

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

COMUNICACIONES,

FIBRAS ÓPTICAS EN SISTEMAS
DE COMUNICACIÓN

TRABAJO DE SEMINARIO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

CUAUHTÉMOC HERNÁNDEZ CORTES

ASESOR: ING. JORGE RAMÍREZ RODRÍGUEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO DE MEX , 2001

206941



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



U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

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, Fibras ópticas en sistemas de comunicación.

que presenta el pasante: Cuauhtemoc Hernandez Cortes

con número de cuenta: 9561267 - 4 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 11 de Julio de 2001.

MODULO	PROFESOR	FIRMA
<u>I</u>	<u>Ing. Jorge Ramirez Rodriguez</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 mi papá Luis F. y a mi mamá Josefina, por haberme apoyado en mis estudios con sus consejos, por ayudarme a cumplir este sueño, por haber hecho de la casa un lugar armónico y digno para el estudio.

Los quiero, los admito y los respeto.

A mis hermanos y tíos que de alguna manera me apoyaron e impulsaron a alcanzar esta meta.

Gracias.

INDICE

PROLOGO.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
CAPITULO 1	
FORMAS Y SISTEMAS DE COMUNICACIONES.	
Formas y sistemas de comunicaciones.....	3
Sistemas de comunicación.....	5
Elementos de un sistema de comunicación.....	7
Tipos de medios de transmisión en sistemas de comunicación.....	7
Cable par trenzado.....	8
Cable coaxial.....	9
Fibra óptica.....	10
Espacio libre.....	11
Enlace de microondas.....	12
CAPITULO 2	
SISTEMAS DE COMUNICACIÓN POR FIBRA OPTICA.	
Reseña histórica de los sistemas de comunicación por fibra óptica.....	14
Elementos de un sistema de comunicación por fibra óptica.....	16
Definición de los elementos básicos de un sistema de comunicación por fibra óptica.....	18
Ventajas de transmisión por fibra óptica.....	20
Desventajas de transmisión por fibra óptica.....	21
CAPITULO 3	
LA FIBRA OPTICA	
Detalles constructivos de la fibra óptica.....	22
Principios de funcionamiento.....	23
Naturaleza de la luz.....	23
Propagación de la luz en una fibra óptica.....	25
Tipos de fibra óptica.....	28
Cono de aceptación.....	33
Cables ópticos monofibra y multifibra.....	34
Usos mas importantes de las fibras ópticas.....	37
Perdidas en las fibras ópticas.....	39
Aspectos generales.....	39
Atenuación de la luz.....	40
Perdidas por dispersión modal.....	41

Perdidas por dispersión cromática.....	41
Perdidas por absorción y radiación.....	41
Perdidas por acoplamiento.....	42
Perdidas por dispersión de Rayleigh.....	42
Microcurvaturas.....	43
 Ancho de banda de una fibra óptica.....	 46
Proceso de fabricación.....	48
Proceso de deposición de vapor químico modificado.....	48
Proceso doble crisol.....	49
Cables fibra óptica diferentes tipos.....	50
Estructura del cable.....	50
Diferentes tipos conforme a la protección diferente de la fibra.....	51
Ventajas y desventajas.....	54

CAPITULO 4

CONECTORES , EMPALMES Y ACOPLADORES

Conectores.....	55
Requerimientos.....	56
Construcción de un conector.....	56
Conectores de fibra óptica.....	57
Bien para saber.....	60
Empalmes.....	61
Conexión fibra fibra.....	61
Perdidas intrínsecas.....	62
Variación del diámetro del núcleo.....	62
Variación de la apertura numérica.....	63
Variación del perfil del índice.....	64
Perdidas extrínsecas.....	64
Desalineamiento axial.....	64
Distancia entre las dos fibras.....	65
caras no perpendiculares y Estado de las superficies.....	65
Perdidas de reflexión (Fresnel).....	65
Proceso de conexiones permanentes.....	66
Preparación de la fibra.....	67
Alineación de la fibra.....	67
Técnicas de alineamiento de fibras.....	67
Soldadura o pegado.....	68
Protección del empalme.....	68
Empalme de fibras ópticas por fusión directa.....	69
Corte de fibra y método de prefusión.....	70
Acopladores.....	72

Distribución en serie.....	72
Distribución en estrella.....	73
Acopladores pasivos.....	74
Acopladores activos.....	74

CAPITULO 5

EMISORES Y DETECTORES

Emisores.....	75
Diodo emisor de luz (LED).....	75
Proceso de emisión.....	76
Espectro de emisión.....	77
LED de emisión de bordes (ELED).....	77
Diodo Laser.....	78
Proceso de emisión.....	78
Espectro de emisión.....	79
Características del transmisor.....	80
Detectores y receptores.....	82
Diodo PIN.....	82
Fotodiodo de avalancha (APD).....	84
Receptores.....	86
Ruido en los receptores ópticos.....	88

CAPITULO 6

TRANSMISIÓN DE SEÑALES EN UN SISTEMA DE FIBRA ÓPTICA.

