado.

FIBRA MULTIMODO

Una fibra multimodo es una fibra que puede propagar más de un modo de luz. El máximo de modos de luz (camino para los rayos de luz) que pueden existir en el núcleo de una fibra se puede determinar matemáticamente por la siguiente expresión.

Número de modos en una fibra óptica

$$M = 1 + 2D (n_1^2 - n_2^2)^{0.5} / \lambda$$

Donde **D** = diámetro del núcleo
n₁ = índice de refracción del núcleo
n₂ = índice de refracción del revestimiento
λ = longitud de onda de la luz

El número de modos que existen realmente depende de otras características de la fibra y se puede reducir durante la propagación. Una fibra multimodo se usa comúnmente en aplicaciones de comunicación de corta distancia (generalmente menos de unos pocos kilómetros). La electrónica del equipo terminal es más barata y es, de ordinario, simple de diseñar. Como fuente de luz se usa normalmente un LED. Debido al gran tamaño del núcleo de una fibra multimodo, es más fácil de conectar y tiene una mayor tolerancia a componentes de menor precisión.

Existen dos tipos de fibra multimodo: la fibra de índice escalón y la fibra de índice gradual; difieren en los perfiles del índice de refracción de su núcleo y revestimiento.

Fibra de índice escalón

Una fibra de índice escalón es una fibra óptica con índices de refracción del núcleo y del revestimiento diferentes, pero uniformes. En la frontera núcleo - revestimiento hay un cambio abrupto en el índice de refracción. El confinamiento de la luz en cualquier fibra de índice escalón se debe a las propiedades de reflexión en la frontera núcleo-revestimiento. Su origen está en la diferencia de los índices de refracción de los dos materiales. En la figura 10, los rayos de luz se reflejan en esta frontera y se propagan a lo largo de la fibra.

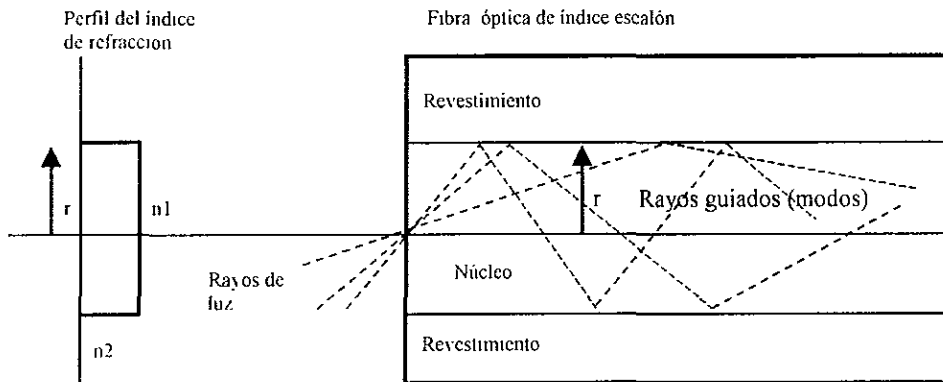


FIGURA 10. Propagación de la luz en una fibra óptica de índice escalón

Los rayos de luz viajan por caminos muy diferentes en el núcleo de la fibra. Debido a que la distancia que viaja cada rayo debe diferir, llegarán a su destino en tiempos diferentes. Esto trae como consecuencia que un pulso transmitido se ensanche en el tiempo.

Como muestra la Figura 11, los rayos de luz d_1 , d_2 , y d_3 empiezan al mismo tiempo "t", pero después de viajar por la fibra llegan a sus destinos en tiempos diferentes, debido a que siguen diferentes caminos de propagación en el núcleo de la fibra. Como se predijo, esto da como resultado un esparcimiento del pulso en el tiempo. Esta distorsión de la señal se conoce como dispersión modal (o multimodo)

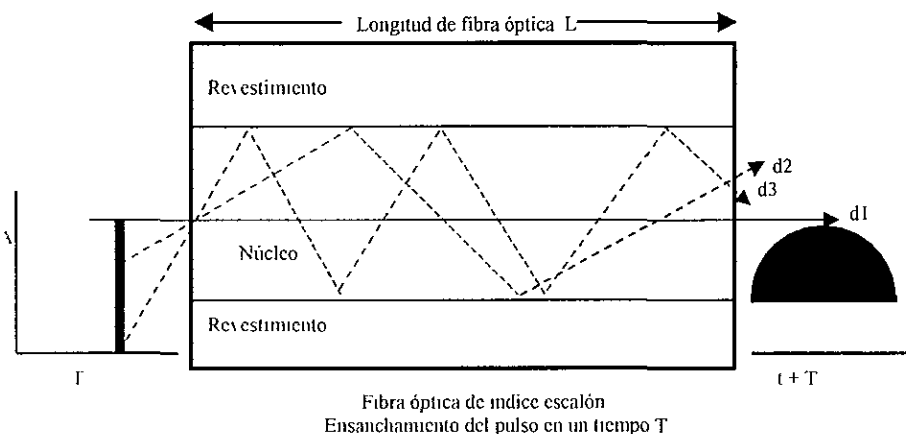


FIGURA 11. Propagación de la luz en una fibra óptica de índice escalón

Tal ensanchamiento del pulso restringe la velocidad de transmisión de datos debido a que ésta es inversamente proporcional a la anchura del pulso. Un pulso más ancho significa que se pueden enviar menos pulsos por segundo, lo que resulta en una disminución del ancho de banda de transmisión. Este es el factor principal que limita la velocidad de transmisión de datos en una fibra multimodo.

Pero no todas estas ondas se propagarán a lo largo de la fibra óptica, sino que solo ciertas direcciones de los rayos son permitidas, las cuales corresponden a los modos de la fibra óptica.

Lo anterior indica que hay ciertas direcciones permitidas de propagación. Aquellas ondas que no satisfagan esta condición, son rápidamente disminuidas debido a la interferencia destructiva. Los rayos cuyos ángulos de incidencia son cercanos al ángulo crítico se denominan de alto orden. Los rayos cuyos ángulos de incidencia son cercanos a 90° se denominan de bajo orden.

Si la luz incidente tiene forma de pulso, este se presentará disperso en el otro extremo de la fibra. Este tipo de dispersión del pulso de la luz se denomina dispersión multimodal, y limita la máxima velocidad de transmisión.

La dispersión de los pulsos está en función de la longitud de la fibra, por lo tanto la máxima velocidad de transmisión del enlace. Una representación esquemática de esta dispersión se muestra en la figura 12.

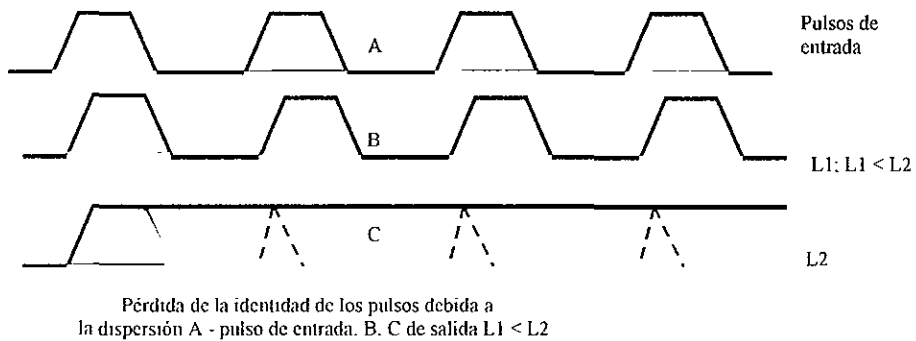


FIGURA 12. Dispersión multimodal de una fibra multimodo de índice abrupto.

Una forma de reducir este tipo de dispersión (Dispersión Multimodal) es emplear un núcleo cuyo índice de refracción varíe gradualmente a lo largo de su radio

Fibra de índice gradual

Una fibra de índice gradual multimodo se caracteriza por un núcleo central que tiene un índice refractivo que no es uniforme; está al máximo en el centro y disminuye gradualmente hasta la orilla exterior. La luz se propagará por este tipo de fibra por medio de la refracción. Conforme un rayo de luz se propaga diagonalmente a través del centro está continuamente interceptando a una interface de menos denso a más denso. En consecuencia, los rayos de luz constantemente están refractados, lo cual resulta en un doblamiento continuo de los rayos de luz

El índice de refracción del revestimiento es uniforme. La luz entra a la fibra en muchos ángulos diferentes. Conforme se propagan por la fibra, los rayos de luz que viajan en el área más externa de la fibra viajan a una distancia más grande que los rayos que viajan cerca del centro. Debido a que el índice refractivo disminuye con la distancia, desde el centro y la velocidad es inversamente proporcional al índice refractivo. Los rayos de luz que viajan lo mas lejos del centro se propagan a una velocidad mayor. En consecuencia, requieren de casi la misma cantidad de tiempo para viajar por el largo de la fibra. figura 13

Perfil del índice de refraccion

Fibra óptica de índice gradual

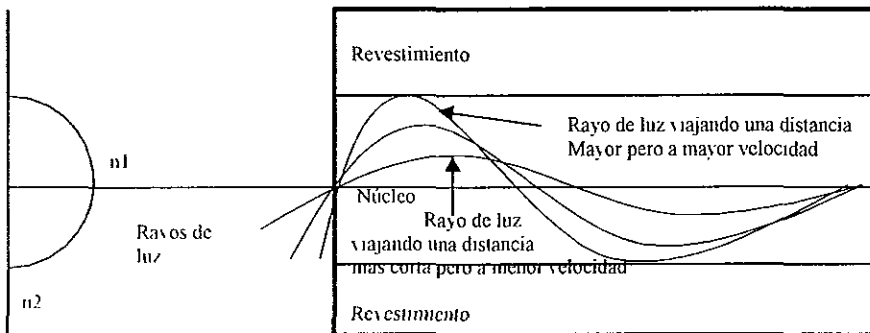


FIGURA 13. Propagación de la luz en una fibra óptica de índice gradual

Puesto que el índice de refracción es una medida de la disminución de la velocidad de la luz que viaja en el medio, se puede hacer un núcleo cuyo índice disminuya conforme se acerque a la cubierta óptica, de tal manera que la velocidad de los rayos de luz crezca conforme los rayos se alejan del núcleo. De esta manera se puede lograr que los rayos de modos altos lleguen al mismo tiempo que los rayos de modos bajos en el otro extremo de la fibra óptica, resultando en una disminución de la dispersión multimodal.

FIBRA MONOMODO

Una fibra monomodo es una fibra óptica en la que se propaga un modo de luz (un camino para los rayos de luz por el centro de la fibra, figura 14). Esto se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño que sólo permite un modo de propagación. El tamaño del núcleo de la fibra monomodo está comprendido entre 8 y 10 μm .

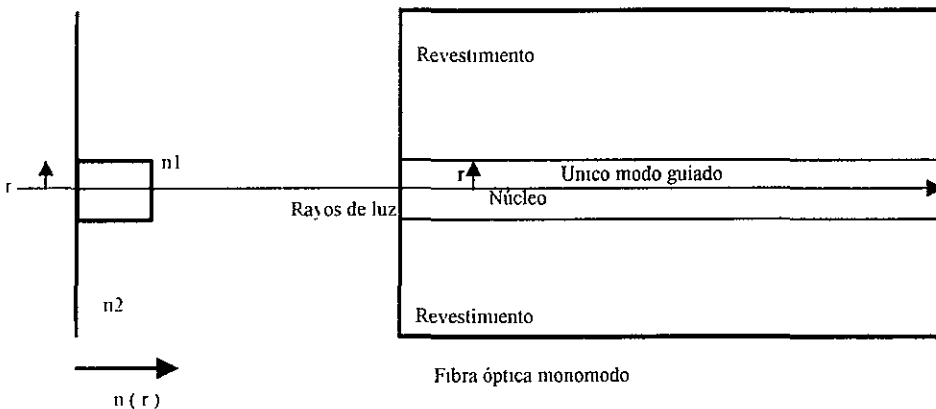


FIGURA 14. Propagación de la luz en una fibra monomodo

El perfil del índice de refracción de una fibra monomodo es similar al de una fibra multimodo de índice escalón. Debido al pequeño tamaño del núcleo, es muy difícil acoplar luz a la fibra. Para lograr este objetivo se usa frecuentemente un láser de estado sólido. Para todas las conexiones y empalmes de la fibra, se deben utilizar componentes de precisión mayor; puesto que se propaga por la fibra un único modo, se elimina el ensanchamiento del pulso debido a la dispersión modal. Esto permite velocidades

de transmisión de encima de 2 Gbps son bastante frecuentes con fibras monomodo. Las compañías telefónicas son algunos de los principales usuarios de esta tecnología, para el tráfico de largas distancias.

En las fibras monomodo, la dispersión multimodal se ha reducido a cero ya que solo se propaga un solo modo, y es por este motivo que las fibras ópticas monomodo pueden transmitir simultáneamente mayores volúmenes de información en comparación con las fibras ópticas multimodo.

La dispersión sufrida por el pulso de la luz cuando se propaga a lo largo de una fibra monomodo se debe a otros mecanismos diferentes a los que provocan la dispersión multimodal, y en particular esta relacionada con el hecho de que las fuentes de luz no son monocromática.

PERDIDAS DE POTENCIA OPTICA (ATENUACIÓN)

La luz que viaja en una fibra óptica pierde potencia con la distancia. Las pérdidas de potencia dependen de la longitud de onda de la luz y del material por el que se propaga. Para el sílice, las longitudes de onda más cortas son las que más se atenúan. Las pérdidas más bajas se encuentran para una longitud de onda de 1.550 nm, que se usa frecuentemente para transmisiones de larga distancia.

Las pérdidas de potencia de luz en una fibra óptica se miden en decibelios (dB). Las especificaciones de un cable de fibra óptica expresan las pérdidas del cable como la atenuación en "dB" para un "km" de longitud (dB/km). Este valor se debe multiplicar por la longitud total de la fibra óptica en kilómetros para determinar las pérdidas del cable en "dB".

Las pérdidas de luz de una fibra óptica están causadas por varios factores y se pueden clasificar en pérdidas intrínsecas y extrínsecas.

| | | |
|-------------|---|---------------------------------|
| Extrínsecas | { | Pérdidas por curvatura |
| | { | Pérdidas por conexión y empalme |

| | | |
|-------------|---|---|
| Intrínsecas | { | Pérdidas inherentes a la fibra |
| | | Pérdidas que resultan de la fabricación de la fibra |
| | | Reflexión de Fresnel |

Pérdidas por curvatura

De alguna manera, las pérdidas por curvatura ocurren en todas las curvas de una fibra óptica debido al cambio del ángulo de incidencia en la frontera núcleo-revestimiento. Si el radio de curvatura es mayor que el radio de curvatura mínimo de la fibra, las pérdidas son despreciables y, por tanto, ignoradas.

Pérdidas inherentes a la fibra

Las pérdidas de luz en una fibra que no se pueden eliminar durante el proceso de fabricación se deben a las impurezas en el vidrio y a la absorción de la luz a nivel molecular. Las pérdidas de luz debidas a las variaciones en la densidad óptica, composición y estructura molecular se denominan dispersión de Rayleigh. Los rayos de luz que encuentran estas variaciones e impurezas se dispersan en muchas direcciones y se pierden.

Pérdidas resultantes de la fabricación de la fibra

Las irregularidades durante el proceso de fabricación pueden dar lugar a pérdidas de rayos luminosos. Por ejemplo, un cambio de 0.1 por 100 en el diámetro del núcleo puede significar unas pérdidas de 10 dB por km. Se debe mantener la tolerancia en la precisión durante todo el proceso de fabricación de la fibra para minimizar las pérdidas.

Reflexión de Fresnel

La reflexión de Fresnel ocurre en cualquier frontera de un medio donde cambie el índice de refracción, causando que una parte de los rayos incidentes sean reflejados al primer medio. El extremo de una fibra es un buen ejemplo de este hecho. La luz que viaja del aire al núcleo de la fibra, es

retractada al núcleo Sin embargo, parte de la luz, alrededor del 4% , es reflejada de vuelta al aire; la cantidad que se refleja se puede calcular usando la siguiente fórmula

Potencia de luz reflejada en la frontera

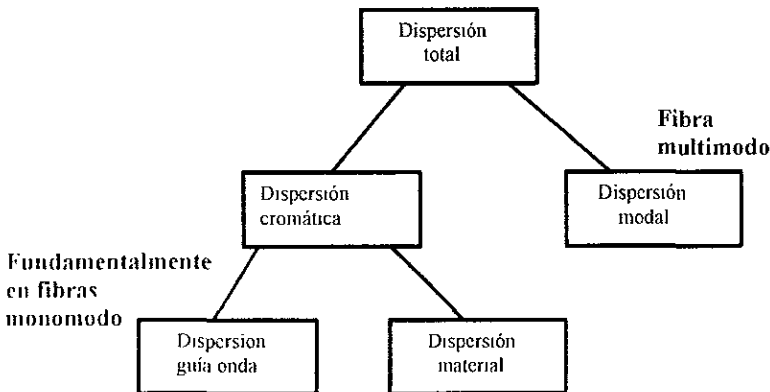
$$\text{Luz reflejada (\%)} = 100 \times (n_1 - n_2)^2 / (n_1 + n_2)^2$$

donde n_1 = índice de refracción del núcleo
 n_2 = índice de refracción del aire

ANCHO DE BANDA DE LA FIBRA

El ancho de banda de una fibra óptica es una medida de su capacidad de transmisión de información El ancho de banda de una fibra óptica está limitado por la dispersión total de la fibra (ensanchamiento del pulso). La dispersión limita la capacidad de transmisión de información porque los pulsos se distorsionan y se ensanchan, solapándose unos con otros y haciéndose indistinguibles para el equipo receptor. Para evitar que esto ocurra, los pulsos se deben transmitir a una frecuencia menor (reduciendo por tanto la velocidad de la transmisión de datos)

La dispersión total se puede dividir en dos categorías: dispersión cromática y dispersión modal (también llamada dispersión multimodo). La dispersión cromática puede ser posteriormente subdividida en dispersión guía-onda y dispersión material, como se representa aquí gráficamente:



Dispersión modal

La dispersión modal, también conocida como dispersión multimodo, afecta sólo a la fibra multimodo y está causada por los diferentes caminos o modos que sigue un rayo de luz en la fibra figura 15 . Esto da como resultado que los rayos recorran distancias diferentes y lleguen al otro extremo de la fibra en tiempos diferentes. Un pulso transmitido se ensanchará debido a este efecto y reducirá en consecuencia la máxima velocidad de transmisión efectiva de datos

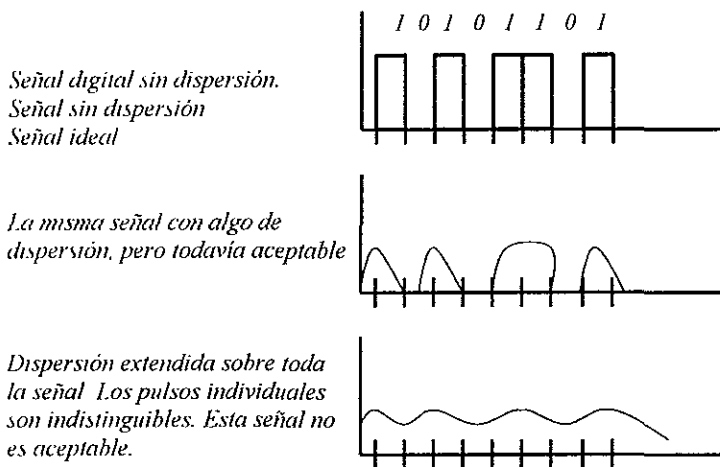


FIGURA 15. Dispersión de la señal

Una fibra de índice escalón tiene la dispersión modal más alta y por tanto el ancho de banda más bajo. Debido al perfil no uniforme del índice de refracción de una fibra de índice gradual, la dispersión modal decrece. Esto redundará en una transmisión de datos mayor que con una fibra de índice escalón

Dispersión cromática del material

La dispersión cromática del material ocurre porque el índice de refracción de una fibra varía con la longitud de onda de la luz en la fibra. Debido a que la fuente de luz está compuesta de un espectro de más de una longitud de onda, los rayos de luz de diferente longitud de onda viajan a diferentes velocidades ($v = c/n$), dando como resultado un ensanchamiento del pulso

Dispersión cromática guía onda

La dispersión cromática guía onda es debida a la anchura espectral de la fuente de luz, cuando el índice de refracción permanece constante. La razón de esto es que la geometría de la fibra causa que la constante de propagación de cada modo cambie con la longitud de la luz. La dispersión guía de onda es despreciable, excepto cerca del cero de la dispersión material.

COMPARACION DE LOS TRES TIPOS DE FIBRAS ÓPTICAS

FIBRA DE INDICE DE ESCALON DE MODO SENCILLO

Ventajas

- 1 - Hay una dispersión mínima. Debido a que todos los rayos propagándose por la fibra toman la misma trayectoria, tardan aproximadamente la misma cantidad de tiempo en viajar por el cable. En consecuencia, un pulso de luz entrando al cable puede reproducirse muy exacto en el lado receptor.
- 2 - Debido a la alta exactitud en la reproducción de los pulsos transmitidos en el lado de recepción, los anchos de bandas mas grandes y las velocidades de transmisión de información, mas altas, son posibles con las fibras de índice de escalón de modo sencillo que con los otros tipos de fibras.

Desventajas

- 1 - Debido a que el núcleo central es muy pequeño, es difícil de acoplar la luz dentro y fuera de este tipo de fibra. La apertura de fuente a fibra es la mas pequeña de todos los tipos de fibra.
- 2 - Nuevamente, debido al núcleo central pequeño, una fuente de luz altamente directiva, tal como un laser se requiere para acoplar la luz en una fibra de índice de escalón de modo sencillo.
- 3 - Las fibras de índice de escalón de modo sencillo son costosas y difíciles de fabricar.

FIBRA DE INDICE DE ESCALON MULTIMODO

Ventajas.

- 1 - Las fibras de índice de escalón multimodo son baratas y sencillos de fabricar.
- 2 - Es fácil acoplar la luz dentro y fuera de las fibras de índice de escalón multimodo, tienen una apertura de fuente a fibra relativamente grande.

Desventajas.

- 1 - Los rayos de luz utilizan muchas trayectorias diferentes por la fibra lo cual resulta en grandes diferencias en sus tiempo de propagación; debido a esto, los rayos que viajan por este tipo de fibra tienen una tendencia a esparcirse. En consecuencia, un pulso de luz que se propaga por una fibra de índice de escalon multimodo se distorsiona mas que con otros tipos de fibras
- 2 - El ancho de banda con este tipo de cable son menores que con los otros tipos.

FIBRAS DE INDICE GRADUADO MULTIMODO

Esencialmente, no hay ventajas o desventajas sobresalientes de este tipo de fibra. Las fibras de índice graduado multimodo son mas fáciles de aceptar a la luz, dentro y fuera de las fibras de índice de escalon de modo sencillo, pero mas difíciles que las fibras de índice de escalón multimodo La dispersion debida a las trayectorias de propagación múltiple es mayor que en las fibras de índice de escalon de modo sencillo, pero menor que en las fibras de índice de escalón multimodo Las fibras de índice graduado son mas fáciles de fabricar que las fibras de índice de escalón de modo sencillos, pero mas difíciles que las fibras de índice de escalón multimodo. La fibra de índice graduado multimodo se considera fibra intermedia comparada con otros tipos.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS FIBRAS OPTICAS

La fibra óptica se ha convertido en un medio popular para muchos requerimientos de comunicaciones Su atractivo se puede atribuir a las muchas ventajas que presenta la fibra óptica sobre otros metodos de transmisión eléctricos convencionales. Este medio de transmisión luminoso tiene tambien, sin embargo, impedimentos que deberían examinarse antes de proceder a su instalación. Las siguientes secciones describen algunas de estas consideraciones

Ventajas

Gran capacidad La fibra óptica tiene la capacidad de transmitir grandes cantidades de información Con la tecnologia presente se pueden transmitir 60,000 conversaciones simultáneamente con dos fibras opticas Un cable de fibra óptica 2cm de diámetro exterior (DE) puede contener hasta 200 fibras opticas. lo que incrementaria la capacidad del enlace a 6,000,000 de conversaciones En comparación

con las prestaciones de los cables convencionales, un gran cable multipar puede llevar 500 conversaciones, un cable coaxial puede llevar 10,000 conversaciones y un enlace de radio por microondas o satélite puede llevar 2,000 conversaciones.

Tamaño y peso. Un cable de fibra óptica tiene un diámetro mucho más pequeño y es más ligero que un cable de cobre de capacidad similar. Esto lo hace fácil de instalar, especialmente en localizaciones donde ya existen cables (tales como los tubos ascendentes de los edificios) y el espacio es escaso.

Interferencia eléctrica. La fibra óptica no se ve afectada por la interferencia electromagnética o interferencia de radiofrecuencia (RFI), y no genera por sí misma interferencia, puede suministrar un camino para una comunicación limpia en el más hostil de los entornos. Las empresas eléctricas utilizan la fibra óptica a lo largo de las líneas de alta tensión para proporcionar una comunicación clara entre sus estaciones de conmutación. La fibra óptica está también libre de conversaciones cruzadas. Incluso si una fibra radiara no podría ser recapturada por otra fibra óptica.

Aislamiento. La fibra óptica es un dieléctrico. Las fibras de vidrio eliminan la necesidad de corrientes eléctricas para el camino de la comunicación. Un cable de fibra óptica propiamente dieléctrico no contiene conductores eléctricos y puede suministrar un aislamiento eléctrico normal para multitud de aplicaciones. Puede eliminar la interferencia originada por las corrientes a tierra o por condiciones potencialmente peligrosas causadas por descargas eléctricas en las líneas de comunicación, como los rayos o las faltas eléctricas. Es un medio intrínsecamente seguro que se utiliza a menudo donde el aislamiento eléctrico es esencial.

Seguridad. La fibra óptica ofrece un alto grado de seguridad. Una fibra óptica no se puede intervenir por medio de mecanismos eléctricos convencionales como conducción superficial o inducción electromagnética, y es muy difícil de pinchar ópticamente. Los rayos luminosos viajan por el centro de la fibra y pocos o ninguno pueden escapar. Incluso si la intervención resultara un éxito, se podría detectar monitorizando la señal óptica recibida al final de la fibra. Las señales de comunicación vía satélite o radio se pueden intervenir fácilmente para su decodificación.

Fiabilidad y mantenimiento. La fibra óptica es un medio constante y no envejece. Los enlaces de fibra óptica bien diseñados son inmunes a condiciones adversas de humedad y temperatura y se pueden utilizar incluso para cables subacuáticos. La fibra óptica tiene también una larga vida de servicio, estimada en más de treinta años para algunos cables. El mantenimiento que se requiere para un sistema de fibra óptica es menor que el requerido para un sistema convencional, debido a que se requieren pocos repetidores electrónicos en un enlace de comunicaciones; no hay cobre que se pueda corroer en el cable y que pueda causar la pérdida de señales o señales intermitentes; y el cable no se ve afectado por cortocircuitos, sobretensiones o electricidad estática.

Versatilidad. Los sistemas de comunicaciones por fibra óptica son los adecuados para la mayoría de los formatos de comunicaciones de datos, voz y vídeo.

Expansión. Los sistemas de fibra óptica bien diseñados se pueden expandir fácilmente. Un sistema diseñado para una transmisión de datos a baja velocidad, por ejemplo, TI (1,544 Mbps), se puede transformar en un sistema de velocidad más alta, OC-12 (622 Mbps), cambiando la electrónica. El cable de fibra óptica utilizado puede ser el mismo.

Regeneración de la señal. La tecnología presente puede suministrar comunicaciones por fibra óptica más allá de los 70 km (43 millas) antes de que se requiera regenerar la señal, la cual puede extenderse a 150 km (93 millas) usando amplificadores láser. Futuras tecnologías podrán extender esta distancia a 200 km (124 millas) y posiblemente 1,000 km (621 millas). El ahorro en el costo del equipamiento del repetidor intermedio, así como su mantenimiento, puede ser sustancial. Los sistemas de cable eléctrico convencional pueden, en contraste, requerir repetidores cada pocos kilómetros.

Desventajas

Conversión electro-óptica. Antes de conectar una señal eléctrica de comunicación a una fibra óptica, la señal debe convertirse al espectro luminoso [850, 1.310 o 1.550 nanómetros (nm)]. Esto se realiza por medios electrónicos en el extremo del transmisor, el cual da un formato propio a la señal de comunicaciones y la convierte en una señal óptica usando un LED o un láser de estado sólido. A continuación, esta señal óptica se propaga por la fibra óptica. En el extremo del receptor de la fibra

optica, la señal óptica se debe convertir otra vez en señal eléctrica antes de poder ser utilizada. El coste de conversión asociado a la electrónica debería ser considerado en todas las aplicaciones.

Camino homogéneo. Se necesita un camino físico recto para el cable de fibra óptica. El cable se puede enterrar directamente, situar en tubos o disponer en cables aéreos a lo largo de caminos homogéneos. Esto puede requerir la compra o alquiler de la propiedad. Algunos derechos sobre el camino pueden ser imposibles de adquirir. Para localizaciones como terrenos montañosos o algunos entornos urbanos pueden ser más adecuados otros métodos de comunicación sin hilos.

Instalación especial. Debido a que la fibra óptica es predominantemente vidrio de sílice, son necesarias técnicas especiales para la ingeniería e instalación de los enlaces. Ya no se aplican los métodos convencionales de instalación de cables de hilos.

Reparaciones. Un cable de fibra óptica que ha resultado dañado no es fácil de reparar. Los procedimientos de reparación requieren un equipo de técnicos con mucha destreza y habilidad en el manejo del equipamiento. En algunas situaciones puede ser necesario reparar el cable entero. Este problema puede ser aún más complicado si hay un gran número de usuarios que cuentan con dicho servicio. Es importante, por ello, el diseño de un sistema propio con rutas físicamente diversas, que permita afrontar tales contingencias. Aunque pueda haber muchas ventajas que favorezcan una instalación de fibra óptica, deberán ser sopesadas cuidadosamente frente a sus desventajas en cada aplicación. Deberían ser analizados todos los costos de operación e implementación de un servicio de fibra óptica.

TIPOS DE CABLES DE FIBRA OPTICA

Un cable de fibra óptica se encuentra disponible en dos construcciones básicas, cable de estructura holgada y cable de estructura ajustada.

CABLE DE ESTRUCTURA HOLGADA

Un cable de fibra óptica de estructura holgada consta de varios tubos de fibra rodeando un miembro central de refuerzo, y rodeado de una cubierta protectora, figura 16. El rasgo distintivo de este tipo de cable son los tubos de fibra. Cada tubo, de dos a tres milímetros de diámetro, lleva varias fibras ópticas que descansan holgadamente en él.

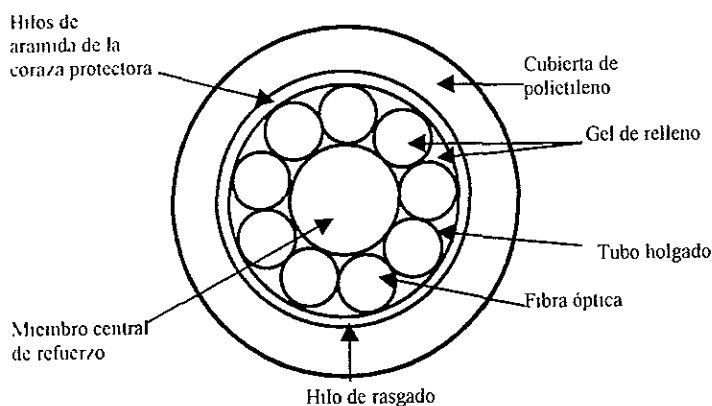


FIGURA 16. Cable de tubo holgado

Los tubos pueden ser huecos o, más comúnmente, estar llenos de un gel resistente al agua que impide que ésta entre en la fibra. El tubo holgado aísla la fibra de las fuerzas mecánicas exteriores que se ejerzan sobre el cable, figura 17.