Tipo de señales.....	89
Señal analógica.....	90
Señal digital.....	90
Ventaja de los sistemas digitales.....	91
Etapas de transmisión y recepción.....	91
Transmisión de señales analógicas.....	92
Transmisión por medio de señales discretas.....	92
Topologías de transmisiones ópticas.....	93
Muestreo.....	93
Codificación de datos.....	94
Códigos de línea.....	94
Codificación no retorno a cero (NRZ).....	95
Codificación con retorno a cero (RZ).....	95
Código MANCHESTER.....	96
Modulación.....	97
Modulación analógica.....	97
Modulación digital.....	98
Demodulación.....	98
Transmisión síncrona.....	98

Transmisión asíncrona	99
FDDI.....	100
CONCLUSIONES	103
GLOSARIO DE TERMINOS.....	104
BIBLIOGRAFIA.....	106

PROLOGO

¿Porqué fibra óptica?

Las comunicaciones convencionales electrónicas utilizan electrones que viajan por hilos, las comunicaciones inalámbricas utilizan radio-ondas y micro-ondas que viajan en el vacío. Las comunicaciones ópticas utilizan luz que viaja en fibras. Diferentes medios para diferentes metas, los primeros dos medios de transmisión se han utilizado rentablemente, pero la tecnología de transmisión asociada las líneas ha estado siempre a la expectativa de nuevas mejoras técnicas. Precisamente con el desarrollo del láser semiconductor y de la fibra óptica así como de la tecnología digital avanzada, se abrió paso a una revolución de transmisiones: señales eléctricas podían ser convertidas en señales ópticas y conducirse a través de fibras del espesor de un cabello fabricadas de vidrio, a lo largo de grandes distancias, con lo que se irrumpía en una nueva era de telecomunicaciones, en cuyo transcurso se ira pasando gradualmente de la era del cobre a la del las fibra óptica.

Este trabajo desea transmitir los conocimientos básicos sobre los equipos de línea de los sistemas de transmisión por fibra óptica.

INTRODUCCION

Desde los tiempos de la antigüedad, uno de los principales intereses de los seres humanos es concebir un sistema de comunicación para mandar mensajes de un lugar distante de otro. La comunicación es la transmisión de información de un lugar a otro. Los elementos principales para cualquier sistema de comunicación se muestran en la figura 1. Estos elementos incluyen en un extremo una fuente de información con entradas del mensaje a un transmisor. El transmisor acopla el mensaje hacia un canal de transmisión en la forma de un signo con velocidades de transferencia propias del canal de transmisión.

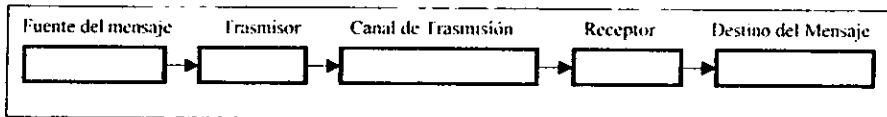


Figura 1 Elementos fundamentales de un sistema de comunicaciones.

El canal es el elemento por el cual se salva la distancia entre el transmisor y el receptor. Ésta o puede ser una línea de la transmisión guiada como un alambre, guía de onda, o puede ser sin guía el canal atmosférico o espacial. Estas señales al pasar por el canal, puede ser progresivamente atenuados y puede distorsionarse al incrementarse la distancia. Por ejemplo, la potencia eléctrica se pierde a través de la generación de calor como un flujo de señal eléctrica a lo largo de un alambre, y la potencia óptica se atenúa por la dispersión y absorción por moléculas aéreas en un canal atmosférico. La función del receptor es extraer el signo debilitado y distorsionado del canal, amplificarlo, y restaurarlo a su forma original antes de pasarlo adelante al destino del mensaje.