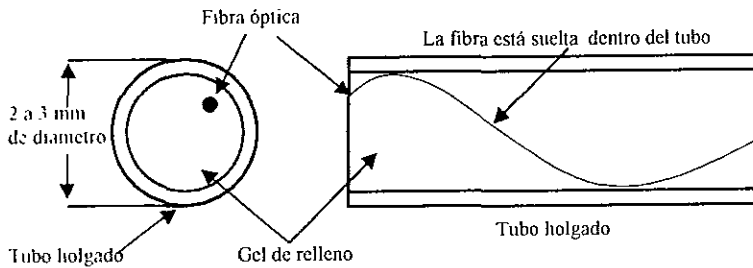


FIGURA 17. Tubo holgado de cable de fibra óptica

Las fibras dentro del tubo son ligeramente más largas que el propio cable, por lo que el cable se puede elongar bajo cargas de tensión, sin aplicar tensión a la fibra. Para determinar de una forma más precisa la longitud del cable debería tenerse en cuenta, este exceso en la longitud de la fibra (la longitud en exceso de la fibra viene dada por el fabricante)

Cada tubo está coloreado, o numerado, y cada fibra individual en el tubo, además, está coloreada para hacer más fácil la identificación. El número de fibras que lleva cada cable varía desde unas pocas a 200.

El centro del cable contiene un elemento de refuerzo, que puede ser acero, Kevlar o un material similar. Este miembro proporciona al cable refuerzo y soporte durante las operaciones de tendido, así como en las posiciones de instalación permanente. Debería amarrarse siempre con seguridad a la polea de tendido durante las operaciones de tendido del cable, y a los anclajes apropiados que hay en cajas de empalmes o paneles de conexión.

La cubierta o protección exterior del cable se puede hacer, entre otros materiales, de polietileno, de armadura o coraza de acero, goma o hilo de aramida, y para aplicaciones tanto exteriores como interiores. La cubierta está secuencialmente numerada cada metro (o cada pie) por el fabricante. La tensión de tendido y el radio de curvatura de los cables de fibra óptica varían, por lo que deberían consultarse las especificaciones del fabricante para conocer, en particular, los detalles de cada cable.

Los cables de estructura holgada se usan en la mayoría de las instalaciones exteriores, incluyendo aplicaciones aéreas, en tubos o conductos y en instalaciones directamente enterradas. El cable de estructura holgada no es muy adecuado para instalaciones en recorridos muy verticales, porque existe la posibilidad de que el gel interno fluya o que las fibras se muevan. Deberían consultarse las especificaciones del fabricante para determinar, en cualquier instalación, el recorrido vertical máximo del cable. Estos cables están normalmente terminados en un panel de conexión apropiado o en una caja de empalmes.

CABLE DE ESTRUCTURA AJUSTADA

Un cable de fibras ópticas de estructura ajustada contiene varias fibras con protección secundaria que rodean un miembro central de tracción, y todo ello cubierto de una protección exterior, figura 18. La protección secundaria de la fibra consiste en una cubierta plástica de 900 μm de diámetro que rodea al recubrimiento de 250 μm de la fibra óptica, figura 19.

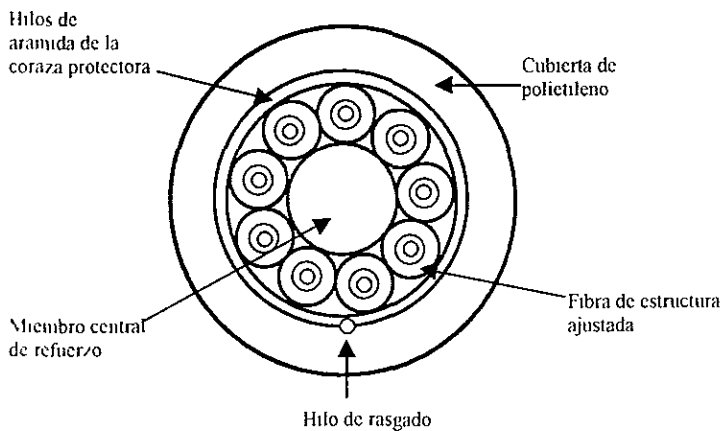


FIGURA 18. Cable de estructura ajustada

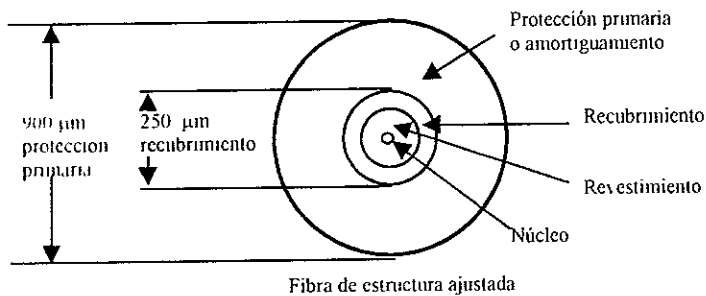


FIGURA 19. Cable de fibra óptica de estructura ajustada

La protección secundaria proporciona a cada fibra individual una protección adicional frente al entorno así como un soporte físico. Esto permite a la fibra ser conectada directamente (conector instalado directamente en el cable de la fibra), sin la protección que ofrece una bandeja de empalmes. Para algunas instalaciones esto puede reducir el coste de la instalación y disminuir el número de empalmes en un tendido de fibra. Debido al diseño ajustado del cable, es más sensible a las cargas de estiramiento o tracción y puede ver incrementadas las pérdidas por microcurvaturas.

Por una parte, un cable de estructura ajustada es más flexible y tiene un radio de curvatura más pequeño que el que tienen los cables de estructura holgada. En primer lugar, es un cable que se ha diseñado para instalaciones en el interior de los edificios. También se puede instalar en tendidos verticales más elevados que los cables de estructura holgada, debido al soporte individual de que dispone cada fibra. Hay disponibles cables con varias graduaciones de pirresistencia para cumplir los requerimientos estándar de inflamabilidad o combustibilidad. Es de diámetro mayor y generalmente más caro que un cable similar de estructura holgada con el mismo número de fibras.

CABLE DE FIGURA EN 8

El cable de figura en 8 es un cable de estructura holgada con un cable fiador adosado. El cable fiador es el miembro soporte que se utiliza en las instalaciones aéreas. Es generalmente un cable de acero para alta tracción con un diámetro comprendido entre 1/4 y 5/8 de pulgada. El cable de figura en 8 se denomina así porque su sección transversal se asemeja al número 8, figura 20. Se usa en instalaciones aéreas y elimina la necesidad de atar el cable a un fiador preinstalado. Con un cable de figura en 8 la instalación aérea de un cable de fibra óptica es mucho más rápida y fácil.

El fiador se encuentra disponible en acero para alta tracción, o en un material completamente dieléctrico. Deberá considerarse la utilización del fiador dieléctrico cuando el cable se instale cerca de las líneas de alta tensión.

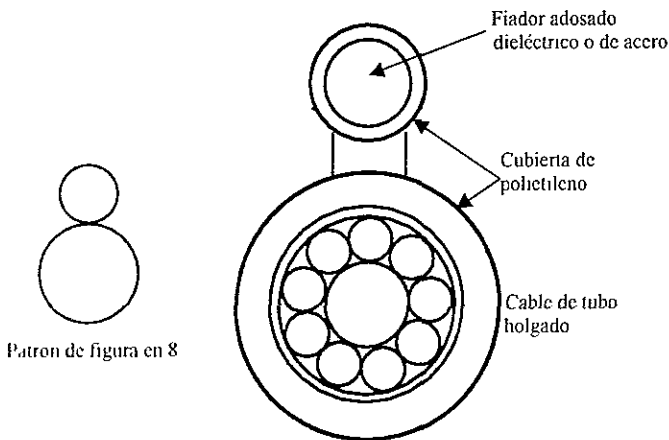


FIGURA 20. Cable de fibra óptica de figura en 8

CABLE BLINDADO

Los cables blindados tienen una coraza protectora o armadura de acero debajo de la cubierta de polietileno, figura 21. Esto proporciona al cable una resistencia excelente al aplastamiento y propiedades de protección frente a roedores. Se usa frecuentemente en aplicaciones de enterramiento directo o para instalaciones en entornos de industrias pesadas. El cable se encuentra disponible generalmente en estructura holgada aunque también hay cables de estructura ajustada.

El cable blindado también se puede encontrar disponible con un recubrimiento protector de doble coraza para añadir protección en entornos agresivos. La coraza de acero del cable debería llevarse a tierra en todos los puntos terminales y en todas las entradas a los edificios.

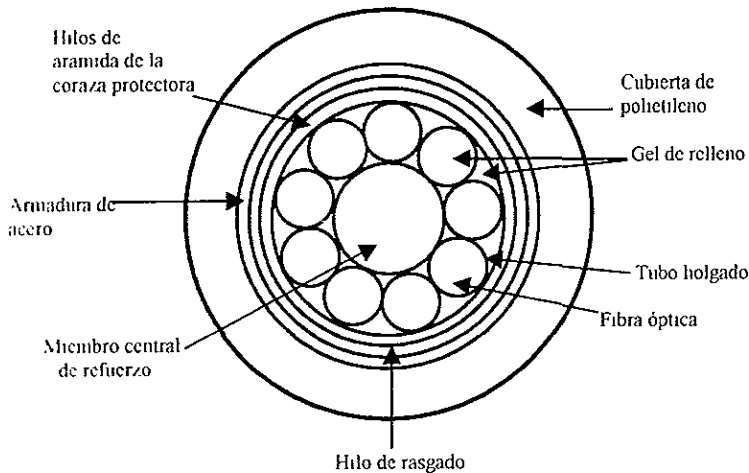


FIGURA 21. Cable de fibra óptica con armadura

OTROS CABLES

Existen otros cables de fibra óptica para las siguientes aplicaciones especiales

Cable aéreo autoportante

El cable aéreo autoportante o autoportado es un cable de estructura holgada diseñado para ser utilizado en estructuras aéreas. No requiere un fiador como soporte. Para asegurar el cable directamente a la estructura del poste se utilizan abrazaderas especiales. El cable se sitúa bajo tensión mecánica a lo largo del tendido.

Cable submarino

El cable submarino es un cable de estructura holgada diseñado para permanecer sumergido en el agua. Actualmente muchos continentes están conectados por cables submarinos de fibra óptica transoceánicos.

Cable compuesto tierra-óptico (OPGW)

El cable compuesto tierra-óptico es un cable de tierra que tiene fibras ópticas insertadas dentro de un tubo en el núcleo central del cable. Las fibras ópticas están completamente protegidas y rodeadas por pesados cables a tierra. Es utilizado por las compañías eléctricas para suministrar comunicaciones a lo largo de las rutas de las líneas de alta tensión.

Cables híbridos

El cable híbrido es un cable que contiene tanto fibras ópticas como pares de cobre.

Cable en abanico

Un cable en abanico es un cable de estructura ajustada con un número pequeño de fibras y diseñado para una conectorización directa y fácil (no se requiere un panel de conexiones). Se usa fundamentalmente para aplicaciones interiores tales como redes RAL.

COMPOSICIÓN DEL CABLE

Los cables de fibra óptica se fabrican con varios materiales para adecuarse al entorno de la instalación. Para prolongar la vida del cable es esencial una consideración cuidadosa de su composición.

Los cables de exteriores deben ser fuertes, a prueba de intemperie y resistentes al ultravioleta (UV). El cable debe resistir las variaciones máximas de temperatura que se pueden dar durante el proceso de instalación y a lo largo de su vida. A menudo un cable se especifica con dos rangos de temperatura. Un rango especifica las temperaturas de instalación y manejo del cable y el otro rango indica el máximo rango de temperaturas del cable después de que éste esté instalado y se halle en su posición estática final.

Los cables de exteriores se tratan para inhibir la penetración de la luz UV en la cubierta exterior e impedir la descomposición del material interno. Las cubiertas se pueden especificar con una protección UV adicional si se requiere. Los cables de interiores deberán ser fuertes y flexibles y con el grado requerido de resistencia al fuego o de emisión de humos. Los colores de las cubiertas pueden ser naranjas o amarillos brillantes para su fácil identificación. En las siguientes secciones se enumeran algunos de los materiales más populares de los cables.

Poliétileno (PE)

El polietileno es una cubierta de protección del cable bastante común para instalaciones exteriores. La cubierta de tipo negro tiene unas buenas propiedades de resistencia frente a la intemperie y la humedad. Es un aislante muy bueno y tiene unas propiedades dieléctricas estables. Dependiendo de su densidad molecular puede ser muy duro y rígido, especialmente a bajas temperaturas.

Cloruro de polivinilo (PVC)

Las cubiertas de PVC ofrecen una buena resistencia a los efectos medioambientales, con algunas composiciones que operan a temperaturas comprendidas entre -55 y +55 grados centígrados. Es un buen retardador del fuego y se puede encontrar tanto en instalaciones exteriores como en interiores. El PVC es menos flexible que el PE y generalmente más caro.

Poliuretano

El poliuretano es un material bastante común como cubierta de cables. Muchas composiciones tienen buenas propiedades de resistencia al fuego y es más duro y ligero que otros muchos materiales.

Hidrocarburos polifluorados (fluoropolímeros)

Algunas composiciones de cubiertas a base de hidrocarburos polifluorados tienen buenas propiedades de resistencia al fuego, poca emisión de humos y tienen buena flexibilidad. Se usan para instalaciones interiores.

Cabos de aramida/Kevlar

Los cabos de aramida son un material ligero que se encuentra justo por dentro de la cubierta del cable, rodeando a las fibras, y que se puede usar como un miembro central de refuerzo. El material es fuerte y se utiliza para atar y proteger los tubos o fibras individuales en el cable. El Kevlar es una marca particular de cabos de aramida que es capaz de soportar un esfuerzo mecánico muy grande y que se utiliza frecuentemente en los chalecos antibalas. Los cables de fibra óptica que deben resistir tensiones de estiramiento o tracción elevadas utilizan a menudo el Kevlar como miembro central de refuerzo. Cuando se sitúa justo por dentro de la cubierta, rodeando todo el interior del cable, proporciona a las fibras una protección adicional frente al entorno. Puede también proporcionar propiedades de resistencia a las balas, que pudieran requerirse en instalaciones aéreas del cable en áreas de caza.

Coraza de acero

La cubierta de coraza o armadura de acero se utiliza frecuentemente en instalaciones interiores y exteriores. Cuando se utiliza en un cable enterrado, proporciona una resistencia excelente a la compresión y es el único material verdaderamente a prueba de roedores. En ambientes industriales se utiliza dentro de la planta cuando el cable se instala sin conductos o bandejas de protección. Sin embargo, el acero que se añade al cable lo hace conductor, con lo que se sacrifica la ventaja como dieléctrico que posee el cable. Los cables con coraza de acero se deben llevar a tierra convenientemente.

Hilo de rasgado

El hilo de rasgado del cable es un hilo muy fino y fuerte que se encuentra justo por debajo de la cubierta del cable. Se usa para rasgar fácilmente la cubierta del cable sin dañar su interior.

Miembro central

El miembro central se utiliza para proporcionar fuerza y soporte al cable. Durante las operaciones de tendido del cable se debe asegurar al orificio de tracción. Para instalaciones permanentes, se debe atar al anclaje que hay para tal cometido en la caja de empalmes o en el panel de conexión.

Características de la fibra óptica

| | Núcleo | AN | Pérdidas | Ancho De banda | Longitud de banda |
|-----|--------|----------------|---------------|----------------|-------------------|
| I | 8 a 10 | La mas pequeña | Las más bajas | El mayor | 1.350 o 1.550 |
| II | 50 | Más pequeña | Más bajas | Más grande | 850 o 1.310 |
| III | 62.5 | Media | Bajas | Medio | 850 o 1.310 |
| IV | 85 | Grande | Altas | Más pequeño | 850 o 1.310 |
| V | 100 | La mas grande | Más altas | El más pequeño | 850 o 1.310 |

La tabla siguiente ilustra cómo aumenta la longitud del cable cuando aumenta el diámetro del núcleo (aunque esto ocurre sólo para ciertos equipos)

| Tamaño de la fibra (µm) | Atenuación de la fibra (dB/km) | AN | Longitud del cable (km) |
|-------------------------|--------------------------------|------|-------------------------|
| 50/125 | 4.0 | 0.20 | 0.2 |
| 50/125 | 3.0 | 0.20 | 0.27 |
| 50/125 | 2.7 | 0.20 | 0.3 |
| 62.5/125 | 4.0 | 0.29 | 1.3 |
| 62.5/125 | 3.7 | 0.29 | 1.5 |
| 100/140 | 5 | 0.29 | 1.5 |
| 100/140 | 4 | 0.29 | 1.8 |

CAPITULO 3

EMISORES Y DETECTORES OPTICOS

EMISORES OPTICOS

Entre las diferentes fuentes ópticas que existen, los diodos láser (LD) y los diodos emisores de luz (LED) son los únicos que satisfacen todos los requerimientos exigidos por los sistemas de telecomunicaciones por fibra óptica.

DIODOS EMISORES DE LUZ (LED)

Los diodos emisores de luz (LED) son fuentes de luz con emisión espontánea (no coherente), son diodos semiconductores "P"- "N" que para emitir luz se polarizan directamente.

Un semiconductor "P" tiene huecos libres en la banda de valencia y un semiconductor "N" tiene electrones libres en la banda de conducción, cuando el semiconductor "P" se une con el semiconductor "N" se forma una barrera de potencial como se presenta en la figura 22. En esta condición, los electrones no tienen suficiente energía para atravesar la barrera de potencial y llegar al semiconductor "P" para recombinarse con los huecos, tampoco los huecos tienen la suficiente energía para atravesar la barrera de potencial y llegar al semiconductor "N" y recombinarse con electrones libres, por lo tanto no existe ningún movimiento de carga.

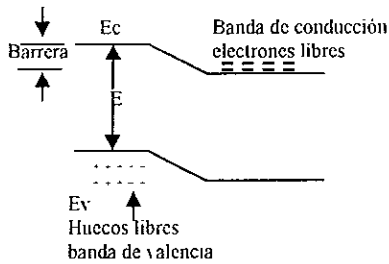


FIGURA 22. Niveles de energía de una unión P - N sin polarización.

Si se aplica una polarización directa al diodo, la barrera de potencial disminuye elevando la energía potencial en el semiconductor "N" y disminuye la energía potencial en el semiconductor "P"

Bajo esta condición los electrones y huecos tienen suficiente energía para atravesar la barrera, los electrones pasarán de la banda de conducción a la de valencia recombinándose con los huecos. Si el semiconductor es de transición directa, la energía perdida por los electrones se convertirá en energía óptica en forma de fotones, figura 23

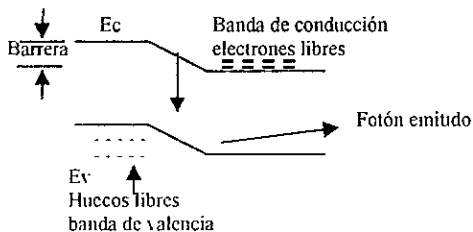


FIGURA 23. Niveles de energía de una unión P - N con polarización.

Existen dos tipos de LED uno que emite la luz a través de la superficie de la zona positiva y otro que emite a través de la sección transversal. La representación de un LED de superficie se presenta en la figura 24

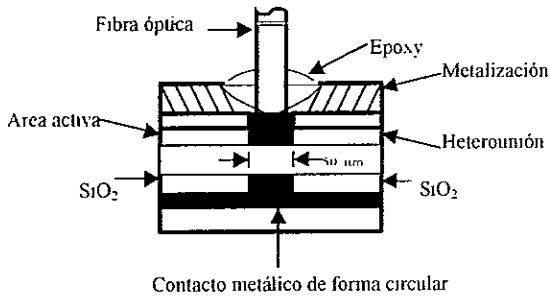


FIGURA 24. Estructura de un LED de superficie.

En la figura 25 se representa la construcción de un LED de perfil. La emisión de un LED de perfil es más direccional que la emisión de un LED de superficie. En la figura 26 se ilustra el patrón de radiación del LED de perfil y el patrón de radiación de un LED de superficie

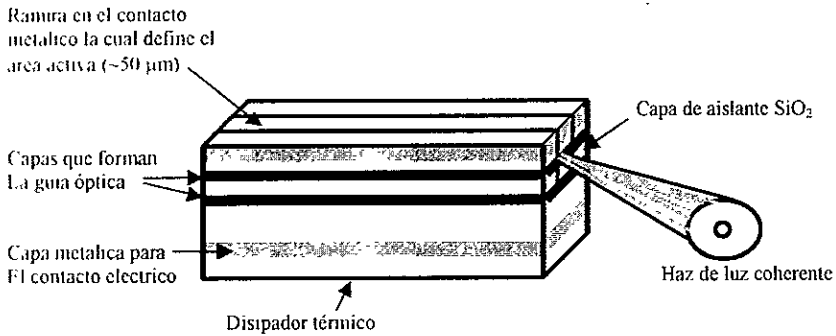


FIGURA 25. Estructura de un LED de perfil

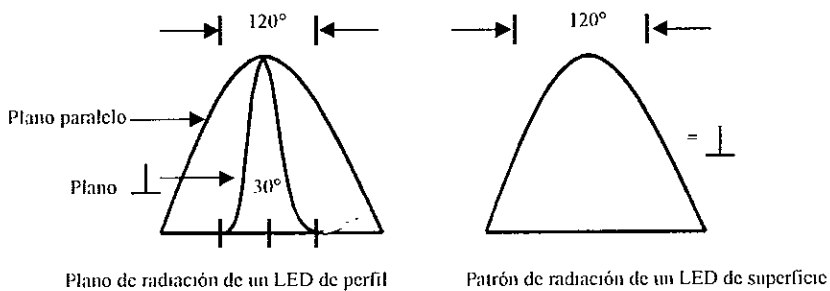


FIGURA 26. Patrón de radiación de un LED de perfil y un LED de superficie

El acoplamiento entre un LED y la fibra óptica puede ser directo, solamente colocando la fibra en la proximidad a la zona de emisión o a través de un lente. Una ilustración de estos dos acoplamientos se muestra en la figura 27

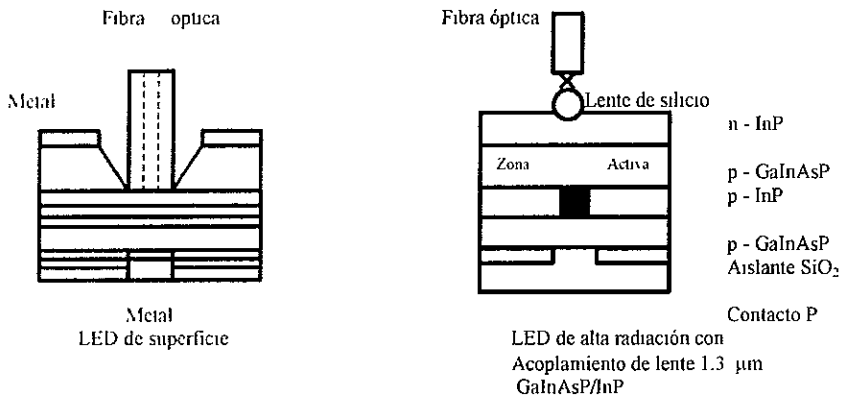


FIGURA 27. Representación de acoplamientos LED-Fibra óptica

DIODO LASER

Los diodos láser (LD) son fuentes de emisión estimulada y contienen dos espejos semirreflejantes para formar una cavidad resonante, lo cual sirve para realizar la retroalimentación óptica, así como elemento de selectividad

Para demostrar la diferencia entre un diodo emisor de luz y un diodo láser, se ilustran en la figura 28 las curvas características típicas de potencia luminosa/corriente eléctrica. Otra diferencia es la radiación de un diodo emisor de luz y un diodo láser es que este último La realizar por emisión estimulada y emite luz coherente. El diagrama polar de irradiación del diodo láser es mucho más angosto que el diodo LED, lo cual facilita un acoplamiento particularmente efectivo con el conductor de fibra óptica Figura 29.

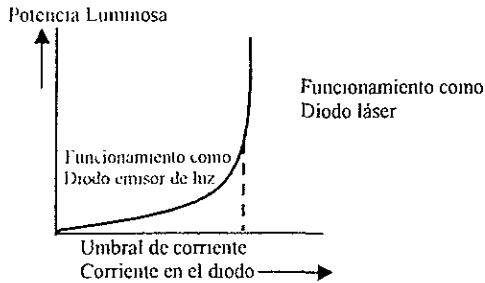


Figura 28. Curva característica potencia luminosa/corriente de un diodo láser.

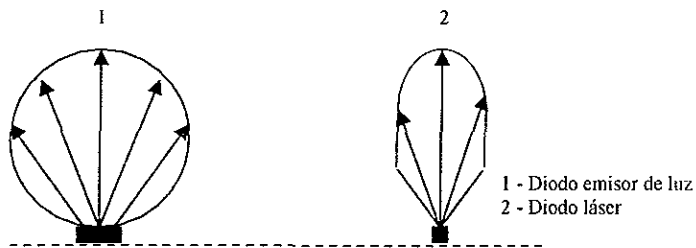


Figura 29. Distribución espacial de la radiación de un diodo emisor de luz y de un diodo láser.

La estructura del LD es muy similar a un LED. La diferencia fundamental consiste en que la emisión de un LD es siempre de perfil, y sobre éste, las superficies tienen características de espejos semirreflejantes. Cuando el diodo se polariza directamente, se inyectan portadores a la zona activa, donde se recombinan emitiendo espontáneamente fotones. Algunos de los electrones en la zona activa son estimulados a pasar a la banda de valencia emitiendo otros fotones, cuya fase y frecuencia son idénticas con las fases y frecuencia de los fotones estimulantes.

Si la densidad de corriente es suficientemente alta, existe un gran número de electrones que sean estimulados para que emigren al nivel de reposo emitiendo gran número de fotones, lo cual significa que se tienen altos niveles de ganancia óptica. Si existen espejos, los cuales realicen funciones de retroalimentación, la oscilación láser se alcanzara si el nivel de corriente es lo suficientemente grande,

para que la ganancia óptica compense las pérdidas. A nivel de corriente donde se alcanza el equilibrio entre pérdidas y ganancias se denomina corriente de umbral.

Si el tamaño longitudinal de la cavidad resonante, es varias veces mas grande que la longitud de onda, se obtendrán varios modos longitudinales, y el espectro radiado contendrá estos modos longitudinales. Una representación de la estructura de un LD se ilustra en la figura 30

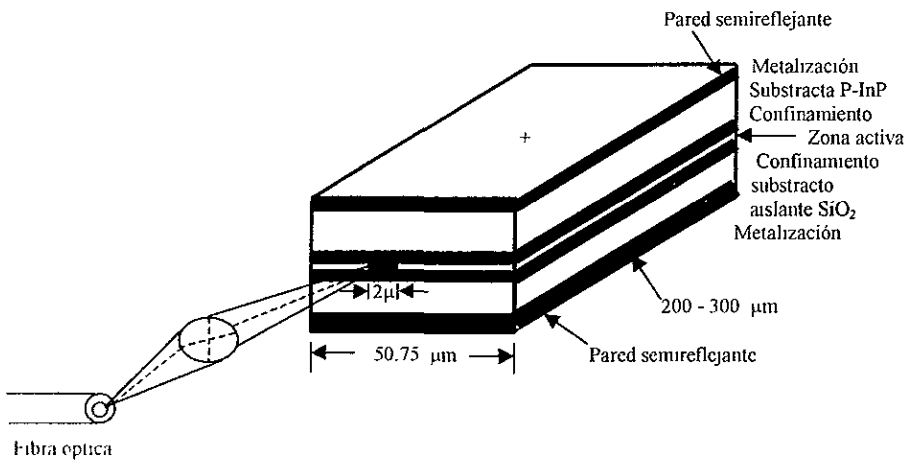


FIGURA 30. Estructura de un diodo láser.

Los LD tienen una corriente de umbral y a niveles de corriente menores a este umbral, el LD emite luz incoherente como un LED y a niveles de corriente arriba del umbral, la luz emitida es coherente. Puesto que las características de los espejos reflejantes son funciones tanto de la temperatura, como de la operación; la característica de potencia óptica corriente de polarización es función de la temperatura y sufre un cierto envejecimiento, debido a una operación normal o a degradaciones inducidas por una mala operación.

DETECTORES OPTICOS

En el fotodiodo se aprovecha el efecto de la absorción de radiación luminosa por un semiconductor. En este proceso, para transportar corriente se libera un par electrón-laguna por la incidencia de un fotón con mayor energía que la separación E_g de las bandas de energía (proceso inverso a la de la emisión luminosa)

En principio, las junturas PN de semiconductores se pueden utilizar no sólo para excitación de portadores por inyección lumínica sino también para la concentración de portadores de carga excitados ópticamente por medio de la separación, en el campo eléctrico, de la zona espacial de cargas o sea para la recepción de luz. La figura 31 ilustra esquemáticamente este proceso. En la concentración de los portadores de cargas intervienen tanto los generadores en la zona espacial de cargas de la juntura PN como los que se encuentran en la «zona de difusión».

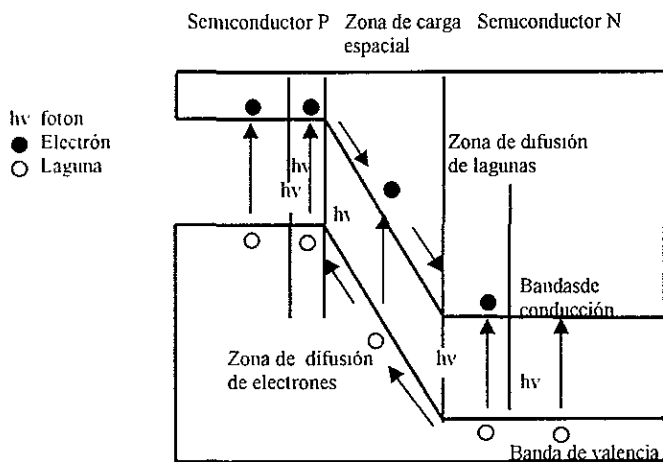


FIGURA 31. Proceso de un fotodiodo polarizado en sentido inverso.

Mientras que en el primer caso los dos portadores de carga generados son separados inmediatamente por el campo eléctrico en la zona de carga espacial, en el segundo los portadores minoritarios generados se deben difundir hasta la juntura PN antes que sean absorbidos por el campo de la zona de carga espacial y transportados a la zona semiconductor neutra ubicada enfrente. A causa de ambos procesos circula una corriente eléctrica en el circuito exterior.

FOTODETECTORES PIN

Los fotodetectores PIN, son los detectores mas comunes en los sistemas de transmisión por fibras ópticas. Estos dispositivos se forman con una capa de material semiconductor ligeramente contaminado que se llama región intrínseca (i), la cual se coloca entre dos capas de material semiconductor, una tipo N y otra tipo P. Cuando se le aplica una polarización inversa al fotodetector, se crea una zona desértica (libre de portadores) en la región intrínseca (i), en la cual se forma un campo eléctrico. En la figura 32, se muestra la representación esquemática del fotodetector PIN con su circuito

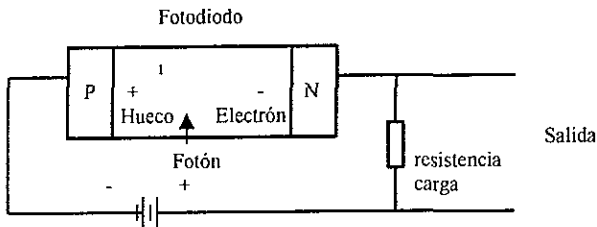


FIGURA 32. Representación esquemática de un fotodetector PIN

Un fotón que llegue a la zona desértica con energía mayor o igual a la del material semiconductor, puede perder su energía y excitar a un electrón que se encuentra en la banda de valencia, para que pase a la banda de conducción. Este proceso genera pares electron-hueco, que se les llama fotoportadores. El fotodetector se diseña para que la mayoría de los fotones se absorban en la zona desértica y se generen fotoportadores, los portadores genera un flujo de corriente en el circuito externo del fotodetector, a la cual se le conoce como fotocorriente.