CAPITULO 1

FORMAS Y SISTEMAS DE COMUNICACIONES

Muchas formas de sistemas de comunicación han aparecido durante los años. Las motivaciones principales detrás de cada nuevo o eran mejorar la fidelidad de la transmisión, aumentar los datos, clasificados para que más información pudiera enviarse, o para aumentar la distancia de la transmisión entre las estaciones de la retransmisión. Antes del siglo XIX que todos los sistemas de comunicación eran de muy bajos datos, clasificar tipo y el medio sólo óptico o acústico básicamente involucrado, como señales de lámparas o cuernos. La transmisión óptica conocida una de las más antiguas por ejemplo, era el uso del fuego como signo, usado por los griegos en el siglo octavo A.C. para enviar alarmas, para llamadas de auxilio, anuncios de ciertos eventos. Sólo un tipo de signo fue usado, su significado a organizando de antemano entre el remitente y el receptor. En el cuarto siglo A.C. la distancia de la transmisión estaba extendida a través del uso de estaciones de la retransmisión, y aproximadamente 150 A.C. estos signos ópticos se pusieron en código respecto al alfabeto para que cualquier mensaje pudiera entonces ser enviado. No se siguieron mejoras de estos sistemas activos debido a las limitaciones de tecnología. Por ejemplo, la velocidad de la conexión de comunicación estaba limitada desde el ojo humano que se usó como un receptor, se requirieron caminos de transmisión de línea-de-vista, y los efectos atmosféricos como niebla y lluvia hicieron el camino de la transmisión inestable. Así que en general resultaron ser más rápidos y más eficientes mandar los mensajes por correo por la red de caminos.

La invención del telégrafo por Samuel F. B. Morse en 1838 anunciaría una nueva época en comunicación, la era de las comunicaciones eléctricas, Los primeros servicios comerciales de telegrafía que usaba cables del alambre se llevó a cabo firmemente en 1844 y los incremento de las instalaciones extensas a lo largo del mundo en los años siguientes. El uso de cables del alambre para transmisión de información extendida en la instalación del primer intercambio del teléfono una nueva forma de conexión en 1878.

El cable de alambre era el único medio para comunicación eléctrica hasta el descubrimiento de la radiación de electromagnética de longitud-anchura de banda de onda por Heinrich Hertz en 1887.

La primer implementación de esta fue la demostración de la radio por Guglielmo Marconi en 1895.

En los años siguientes cada vez más dividen del espectro electromagnético que se utilizó por llevar información de un lugar a otro. La razón para esto es que, en sistemas eléctricos, los datos son usualmente transferidos encima del canal de comunicación sobreponiendo el signo de información hacia una onda sinusoidal electromagnética variante conocida como portadora. En el destino, la información es removida de la portadora y procesada como se desea. Desde la cantidad de información que puede transmitirse se relaciona directamente al rango de frecuencia encima del que la onda portadora opera, incrementando la frecuencia de la portadora teóricamente incrementa la disponibilidad de ancho de banda y, por consiguiente, proporciona una capacidad de información más grande. Así la tendencia en desarrollos de sistemas de comunicación eléctricos era emplear frecuencias progresivamente más altas (longitudes de onda más cortas) que ofreció aumentos correspondientes en anchos de banda, incrementando la capacidad de información, esta actividad de guiar, dio un giro con el nacimiento de la televisión, radar, conexiones de microondas.

La porción del espectro electromagnético que es usado para las comunicaciones se muestra en la figura 1.1, la transmisión media usada como espectro incluye guías de onda de milímetros y microondas, cables metálicos ondas de radio. Entre los sistemas de comunicación usados están como medios el familiar teléfono, radio de AM y FM, televisión, bandas de radio en ciudades, radares, conexiones vía satélite, todas estas forman se han convertido en una parte diaria en nuestras vidas.

Las frecuencias de estas rangos de aplicación son de alrededor de 300Hz en bandas de audio y alrededor de 90GHz para bandas milimétricas.

Otra importante porción del espectro electromagnético abarca la región óptica como se muestra en la figura 1.1. En esta región es acostumbrado la especificación de la banda de interés en términos de ancho de banda, en lugar de la región de la frecuencia de radio. Los rangos del espectro óptico de alrededor de 50nm (ultravioleta) para casi 100 μ m (lejano infrarrojo), el espectro debe ser de la banda de 400 a 700nm. Similar al espectro de radio frecuencia, dos tipos de medio de transmisión pueden ser usados: canal atmosférico o canal de guía de onda.

SISTEMAS DE COMUNICACION

La comunicación se define como la transmisión de información de un lugar a otro. Esta transmisión se hace entre un emisor y un receptor.