La construcción de fotodetectores PIN con anillo de protección se realiza en obleas de silicio tipo P. En la superficie inferior de la oblea se hace una difusión P+ para facilitar el depósito de los contactos metálicos. En la superficie superior de la oblea se realiza una difusión N+ con la técnica de fotomascarilla, para asegurar la difusión del área activa y de los contactos. La estructura de un fotodetector de este tipo se muestra en la figura 33

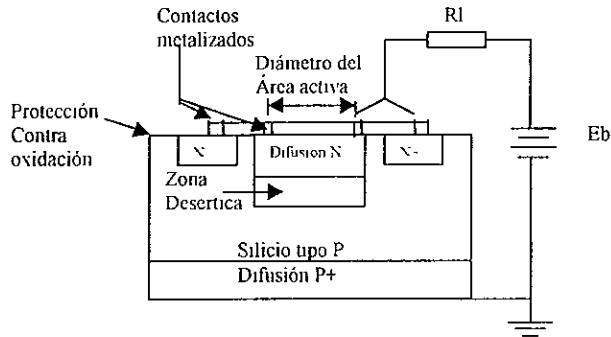


FIGURA 33. Estructura de un fotodetector PIN con anillo de protección.

Los fotodetectores se diseñan para que funcionen bajo ciertas condiciones de operación específicas. Sin embargo es posible usarlos fuera de las condiciones recomendadas en las hojas de datos, con el objetivo de optimizar su funcionamiento. Si el dispositivo se opera fuera del voltaje de polarización recomendado por el fabricante, se debe tener en mente que varias de las características en listadas en las hojas de datos se modifican.

Los fotodetectores PIN que se fabrican GaAlAs/GaAs tienen corriente de oscuridad de aproximadamente 0.2 nA y operan en el intervalo de las longitudes de onda de 700-900 nm. Los que se fabrican con GaInAs tienen una corriente de oscuridad de aproximadamente 2 nA y operan en las longitudes de onda de 1000 – 1550 nm. La capacitancia (C_d) de este tipo de fotodetectores es de aproximadamente 0.1 pF, por lo que se utilizan en sistemas de alta velocidad.

Los fotodetectores de silicio, tienen una corriente de oscuridad alrededor de un microamper, su capacitancia (C_d) es de aproximadamente 2 pF, operan en el intervalo de longitudes de onda de 700 – 1000 nm y su eficiencia es alta. Para aumentar la sensibilidad se puede agregar a los fotodiodos PIN un FET (transistor de efecto de campo). Con estos módulos híbridos PIN-FET se obtienen sensibilidades muy elevadas.

Los fotodetectores de germanio operan en las longitudes de onda mayores de 1000 nm, en laboratorio se tienen de hasta 1800 nm, su corriente de oscuridad aumenta fuertemente con la temperatura, por lo que ofrecen una mayor sensibilidad cuando operan a temperaturas menores que

0 °C

FOTODETECTORES DE AVALANCHA

Cuando a un fotodetector se le aumenta el voltaje de polarización, llega un momento que la corriente crece incontrolablemente, por el fenómeno de avalancha, hasta la destrucción del dispositivo. La región a partir de la cual la corriente aumenta se llama de avalancha. Si en esta región el fenómeno de avalancha se controla, la sensibilidad del fotodetector se incrementa notablemente. Para esto, es fundamental que no se rebase la capacidad de disipación del dispositivo, por lo que es importante limitar la corriente para un determinado voltaje de polarización.

De acuerdo con esta idea hay fotodetectores que funcionan con altos voltajes de polarización (50 - 400 Volts) cuando se aplican altos voltajes de polarización en la unión P- N(figura 34) a través de la zona de transición aparece un campo eléctrico muy intenso. En esta región los portadores de carga libres (pares electron-hueco) se desplazan mas rápidamente, con mayor energía y liberan nuevos portadores secundarios, los cuales también son acelerados y capaces de producir nuevos portadores. Este efecto es acumulativo y recibe el nombre de multiplicación por avalancha.

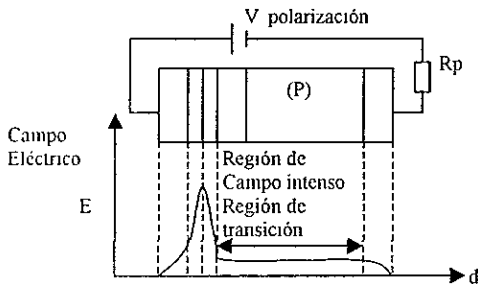


FIGURA 34. Fotodetector de avalancha.

La ganancia depende del diseño del dispositivo de las condiciones de polarización, por lo que es función del voltaje aplicado y de la temperatura de la unión. Si la ganancia fuese un proceso determinístico cada electrón hueco primario debería de generar exactamente M pares electrón hueco secundarios, tal como si fuese un amplificador perfecto. Sin embargo, el proceso de ganancia es estadístico en donde cada par electrón hueco primario genera un número aleatorio M de pares electrón hueco secundarios, con un valor medio M .

Dado que el mecanismo de avalancha esta sujeto a fluctuaciones estadísticas, se tiene un factor de ruido que aumenta con la ganancia, por tal motivo, aunque existan dispositivos con ganancias hasta de 1,000, las ganancias que comúnmente se utilizan en los sistemas de telecomunicaciones por fibras opticas están entre 10 y 100.

Al aumentar la polarización inversa, la corriente de oscuridad también aumenta, ya que el campo eléctrico crece en intensidad y los portadores de carga generados térmicamente son acelerados con energía suficiente para crear mas pares electrón hueco por colisión. Estos pares generados por impacto se aceleran y colicionan con otros átomos de la red, produciendo nuevos portadores de carga. Para un valor determinado de voltaje de polarización, la corriente de oscuridad crece indefinidamente, a tal voltaje de le llama voltaje de ruptura. Sin embargo, no es recomendable operarlo en esta condición, dado que el ruido también es máximo. Además de que el voltaje de ruptura del fotodetector depende fuertemente de la temperatura.

CAPITULO 4

EMPALMES Y CONECTORES.

EMPALMES

Para planificar el sistema es necesario tener en cuenta, además del coeficiente de atenuación de los conductores de fibra óptica, los valores de atenuación de los empalmes y de los conectores. Precisamente teniendo en cuenta el frecuente requerimiento de tender cables de fibras ópticas con tramos cada vez más largos sin el uso de regeneradores, además de cables de longitudes cada vez mayores y valores de atenuación de los conductores de fibra óptica cada vez más reducidos, también resulta necesario optimizar los empalmes y conectores en lo relativo a las atenuaciones de inserción de las respectivas uniones. Al hablar de conectores se dice que son conexiones *separables*, y de empalmes, que son *permanentes*.

Empalme mecánico simple

El método de empalme ilustrado en la figura 35 se emplea para empalmar conductores de fibra óptica con perfil gradual en la técnica de conductores huecos.

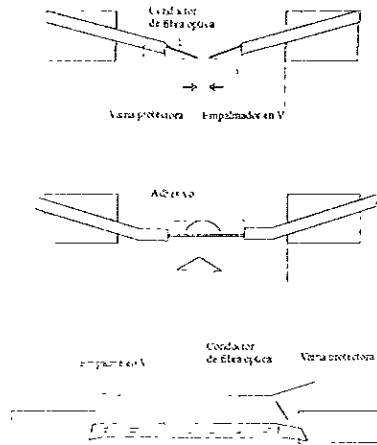


FIGURA 35. Método de empalme mecánico simple.

El principio del empalme se basa sobre el autocentrado de los conductores de fibra óptica a ser unidos en una chapa con forma de V.

Dos brazos giratorios fijan las vainas así como los conductores de fibra óptica y los llevan, tras ser cortados al largo exacto, a la posición de empalme sobre la chapa en forma de V del empalmador, produciendo tras un tensado preliminar su unión. La fijación permanente de los conductores de fibra óptica se logra con ayuda de un adhesivo de inmersión de rápido endurecimiento y otra chapa en forma de V la que por acción de la fuerza proveniente de unos resortes ejerce presión sobre los lugares de empalme. La resistencia a la tracción de la unión se obtiene fijando el empalmador en forma de V por aplastamiento a las dos vainas de los conductores.

El empalme mecánico simple es de fácil manejo. Dado que no se requiere una llama abierta para empalmar, el equipo sirve también para efectuar trabajos de empalme en un ambiente expuesto a peligro de explosiones.

La atenuación media de empalmes es de aproximadamente 0,2 dB (que depende, asimismo, de las tolerancias del conductor de fibra óptica).

Empalme térmico simple

Para soldar conductores con una fibra óptica de vidrio de cuarzo con perfil gradual o de vidrio de varios componentes, existe un equipo empalmador térmico cuyo manejo también es sumamente sencillo

Para encender el arco se emplea una tensión alterna de alta frecuencia. Entre los electrodos se genera la descarga necesaria para efectuar el empalme. La tensión de superficie del vidrio fundido efectúa el autocentrado de los conductores de fibra óptica a ser unidos, compensándose automáticamente. un desplazamiento de hasta 10 μm sin una atenuación adicional significativa

Un mecanismo de corte incorporado en el equipo garantiza cortes de fracturas netas con caras lisas como un espejo y con errores de ángulo menores que 3°

Gracias a la elevada precisión de las guías y de las buenas características de autocentrado del arco, el ajuste del conductor de fibra óptica en sentido longitudinal es el único que resta hacer figura 36. El proceso de ajuste se puede observar con el auxilio de un microscopio de proyección

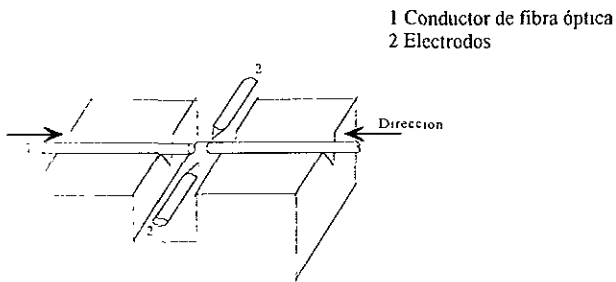


FIGURA 36. Método de ajuste del conductor de fibra óptica en sentido longitudinal

Ambos conductores de fibra óptica se ajustan haciendo coincidir dos marcas de ajuste en el microscopio de proyección y luego se puede activar el proceso de soldadura accionando el correspondiente pulsador, tras lo cual los procesos de soldadura preliminar, unión de los conductores de fibra óptica y soldadura definitiva se desarrollan en forma automática,

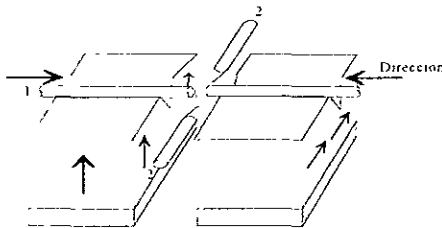
Tras terminar el proceso de empalme, los conductores de fibra óptica se colocan en un módulo de empalme que, además, los protege

El equipo lleva incorporado un portamódulos o soporte, en condiciones de contener diferentes módulos de empalme. Estos pueden ser metálicos o cassettes de material plástico

Una batería de plomo fácilmente intercambiable suministra la energía eléctrica necesaria. Con su carga completa, la batería permite realizar más de 150 empalmes. La atenuación media del empalme se encuentra en la gama de 0.1 hasta 0.2 dB (y depende además de las tolerancias de los conductores de fibra óptica)

Empalme térmico simple de conductores de fibra óptica monomodo

Para empalmar núcleos con un diámetro de unos $9\ \mu\text{m}$ se requiere una precisión y cuidados tan elevados que ya no alcanza la exactitud de los equipos empalmadores usuales para conductores de fibra óptica con perfil gradual. Por eso existe un equipo empalmador especialmente desarrollado para conductores de fibra óptica monomodo, el cual, para alcanzar pequeños valores de atenuación en el empalme, permite realizar el ajuste de los conductores de fibra óptica en tres ejes figura 37



1 Conductor de fibra óptica. 2 Electrodo. 3. Elementos de desplazamiento piezoeléctricos

FIGURA 37. Método de ajuste en tres ejes

El proceso de soldadura se desarrolla automáticamente en el mismo orden que para conductores de fibra óptica con perfil gradual, un potenciómetro permite graduar el recorrido de avance en forma continua entre 0 y $20\ \mu\text{m}$. Contrariamente al conductor de fibra óptica con perfil gradual, el efecto

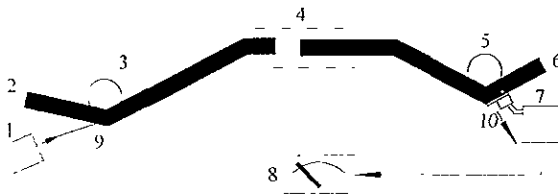
autocentrante producido por las tensiones superficiales del vidrio fundido resulta un inconveniente para los conductores de fibra óptica monomodo. Los movimientos resultantes de la masa de vidrio en fusión en la zona de unión provoca curvaturas del núcleo que pueden producir altas atenuaciones en el empalme. Es posible evitar este efecto con tiempos de soldadura breves, fractura en ángulo recto con error menor que 1 grado y baja corriente de soldadura.

En el equipo de empalme se encuentra integrado un dispositivo de corte para conductores de fibra óptica monomodo, el cual garantiza cortes de alta precisión con errores de ángulo menores de 1 grado. Las atenuaciones en el empalme son menores de 0.1 dB (debiéndose tener en cuenta las tolerancias de los conductores de fibra óptica).

Sistema de inyección de luz y detección local para conductores de fibra óptica (LID)

El sistema local de inyección de luz y detección, LID 1 (Local Injection and Detection System) permite el ajuste rápido y sin inconvenientes de los conductores de fibra óptica multimodo o monomodo a ser empalmados.

El equipo trabaja de acuerdo al siguiente principio figura 38



1. Dedo emisor de luz
2. Conductor de fibra óptica 1
3. Formas para curvar la fibra óptica
4. Empalmes abiertos
5. Conductor de fibra óptica 2
7. Amplificador
8. Instrumento indicador
9. Conductor de fibra óptica de núcleo grueso
10. Conector

FIGURA 38. Principio del sistema LID

Únicamente puede acoplarse la luz con rendimiento técnicamente útil en el frente del núcleo de un conductor de fibra óptica idealmente rectilíneo. De igual manera un conductor de fibra óptica rectilíneo no irradia prácticamente ninguna luz al exterior. Lo anterior deja de tener vigencia cuando se dobla el conductor. Si el radio de curvatura es suficientemente pequeño, la mayor parte de la luz que pasa por el núcleo sale del conductor de fibra óptica por dicha curvatura y puede ser captado por un fotoelemento.

Este proceso es reversible la luz también puede ser acoplada en el núcleo de un conductor de fibra óptica curvado atravesando el revestimiento teñido y el vidrio del recubrimiento.

Como elemento transmisor se emplea un diodo emisor de luz la cual es transmitida hasta el punto de acoplamiento por medio de un conductor de fibra óptica de núcleo grueso. Cuando la luz ha pasado, en el punto de empalme, del conductor de fibra óptica número 1 al número 2, la fracción de luz irradiada en el desacoplador por efecto de la curvatura incide en un fotoelemento. Este convierte la potencia lumínica incidente en un valor proporcional de corriente, indicada por un instrumento de medición tras su amplificación y filtrado.

Todo cambio de posición del extremo del conductor de fibra óptica 1 con respecto al extremo del 2 modifica la potencia lumínica incidente y es indicada por una variación en el desplazamiento de la aguja en el instrumento de medición. El receptor con el sistema de desacoplamiento. El equipo empalmador se conecta por medio de un cable con el transmisor. El equipo empalmador o una batería de 12V separada suministra la corriente necesaria.

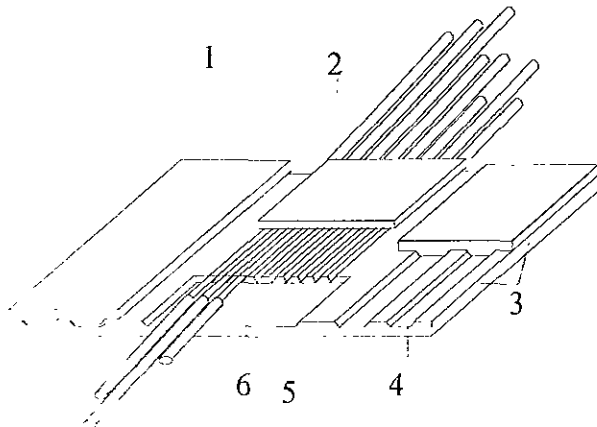
El empleo del sistema LID permite el posicionamiento óptimo de los núcleos de fibra óptica y simultáneamente una reducción del tiempo de ejecución de cada empalme, ya que se puede prescindir del hasta ahora necesario control de este en el otro extremo del cable con osciloscopio - ya sea por medio de radio control o por medio de fibra óptica libres o conductores de cobre -. Para simplificar aún más el desarrollo del proceso y mejorar, al mismo tiempo, la calidad de los empalmes se ha desarrollado un empalmador térmico con control por microprocesadores, en el cual se encuentra integrado el sistema LID.

Empalme múltiple

La creciente cantidad de cables con numerosos conductores de fibra óptica provoca forzosamente una mayor complejidad en los trabajos. Para contrarrestar esta dificultad se encuentran en proceso de desarrollo adicionalmente técnicas de empalmes múltiples. Este método permite, por ejemplo, efectuar hasta 12 empalmes en forma simultánea. Al igual que para la técnica del empalme simple, también para la del empalme múltiple existe el método mecánico y el térmico.

Empalme múltiple mecánico

Todas las partes del empalmador múltiple son de silicio. Con procesos corrosivos de desgaste de alta precisión se ha practicado en la base guías para conductores de fibra óptica y guías para alojar los dos elementos a ser empalmados. Tras haber sido posicionados los conductores de fibra óptica, resulta posible alojar en un elemento de empalme como máximo doce conductores de fibra óptica multimodo o seis monomodo. Tras haber sido pulidos los extremos de los conductores de fibra óptica se procede a unir ambos conectores de silicio. Las partes del conector múltiple son montados módulo que protege al empalme y a los conductores de fibra óptica de deterioros mecánicos figura 39.



- 1 Elemento de unión
- 2 Tapa
- 3 Dos mitades
- 4 Guías para los elementos de unión
- 5 Guías de las fibras ópticas
- 6 Parte rebajada por acción de ácido

FIGURA 39. Empalme múltiple desprendible

El empalme puede ser montado por tramos, existen aparatos adecuados para hacerlo. Habitualmente se ejecutan en fábrica. En el lugar del montaje se efectúa únicamente el acoplamiento de ambos extremos. Es posible, sin inconveniente alguno, separar y reconectar repetidas veces los elementos de empalme.

Para conductores de fibra óptica multimodo y la dimensión 50/125 μm la atenuación de inserción es de aproximadamente 0.2dB, para los de 10/125 μm alrededor de 0.5dB por cada empalme.

Empalme múltiple térmico

Además del empalmador simple de funcionamiento térmico, casi automático, existe un empalmador múltiple térmico que trabaja de acuerdo al mismo principio. Una tensión alterna de alta frecuencia suministra, con una descarga entre los electrodos, el calor necesario para fundir los extremos de los conductores de fibra óptica. La exacta colocación recíproca de éstos y el correcto posicionamiento de ambos electrodos son factores importantísimos para obtener buenos empalmes. En vista de que operaciones como quitar el revestimiento, separar el conductor de fibra óptica y colocar la protección del empalme tienen lugar en forma simultánea para todos los conductores de fibra óptica; el tiempo necesario para empalmar un grupo con 10 conductores de fibra óptica se reduce a aproximadamente una cuarta parte de valores habituales para equipos de empalme simple.

CONECTORES

Las conexiones por conectores en líneas de transmisión óptica se emplean para separar fácilmente 2 conductores de fibra óptica y acoplarlos, cuando fuese necesario, con muy poca atenuación. En función del diámetro del núcleo del conductor de fibra óptica empleado y la atenuación de inserción requerida para la conexión, los conectores deben ajustarse a diversos requerimientos en cuanto a sus tolerancias mecánicas.

Los conectores ópticos constituyen uno de los elementos más importantes de los sistemas de comunicaciones ópticas.

Se define el conector óptico como aquel dispositivo desconectable a voluntad que nos permite interconectar fibras ópticas. Existen los siguientes tipos:

Conectores ópticos de Férula única

Estos están formados por dos unidades "macho" que se interconectan por medio de una "hembra" común a ambos o acoplador óptico.

Constructivamente constan de una pieza central o cánula, que en lo sucesivo denominaremos férula, que aloja en su interior la fibra óptica desnuda.

Realiza una doble función pues la parte interna de la férula retiene mecánicamente, la fibra óptica y la parte exterior de la férula guía a la fibra óptica cuando se inserta el conector en la hembra común de acoplamiento o acoplador óptico.

La parte exterior del conector o cuerpo del mismo es una carcasa metálica que realiza la función de inmovilizar mecánicamente al conector en el acoplador óptico.

Los materiales que habitualmente se emplean para construir las férulas de los conectores ópticos son Aluminio, acero inoxidable, acero inoxidable niquelado, circonio y materiales cerámicos.

Los materiales que habitualmente se emplean para construir las carcasas de los conectores ópticos son Acero inoxidable, acero inoxidable niquelado, plástico y polímeros.

La fiabilidad del acoplamiento entre las dos fibras ópticas conectorizadas depende de la precisión en el dimensionado de las férulas y de la concentricidad del núcleo de la férula con el núcleo de la fibra óptica.

El criterio constructivo que se emplea en la fabricación de las férulas es realizarlas en una sola pieza, mecanizando en su interior un taladro que servirá para central de la fibra óptica. Ésta se fija a la férula mediante un adhesivo epoxy.

Las causas que determinan la excentricidad en el acoplamiento férula-fibra son

- La propia excentricidad en el mecanizado del taladro, y que se puede estimar en el margen de 1 a 1.5 micras
- La excentricidad de alineamiento entre el taladro y el núcleo de la fibra óptica, y que puede tener un valor máximo de 0,6 micras conforme lo especificado por el C.C.I.T.T

En el peor de los casos se pueden alcanzar valores de excentricidad en el acoplamiento férula-fibra de hasta 2.5 micras, valor que en caso de darse entre conectores de fibras monomodo puede llegar a producir incrementos en las atenuaciones de hasta 1 dB.

Los conectores ópticos realizados con férulas de alta precisión presentan un error, máximo en su concentricidad de 1 micra y son los idóneos para la conectorización de las fibras ópticas monomodo

El valor de tolerancia entre el diámetro de la fibra óptica y el del orificio de centrado de la misma, que se maneja habitualmente en los procesos de fabricación, es de 0.5 micras

En la actualidad se aplican las técnicas más recientes con la introducción de nuevos materiales para la fabricación de las férulas, tales como materiales cerámicos o metales como el circonio, de una gran dureza y resistencia y que permiten tolerancias en su pulido inferiores a 0.5 micras

Una vez mecanizadas las férulas el paso siguiente consiste en desnudar y seccionar la fibra óptica introduciéndola por el orificio de centrado para proceder a su fijación mediante adhesivo epoxy

Antes del endurecimiento del adhesivo se procede al ajuste y centrado de la fibra óptica en la férula mediante un equipo que inyerta luz en la fibra óptica e ilumina su núcleo, lo que permite su observación mediante un conjunto de lentes.

El ajuste se realiza girando la férula en el dispositivo óptico hasta alcanzar la posición óptima de centrado

Si la excentricidad excede de un determinado valor e imposibilita alcanzar la posición óptima de centrado se utiliza una herramienta especial que presiona el cuerpo central de la férula

A continuación se inicia de nuevo el ajuste de la férula en el dispositivo de centrado

El valor de excentricidad tolerable para las fibras ópticas monomodo es de 1 micra, y para las fibras ópticas multimodo es de 2 micras

Una vez centrada la fibra óptica en la férula el paso siguiente del proceso es pulir el extremo de la férula y montar la carcasa del conector

Las fibras ópticas conectorizadas que suministran los fabricantes se entregan con su respectivo protocolo de medición de pérdidas que garantiza las Pérdidas de Inserción introducidas por el conector

Los conectores de férula única o de enfrentamiento directo disponibles en el mercado son de los siguientes tipos

Conector SMA (Amphenol)

Este conector es la versión óptica del conector subminiatura tipo A. Es actualmente el más utilizado en los sistemas de transmisión de datos de cortas distancias con fibras ópticas multimodo.

Este tipo de conector es el más probado pues lleva más de diez años en el mercado. Existen dos versiones SMA-905 y SMA-906, la diferencia entre ambas consiste en que el modelo SMA-905 tiene una férula recta, mientras que el modelo SMA-906 tiene un resalte de mayor diámetro a partir de la mitad de la férula

El acoplamiento entre conectores se realiza por medio del acoplador SMA que garantiza una separación entre las caras enfrentadas de las fibras ópticas de 3 a 18 micras

La distancia de separación está en función de la precisión que se alcanzó durante el proceso de pulido de las férulas.

Los valores de atenuación que introducen estos conectores oscilan entre 0.3 dB y 1.5 dB. Un valor típico de atenuación es de 0.8 dB.

En la actualidad la introducción de nuevos materiales para la fabricación de las férulas, tales como materiales cerámicos y aluminio con carcasa exterior metálica o de polímero, han dado origen a las versiones SMA-86.020 y SMA-86.021 en las que se optimizan los valores de las pérdidas de inserción características que introducen 10 conectores y acopladores SMA.

Los conectores de la versión 86.020 introducen unas pérdidas de inserción típicas de 0.25 dB para fibras ópticas con diámetros de 50/125 micras, y de 0.2 dB para fibras ópticas con diámetros de 62.5/125 micras.

Los conectores de la versión 86.021 introducen unas pérdidas de inserción típicas de 0.25 dB para fibras ópticas con diámetros de 50/125 micras, y de 0.2 dB para fibras ópticas con diámetros de 62.5/125 micras.

La diferencia entre ambas versiones consiste en que en la primera la carcasa exterior del conector es un polímero, mientras que en la segunda es metálica. En ambas versiones la férula está fabricada con aluminio y material cerámico.

Las dos versiones son totalmente compatibles con los primitivos conectores SMA-905 y SMA-906. La figura 40 muestra las vistas en sección y corte de la sección de un conector SMA-905.

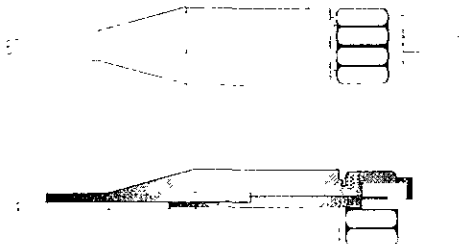


FIGURA 40. Conector SMA-905

Conector ST

Este conector es un desarrollo de la firma DORRAN y tiene un diseño de tipo bayoneta muy similar al BNC usado con el cable coaxial.

Se diferencia del SMA, en que en el conector ST las caras de las fibras están en contacto físico entre sí y bajo presión. Se reducen de esta forma las pérdidas por efecto de la reflexión de Fresnel.

La férula tiene un diámetro de 2.5 mm y originariamente se construía siempre en material cerámico.

La carcasa exterior presenta un elemento de codificación mecánico o chaveta que al encastrar obliga a la férula a adoptar una única posición de trabajo. Para mantener ambos extremos de las fibras ópticas bajo presión las férulas están sometidas a presión con sendos muelles con lo que lógicamente este conector no necesita mantener una distancia prefijada entre férulas.

Para el interconexión de los conectores ST, se utiliza un acoplador ST que presenta la peculiaridad de que la pieza central de guiado construida en material cerámico es solidaria con la parte mecánica exterior del acoplador ST construida de metal.

El cuerpo exterior del acoplador presenta en ambos sentidos sendos chaveteros donde alojar las chavetas respectivas de las férulas y que obligan a éstas a adoptar su única posición de trabajo.

Su utilización es indistinta para fibras ópticas monomodo y multimodo, si bien está muy impuesto en todas las redes de área local multimodo al haber sido adoptado como un estándar de facto para estas redes por empresas como A.T.T., D.E.C., I.B.M., SIEMENS, SIECOR.

Los valores de atenuación que introducen estos conectores oscilan entre 0.1 dB y 0.4 dB.

La aplicación a este conector de las técnicas y materiales actuales con la fabricación de las férulas en circom y de las carcasas exteriores en polímero han dado origen a las versiones ST-86.010 y ST-

86 013 en las que se optimizan los valores de las pérdidas de inserción características que introducen los conectores y acopladores ópticos ST.

Los conectores de la versión 86.010 están diseñados para fibras ópticas multimodo e introducen unas pérdidas de inserción típicas de 0.2 dB para fibras ópticas con diámetros de 50/125 micras, y de 0.1 dB para fibras ópticas con diámetros de 62.5/125 micras con unas pérdidas de retorno típicas superiores a 18 dB

Los conectores de la versión 86.013 están diseñados para fibras ópticas monomodo e introducen *unas pérdidas de inserción típicas de 0.25 dB con unas pérdidas de retorno típicas superiores a 30dB* cuando el pulido de la férula es P.C. y superiores a 42 dB cuando el pulido de la férula es Super P C

La figura 41, muestra las vistas en sección de un conector ST de un acoplador ST como el detalle de la sección de la férula del conector ST con pulido PC.

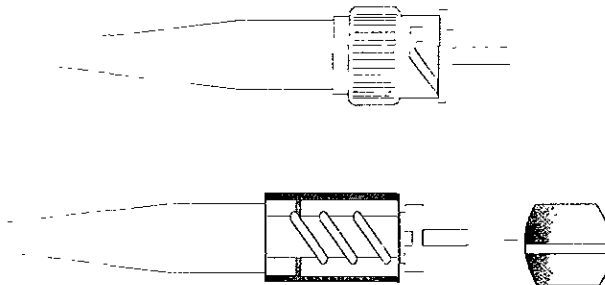


FIGURA 41. Conector ST

Conector Bicónico

Este conector es un desarrollo de la firma A T T. y está formado por una férula en forma troncoconica sin codificar y trabaja como el conector ST manteniendo las caras de las fibras ópticas en contacto y bajo presión

Presenta la ventaja de su excelente precisión en el centrado debido a la forma troncocónica tanto de la férula como del acoplador bicónico que es el elemento de interconexión de ambas férulas

La férula está formada por dos partes: la exterior construida en material plástico que realiza la función de guiado; y la interior construida con material cerámico que realiza las funciones de centrado posicionado y contacto final con la férula siguiente

La parte interior de la férula presenta un resalte con respecto a la parte exterior de la misma. No tiene ningún elemento mecánico de codificación que obligue a la férula a adoptar una única posición de trabajo

Entre la férula y la carcasa exterior del conector hay un muelle que tiene la misión de mantener presionadas ambas férulas entre sí manteniendo los extremos de las fibras ópticas en contacto y bajo presión

Para el interconexionado de los conectores bicónicos se utiliza el acoplador bicónico que está construido en material plástico y presenta la peculiaridad de que la pieza central de guiado es flotante. No es, por tanto, solidaria con la carcasa exterior del acoplador bicónico. Este acoplador permite almacenar en su interior una gota de líquido adaptador de índice para de esta forma minimizar las pérdidas introducidas por efecto de Reflexión de Fresnel

El uso, del conector bicónico está limitado a unas aplicaciones muy específicas debido a su elevado coste. Es aplicable en fibras ópticas monomodo y multimodo. En el caso de las fibras ópticas monomodo el valor de pérdida de inserción característico introducido por una conexión con dos conectores y un acoplador bicónico es de 0,59 dB

La figura 42 representa las vistas en sección de un conector bicónico, de un acoplador bicónico, así como el detalle de la sección final de la férula del conector bicónico.

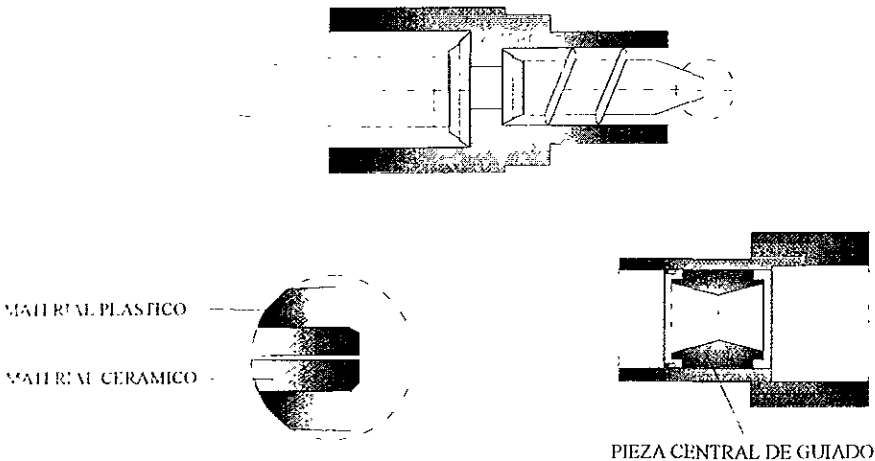


FIGURA 42. Conector bicónico

Conector F.C.

Este conector constituye un estándar en Japón. Su desarrollo corrió a cargo de la firma SEIKO y posteriormente se adoptó por Compañías Telefónicas Norteamericanas y por Compañías Telefónicas Europeas. En España por Telefónica en su versión F.C.I.P.C. y recientemente en su versión F.C.A.P.C.

Está formado por una férula totalmente cilíndrica y trabaja como el conector ST manteniendo las caras de las fibras ópticas en contacto y bajo presión por la acción de dos muelles que presionan las férulas.

La férula está formada por dos partes: la exterior, construida en acero inoxidable que realiza la función de guiado y que presenta una claveta que obliga a la férula a adoptar una única posición de trabajo, y la interior, construida con material cerámico que realiza las funciones de centrado, posicionado y contacto final con la férula siguiente.

La terminación del extremo de la parte interna de la férula es totalmente plana y de aquí provienen las siglas que lo denominan F.C. Face Contact o Superficie de contacto

En este conector el extremo seccionado de la fibra óptica en la férula presenta una superficie concava pulida y se conoce como pulido de la férula P.C

Para el interconexionado de los conectores F.C, se utiliza un acoplador F.C que presenta la peculiaridad de que la pieza central de guiado construida en una aleación de cobre Y berilio es solidaria con la carcasa exterior del acoplador F.C construida de metal. El cuerpo exterior del acoplador presenta en ambos sentidos sendos chaveteros donde alojar las chavetas respectivas de las férulas y que obligan a éstas a adoptar su única posición de trabajo

Posteriormente se modificó este conector desarrollando la versión F.C./P.C. que difiere del F.C. en la forma de terminación del extremo seccionado de la fibra óptica en la férula y que presenta una superficie convexa mucho más apropiada para las fibras ópticas monomodo.

El conector F.C es apropiado para conectar fibras ópticas multimodo, mientras que para conectar fibras ópticas monomodo es preferible la versión F.C./P.C.

La aplicación a este conector de las técnicas y materiales actuales con la fabricación de las férulas en circonio y de las carcasas exteriores metálicas han dado origen a la versión FC-86.057 tanto para fibras ópticas monomodo como multimodo, en las que se optimizan los valores de las pérdidas características que introducen los conectores y acopladores ópticos F.C.

Los conectores de la versión 86.057 diseñados para fibras ópticas multimodo introducen unas pérdidas de inserción típicas de 0.1 dB con unas pérdidas de retorno típicas superiores a 18 dB. Los conectores de la versión 86.057 diseñados para fibras ópticas monomodo introducen unas pérdidas de inserción típicas de 0.08 dB con unas pérdidas de retorno típicas superiores a 45 dB.

La figura 43 muestra las vistas en sección de un conector F.C., de un acoplador F.C., así como el detalle de la sección final de la férula del conector F.C.

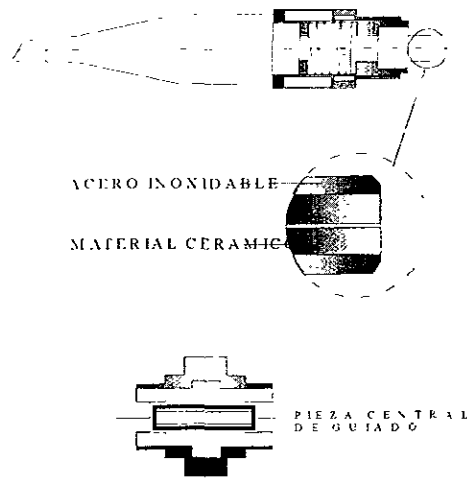


FIGURA 43. Conector f. C.

Conector F.C./A.P.C.

Este conector es una variante del F C. y su desarrollo corrió a cargo de la firma SEIKO

La superficie de terminación de los extremos de las fibras es convexa pulida y difiere del F C /P.C en que la terminación del extremo de la férula no es perpendicular a su eje longitudinal sino que presenta un desviación angular con respecto al mismo de 8°

De esta divergencia en su diseño provienen las siglas F C./A P C que lo denominan Face Contact/Angle Polished Contact o superficie de contacto/contacto pulido en ángulo.

Este diseño del extremo seccionado de la fibra óptica mejora las pérdidas características de retorno en el conexionado de las fibras ópticas monomodo que es donde encuentra su ámbito de *utilización*

Los detalles constructivos de la férula son idénticos a los del conector F C

La férula es totalmente cilíndrica y trabaja como el conector F C manteniendo las caras de las fibras ópticas en contacto y bajo presión por la acción de sendos muelles que presionan las férulas

La férula está formada por dos partes; la exterior construida en acero inoxidable que realiza la función de guiado y que presenta una chaveta que obliga a la férula a adoptar una única posición de trabajo y la interior construida con material cerámico que realiza las funciones de centrado, posicionado y contacto final con la férula siguiente.

Para el interconexionado de los conectores F C /A.P.C. se utiliza un acoplado análogo al utilizado con los F C /P.C que en su cuerpo exterior presenta en ambos sentidos sendos chaveteros donde alojar las chavetas respectivas de las férulas que obligan a éstas a adoptar su única posición de trabajo

El diseño de este conector con su peculiar geometría persigue optimizar las pérdidas de retorno que llegan a alcanzar valores característicos superiores a 70 dB, con unas pérdidas de inserción típicas de 0.2 dB

Conector F.C./P.C.

Este conector es una variante del F.C y su desarrollo corrió a cargo de la firma SEIKO.

La única variante respecto al F.C es que el extremo seccionado de la fibra óptica presenta una superficie convexa pulida que origina un punto de contacto

Este diseño del extremo seccionado de la fibra óptica mejora las pérdidas características en el conexionado de las fibras ópticas monomodo que es donde encuentra su ámbito de utilización

Los detalles constructivos de la férula son idénticos a los del conector F C La férula es totalmente cilíndrica y trabaja como el conector F.C. manteniendo las caras de las fibras ópticas en contacto y bajo presión por la acción de sendos muelles que presionan las férulas.

La férula está formada por dos partes: la exterior construida en acero inoxidable que realiza la función de guiado y que presenta una chaveta que obliga a la férula a adoptar una única posición de trabajo, y la interior construida con material cerámico que realiza las funciones de centrado, posicionado y contacto final con la férula siguiente.

De la terminación totalmente plana del extremo de la parte interna de la férula y de la superficie del extremo seccionado de la fibra óptica provienen las siglas que lo denominan F C /P.C. Face Contact/Point Contact o superficie de contacto/punto de contacto

Para el interconexionado de los conectores F.C /P.C. se utiliza un acoplador F.C /P.C que presenta la peculiaridad de que la pieza central de guiado construida en una aleación de cobre y berilio o de circonio es solidaria con la carcasa exterior del acoplador F C /P C construida de metal o de polímero

El cuerpo exterior del acoplador presenta en ambos sentidos sendos chaveteros donde alojar las chavetas respectivas de las férulas que obligan a éstas a adoptar su única posición de trabajo

Existen versiones de alta calidad de estos conectores que no son sino conectores F.C /P.C. a los que se somete a un mayor número de pasos de pulido con lo que se logra incrementar el grado de convexidad del extremo seccionado de la fibra óptica

Estos conectores son los que se conocen como Super P.C o con pulido de la férula, Super P C

Análogamente existe otra versión de menor calidad que es la que se conoce como F C -P.C /D3. Tiene un coste inferior a la versión F.C /P.C. y los valores de pérdidas que introduce están por encima de los 0.05 dB

El valor característico de pérdidas de inserción introducido por una conexión con dos conectores y un acoplador F C /P C es de 0.38 dB.

La figura 44 representa las vistas en sección de un conector F C /P C., de un acoplador F C /P C así como el detalle de la sección final de la férula del conector F C./P C

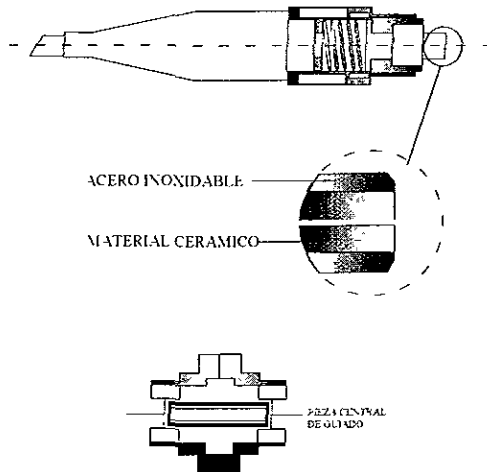


FIGURA 44. Conector F.C./P.C.

Conector S. C.

Este conector responde a un nuevo criterio de modularidad, es el conector más moderno y está diseñado para permitir que sea posible apilarle por simple presión.

Esta llamado a ser el conector utilizado para llevar la fibra óptica al abonado

La carcasa exterior está fabricada en material plástico y su férula es idéntica a la utilizada en los conectores F C /P C . por tanto su forma de trabajo es idéntica a la de aquéllos

La aplicación a este conector de las técnicas y materiales actuales con la fabricación de las férulas en circonio y de las carcasas exteriores en polímero ha dado origen a la versión S.C -86 061, tanto para fibras opticas monomodo como multiinodo, en la que se optimizan los valores de las pérdidas características que introducen los conectores y acopladores ópticos S.C

Los conectores de la versión 86 061 diseñados para fibras ópticas multimodo introducen unas pérdidas de inserción típicas de 0.15 dB para fibras ópticas con diámetros de 50/125 micras, y de 0.1 dB para fibras ópticas con diámetros de 62.5/125 micras con unas pérdidas de retorno típicas superiores a 18 dB

Los conectores de la versión 86 061 diseñados para fibras ópticas monomodo introducen unas pérdidas de inserción típicas inferiores a 0.2 dB con unas pérdidas de retorno típicas superiores a 30 dB cuando el pulido de la férula es P C , y superiores a 45 dB cuando el pulido de la férula es Super P C.

Conectores Especiales

Dentro de este campo veremos unos conectores ópticos especiales, habitualmente mal llamados empalmes mecánicos, que se caracterizan por su versatilidad, facilidad y rapidez de instalación

Los valores de atenuación que introducen son muy aceptables por lo que se han impuesto en las tareas de mantenimiento de las redes de fibra óptica

Todos ellos funcionan en base al principio de guiar los extremos de la fibra óptica desnuda enfrentándolos entre sí con la interposición de un gel o líquido adaptador de índice que contribuye a reducir la reflexión por efecto Fresnel.

A continuación se relacionan los más importantes por su nombre comercial ya que es con este nombre con el que se les conoce y utiliza

Finger-Splice

Se trata de un conector óptico desmontable y reutilizable. Es válido tanto para fibras ópticas monomodo como multimodo y se encuentra disponible para diámetros de revestimiento desde 125 micras hasta 900 micras

El guiado de la fibra óptica se logra mediante una ranura en forma de V mecanizada sobre una oblea de silicio. En la parte central de la oblea de silicio existe un líquido adaptador de índice.

La fibra se retiene por la presión que se ejerce sobre el revestimiento con lo que las fibras ópticas quedan descargadas de tracción mecánica.

Puede soportar una tracción de 350 g, la temperatura de trabajo oscila en el margen de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, y el valor característico de atenuación que introduce es de 0.2 dB.

Elastomeric

Se trata de un conector óptico que no es desmontable ni reutilizable. Es válido tanto para fibras ópticas monomodo como multimodo y se encuentra disponible para diámetros de revestimiento desde 100 micras hasta 900 micras. El guiado de la fibra óptica se logra mediante una guía plástica con líquido adaptador de índice en su parte central.

La fibra óptica se retiene por un adhesivo Epoxy, la temperatura de trabajo oscila en el margen de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $-77\text{ }^{\circ}\text{C}$, y el valor característico de atenuación que introduce es de 0.2 dB.

Valor que con un útil especial es posible optimizar llegando a obtener valores de hasta 0.15 dB.

Fastomeric

Se trata de un conector óptico que es desmontable pero no reutilizable. Es válido para fibras ópticas monomodo y multimodo y se encuentra disponible para diámetros de revestimiento desde 125 hasta 1 000 micras. El guiado de la fibra óptica se logra mediante la ranura plástica que forman las dos medias cañas que constituyen el conector que, en su parte central, lleva un líquido adaptador de índice.

La fibra se retiene por medio de un adhesivo, puede soportar una tracción de 280 g, la temperatura de trabajo oscila en el margen de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$, y el valor característico de atenuación que introduce es de 0.25 dB.

Photomatrix

Se trata de un conector óptico que es desmontable y reutilizable. Es válido tanto para fibras ópticas monomodo como multimodo y se encuentra disponible para diámetros de revestimiento desde 100 micras hasta 1 000 micras.

La fibra óptica se retiene por medio de dos tornillos que la presionan y puede soportar una tracción de 500 g. La temperatura de trabajo oscila en el margen de -20 °C hasta +60 °C y el valor característico de atenuación que introduce es de 0,2 dB.

Optimate

Se trata de un conector óptico que es desmontable pero no reutilizable. Es válido para fibras ópticas monomodo y multimodo y se encuentra disponible para un diámetro de revestimiento de 125 micras.

El sistema de guiado de la fibra óptica se logra mediante la ranura plástica que forman las tres tercias cañas que constituyen el conector que, en su parte central, lleva un líquido adaptador de índice. El cerrado del conector se realiza mediante la utilización de una herramienta especial y con la aplicación de calor.

Los valores característicos de atenuación que introduce son de 0,15 dB en fibras ópticas monomodo y de 0,1 dB en fibras ópticas multimodo.

Fibriok

Se trata de un conector óptico que no es desmontable ni reutilizable. Es válido tanto para fibras ópticas monomodo y multimodo y se encuentra disponible para diámetros de revestimiento desde 125 micras hasta 900 micras.

El guiado de la fibra óptica se realiza mediante una guía con líquido adaptador de índice en su zona central.

La fibra se retiene por presión, una vez cerrado el conjunto, con una herramienta especial; puede soportar una tracción de 420 g, la temperatura de trabajo oscila en el margen de -40 °C hasta +80 °C, y el valor característico de atenuación que introduce es de 0.2 dB.

UVC Optical

Se trata de un conector óptico que no es desmontable ni reutilizable. Es válido tanto para fibras ópticas monomodo como multimodo.

El sistema de guiado de las fibras ópticas se logra por cuatro varillas de vidrio que forman una guía de sección poligonal con líquido adaptador de índice en el centro.

El exterior es de vidrio y en él se introduce el adhesivo que se activa por radiación ultravioleta, puede soportar una tracción de 900 g, la temperatura de trabajo oscila en el margen de -40 °C hasta +70 °C, y el valor característico de atenuación que introduce de 0.2 dB.

Boem y Bos

Son más un pequeño empalme que un conector óptico y no son reutilizables. Son válidos únicamente para fibras ópticas monomodo. El guiado de las fibras ópticas se hace por una guía plástica con líquido adaptador de índice.

La retención de la fibra se realiza por un adhesivo Epoxy y el valor característico de atenuación que introducen es de 0.3 dB.

Pérdidas por conectores

Las pérdidas de los conectores de fibra óptica están frecuentemente en el rango que va desde 0.3 dB a 1.5 dB, y dependen en gran medida del tipo de conector usado. Otros factores que contribuyen a las pérdidas por conexión incluyen la suciedad o los contaminantes en el conector, la instalación impropia del conector, una cara dañada del conector, un corte pobre, desadaptación de los núcleos de las fibras, desalineamiento de los núcleos de las fibras, desadaptación del índice de refracción, etc.

Pérdidas por empalmes

Las pérdidas por empalme ocurren en todos los empalmes. Los empalmes mecánicos tienen generalmente las mayores pérdidas, a menudo en el rango que va desde 0.2 dB a 1.0 dB, dependiendo del tipo de empalme. Los empalmes por fusión tienen unas pérdidas más bajas, generalmente menores que 0.2 dB. Con un buen equipamiento se consiguen normalmente unas pérdidas de 0.07 dB. Las pérdidas se pueden atribuir a un gran número de factores, incluyendo un mal corte, el desalineamiento de los núcleos de las fibras, burbujas de aire, contaminación, desadaptación del índice de refracción, desadaptación del diámetro del núcleo, etc.

Al realizar empalmes y conexiones se introducen atenuaciones causadas por diferentes factores: Desalineamiento de ejes, inclinación de ejes, inclinación de las caras, diferencia del diámetro de los núcleos, diferencia entre los índices de refracción de los núcleos, entre otros. Niveles típicos de atenuación introducida por los factores antes enunciados se presentan en la figura 45.

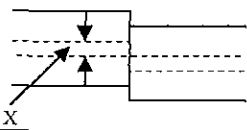
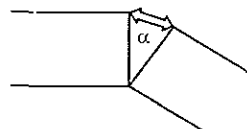
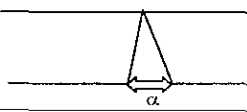
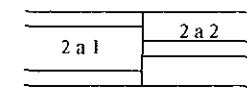
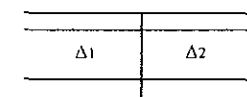
| Causas que introducen pérdidas | Empalme | Error | |
|--------------------------------|---|---|--|
| | | Monomodo | Gradual |
| Desalineamiento |  | $X = 2 \mu\text{m}$ | $X = 2 \mu\text{m}$ |
| | | 0.74 dB | 0.06 dB |
| Inclinación de ejes |  | $\alpha = 1^\circ$ | $\alpha = 1^\circ$ |
| | | 0.46 dB | 0.15 dB |
| Inclinación de las caras |  | $\alpha = 1^\circ$ | $\alpha = 1^\circ$ |
| | | 0.21 dB | 0.03 dB |
| Diferencia de núcleos |  | $2a1 = 10 \mu\text{m}$ $2a2 = 8 \mu\text{m}$ | $2a1 = 50 \mu\text{m}$ $2a2 = 48 \mu\text{m}$ |
| | | 0.02 dB | 0.15 dB |
| Diferencia de índices |  | $\Delta 1 = 0.2\%$ $\Delta 2 = 0.25\%$ | $\Delta 1 = 1.0\%$ $\Delta 2 = 0.8\%$ |
| | | 0.03 dB | 0.32 dB |

FIGURA 45

CAPITULO 5

CARACTERISTICAS DE LOS ELEMENTOS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONE POR FIBRA OPTICA

La tecnología de las fibras ópticas es un desarrollo actual, que ha sustituido el uso de los cables metálicos en una gran variedad de aplicaciones. En el presente existen comercialmente disponibles muchos sistemas con fibras ópticas, que tienen aplicación en las telecomunicaciones, en sistemas computacionales, en seguridad, control y monitoreo de procesos industriales. Por lo que, en este capítulo se presenta una guía para el diseño de enlaces con fibras ópticas, desde luego no se pretende responder a todas las incógnitas del diseño, pero sí presentar varias alternativas y ayudar al interesado a desarrollar sistemas de acuerdo a necesidades específicas.

ANALISIS DE UN SISTEMA POR FIBRAS OPTICAS

Como en cualquier diseño, un sistema de comunicaciones vía fibras ópticas debe diseñarse de acuerdo a un protocolo. Existe toda una serie de procedimientos para esto, en los cuales se cubren los cinco pasos siguientes, que se consideran los más importantes:

- 1 Especificación de los requerimientos del sistema
- 2 Descripción de los requerimientos físicos y del medio ambiente
- 3 Cálculos de los niveles de potencia óptica
- 4 Realización de análisis del ancho de banda
- 5 Revisión global del diseño del sistema

REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

El proceso del diseño del sistema se inicia con la determinación de la relación señal a ruido, si se van a manipular señales analógicas o la tasa de error para señales digitales. Esto especifica el nivel mínimo de potencia óptica que reconocerá el receptor.

Estos parámetros dependen del ancho de banda o de la razón de datos. La selección es función de la señal a manipular (analógica o digital), ya que en un enlace punto a punto con fibra óptica, la electrónica o equipo terminal es diferente en cada caso.

SEÑALES ANALÓGICAS

Las señales analógicas, tales como las de vídeo y audio pueden excitar directamente al transmisor para obtener una salida óptica modulada, con el nivel de potencia requerido. A esto se le conoce como *modulación de intensidad que es un método simple y directo de codificar la señal de onda de luz.*

La calidad en la transmisión en los sistemas analógicos se determina la relación señal a ruido (SNR) y la linealidad. En un sistema de este tipo, la calidad se mejora con la mayor relación señal a ruido (SNR) posible y una gran linealización, que se logra utilizando las técnicas de modulación en frecuencia (FM). En esta técnica, la información se usa para modular en frecuencia una subportadora, que modula en intensidad a la fuente óptica. Debido a los factores de dispersión del material y de intermodulación, los enlaces de FM normalmente requieren fibras ópticas con anchos de banda mayores a 200 MHz/Km.

Los enlaces cortos sin repetidores utilizan en su mayoría modulación analógica, sin embargo, en la actualidad para muchas aplicaciones se emplea transmisión digital con modulación binaria.

SEÑALES DIGITALES

En las fibras ópticas, las señales digitales se forman por presencia y ausencia de luz en instantes breves. Al tiempo en que la fuente óptica emite luz se le conoce como pulso digital y representa el estado binario "1"; mientras que el estado binario "0" se representa cuando la fuente óptica no emite luz. Estos dos estados representan la señal digital, que consiste en una serie de bits que resultan de emisión breve de radiación por la fuente óptica.

Al tiempo que tarda un pulso en alcanzar su amplitud máxima, se le conoce como tiempo de elevación. Tiempos de elevación y de decaimiento rápidos permiten tener una mayor cantidad de pulsos por segundo, que desde luego se refleja en más bits de información que pueden transmitirse.

En los sistemas de transmisión digital el parámetro que determina la calidad del sistema es la tasa de error (BER bit error rate). Una tasa de error típica para este tipo de sistemas es $BER = 1 \times 10^{-9}$, que representa 1 error en 10^9 bits.

Las características de los sistemas digitales varían dependiendo de la distancia de transmisión, ya que entre más viaje el pulso dentro de la fibra éste sufre mayor deformación debido a los problemas de distorsión que ocurren en la fibra.

El nivel de potencia óptica que debe emitir una fuente, así como el nivel mínimo de potencia que puede incidir en el detector y el tipo de fibra óptica, son función de la distancia y de la razón de bit o ancho de banda.

ARREGLO DEL SISTEMA

La determinación de las características y de los componentes de los sistemas de fibras ópticas depende de su aplicación (TV, telefonía, redes de datos, otros), distancia de transmisión (longitud del enlace) y velocidad de transmisión o ancho de banda, así como las características ambientales en que va a operar el sistema.

NIVEL DE POTENCIA OPTICA REQUERIDA

Conociendo la topología del sistema y sus componentes es posible determinar pérdidas de potencia optica en cada punto

Las fibras ópticas y los conectores tienen un intervalo de pérdida de potencia, debido a las *variaciones de su fabricación. Los empalmes también generan al enlace una pérdida de potencia que depende de su proceso.* En el caso de las fuentes ópticas se deben de especificar sus características principales, tales como: el intervalo de potencia óptica que emiten (mínimo y máximo), su longitud de onda, el ancho del espectro, su frecuencia de operación y otros. El intervalo de variación de dichas características normalmente se considera, que no sea mayor del 60% y para la potencia óptica emitida la variación debe ser menor de 4 dB.

Los detectores también tienen un intervalo de sensibilidad (potencia óptica mínima detectable). Esta característica la especifica el fabricante de los dispositivos, sin embargo, normalmente se especifica la sensibilidad global del sistema que es la del receptor, en la cual se involucro el ruido de la electrónica asociada al detector

PLAN DE ESPECIFICACIONES

Para determinar las características de la fibra óptica del transmisor y receptor, es necesario en listar los parámetros importantes del sistema, con el objetivo de cubrir un análisis lo más completo posible

PLAN DE CABLEADO DEL SISTEMA

Características mecánicas del cable.- Esto depende del medio ambiente en el que va a estar el sistema. las consideraciones más importantes son capa protectora, rigidez, tipo de conductor, número de conductores y otros

Fibra óptica.- La selección de la Fibra depende de las características del sistema, las consideraciones mas importantes son tipo de fibra (plástico o silicio), dimensiones del núcleo v recubrimiento, modo de propagación (monomodo o multimodo), tipo de índice (gradual o escalonado) y otros.

Apertura Numérica (NA)-- Esto depende del tipo de fibra seleccionada

Longitud de onda.- Valor nominal de operación

Ancho de banda.- Se especifica en MH-

Tiempo de subida.- Tiempo de subida de un pulso óptico desde 20% al 80% de sL máxima intensidad, esto lo define el fabricante

Pérdida en el cable.-La atenuación se da en dB por kilómetro

Conectores.- Número de conectores y la pérdida de éstos en decibeles.

Interruptores ópticos.- Si se utilizan interruptores ópticos, la cantidad de éstos y la máxima atenuación permitida

Empalmes.- El número de empalmes y la atenuación en dB de cada uno de ellos

Distancia de transmisión.- La distancia entre el transmisor y el receptor

CARACTERISTICAS DEL TRANSMISOR

Señal de entrada.- Tipo de señal de entrada (digital o analógica), si es digital, por ejemplo TTL o ECL. También se necesita especificar la impedancia, y el nivel de la señal en volts

Potencia óptica emitida.- La potencia que emite la fuente óptica de_l transmisor.

Máxima razón de datos o ancho de banda .- La máxima velocidad de transmisión en Bits/s o la máxima respuesta en frecuencia en Hz

Tiempo de subida.- El tiempo de subida óptico, es el 20% al 80% de la intensidad máxima del pulso. El tiempo de subida electrico del 10% al 90% de la amplitud máxima de la señal

Tipo de conector.- Eléctrico v óptico, especificar el nivel de atenuación que se introduce

Formato de la señal o código.- Tipo de formato de la señal RZ o NRZ, código manchester o MB\B

Retardo.- Tiempo en que tarda la señal en el transmisor en nanosegundos

Fuente de alimentación.- Voltaje requerido para la alimentación del transmisor.

CARACTERISTICAS DEL RECEPTOR

Sensibilidad .- El nivel de potencia óptica mínima detectable por el receptor, en watts o decibeles referidos a un miliwatt

Máxima tasa de error (BER) o relación señal a ruido (SNR).- Para sistemas analógicos el SRN en dB, para sistemas digitales los BER típicos son de 10^{-9}

Formato de la señal o código.- Tipo de formato de la señal RZ o NRZ, código manchester o MBNB

Tiempo de subida.- El tiempo de subida óptico, es el 20% al 80% de la intensidad máxima del pulso El tiempo de subida eléctrico del 10% al 90% de la amplitud máxima de la señal

Señal de salida.- Nivel del voltaje de salida e impedancia

Máxima razón de datos o ancho de banda.- La máxima velocidad de transmisión en Bits/s o la máxima respuesta en frecuencia en Hz.

Fuente de alimentación.- Voltaje requerido para la alimentación del receptor

CONCLUSIONES

En este trabajo se da a conocer los elementos que necesitamos para poder construir un sistema de transmisión mediante fibra óptica, este sistema nos proporciona velocidades de transmisión mas elevados que otros sistemas (sistema de comunicación por cable metálico, sistema de radiocomunicaciones) así como mayor cantidad de información. Otras características de este sistema son. menor peso del cable, alta calidad de transmisión, niveles bajos de interferencia, otros.

Los elementos requeridas para un sistema de transmisión mediante fibra óptica son: emisores ópticos, fibra optica, detectores ópticos, empalmes, conectores y regeneradores ópticos. Al dar a conocer el funcionamiento de cada elemento podemos ver la importancia de cada elemento

También debemos considerar otros factores para el uso de este sistema, tales como: ancho de banda . tipo de información, condiciones ambientales, distancia, otros.

Los sistemas por fibra óptica son muy variados debido a que hay diversos tipos de emisores ópticos (LED y el diodo láser), fibras ópticas (cable de estructura holgada o ajustada, cable de figura en S, cable blindado, otros), detectores ópticos (fotodetector PIN y fotodetector de avalancha), empalmes (empalme mecánico simple, térmico simple, múltiple, otros), conectores (conector SMA, conector ST, conector F. C., otros).

El diseño de estos sistemas esta basado en las necesidades del usuario así como en el costo. Este sistema al manejar una lata velocidad de transmisión , en un futuro se podrán tener diferentes servicios digitales en las casas y en las oficinas, y gracias a esto se renovaran las técnicas de acceso que tienen los diferentes usuarios, para una rápida obtención de información independiente del tipo.

GLOSARIO

Absorción óptica: Es transformación de la señal óptica (fotones) en la señal eléctrica (electrones).

Apertura numérica: Propiedad de la fibra para recolectar la luz y propagarla. Depende únicamente del valor de los índices de refracción del núcleo y del revestimiento. Es adimensional.

Ancho de banda: Se define el ancho de banda de una fibra óptica como aquella frecuencia a la cual la magnitud de la función de transferencia decrece hasta una fracción específica, generalmente 3 dB con respecto al valor que ésta presenta a frecuencia nula.

Atenuación: La atenuación de una fibra óptica es la tasa de decrecimiento de la potencia óptica media con respecto a la distancia a lo largo de la fibra óptica.

Cable óptico: Elemento que agrupa a una o varias fibras ópticas. Tiene la función de guiar en su interior a la fibra óptica y protegerla de todos los agentes que pudieran atacarla.

C.C.I.T.T: Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefonía

Índice de refracción: Es la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad en dieléctrico.

Longitud de onda (λ): Se define como la relación entre su velocidad de propagación y su frecuencia.

Modos: número de longitudes de onda que pueden viajar al mismo tiempo en una fibra.

Regenerador óptico: Realizan una amplificación de las señales, consiste en la adición de unos bits de redundancia a los símbolos codificados inicialmente para disminuir la probabilidad de error.

BIBLIOGRAFIAS

COMUNICACIONES OPTICAS ; José Martín Sanz, Editorial Paraninfo, España 1966.

CONDUCTORES DE FIBRAS ÓPTICA; Gunther Mahlke y Peter Gossing, Editorial Marcombo, Barcelona 1987

SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS; Wayne Tomasi, Editorial Prentice Hall Hispanoamericana S.A., Segunda Edición, México 1996.

SISTEMAS DE COMUNICACIÓN POR FIBRA OPTICA; Hildeberto Jardón Aguilar, Roberto Linares y Miranda, Editorial Alfaomega, México 1995.