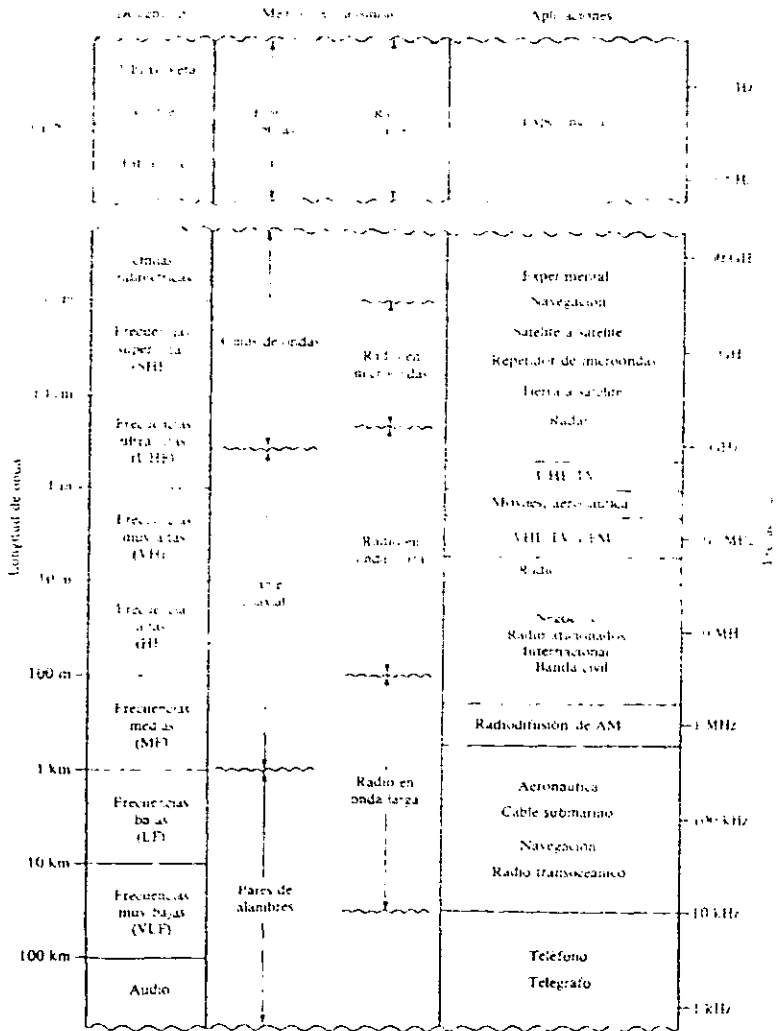
La comunicación es el proceso por medio del cual la información se transfiere de un punto llamado *fuentes*, en espacio y tiempo, a otro punto que es el *destino* o usuario. Un sistema de comunicación es la totalidad de mecanismos que proporcionan el enlace para la información entre fuente y destino.

Hay muchas clases de fuentes de información, incluso hombres y máquinas; por eso los mensajes aparecen de muchas formas, pero fuera cual fuere el mensaje, el objeto de un sistema de comunicación es proporcionar una réplica aceptable de él en su destino.

El protagonista principal en cualquier comunicación de datos es el medio de transmisión sobre el que se tiene lugar. El costo de una comunicación de larga distancia puede atribuirse en su mayor parte a los medios de comunicación, mientras que en el caso de comunicaciones a cortas distancias el peso fundamental de los costos recae sobre los equipos de comunicaciones. Cuando se diseña sistema de comunicación, es necesario dedicar mucha atención a la combinación elegida en cuanto a medios de comunicación y

equipos de transmisión de datos se refiere, y a las tendencias en las variaciones de precios.

Figura 1.1. El espectro electromagnético. (las aplicaciones mostradas son ilustrativas: las limitaciones del espacio impiden una lista completa).



LOS ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN

La figura 1.2. muestra los elementos funcionales de un sistema completo de comunicación. también indica que hay algunos factores no deseados que obviamente forman parte de la figura.

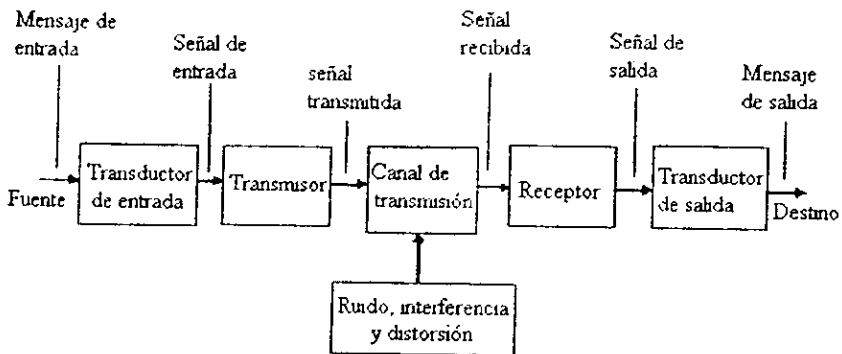


Figura 1.2. Elementos de un sistema de comunicación.

TIPOS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES

Los sistemas de comunicaciones se clasifican por el tipo de canal de transmisión y pueden ser del tipo confinados (cableados) o no confinados (inalámbricos). Para estos tipos de canales existen varios medios de transmisión como se puede observar en la siguiente tabla 1.

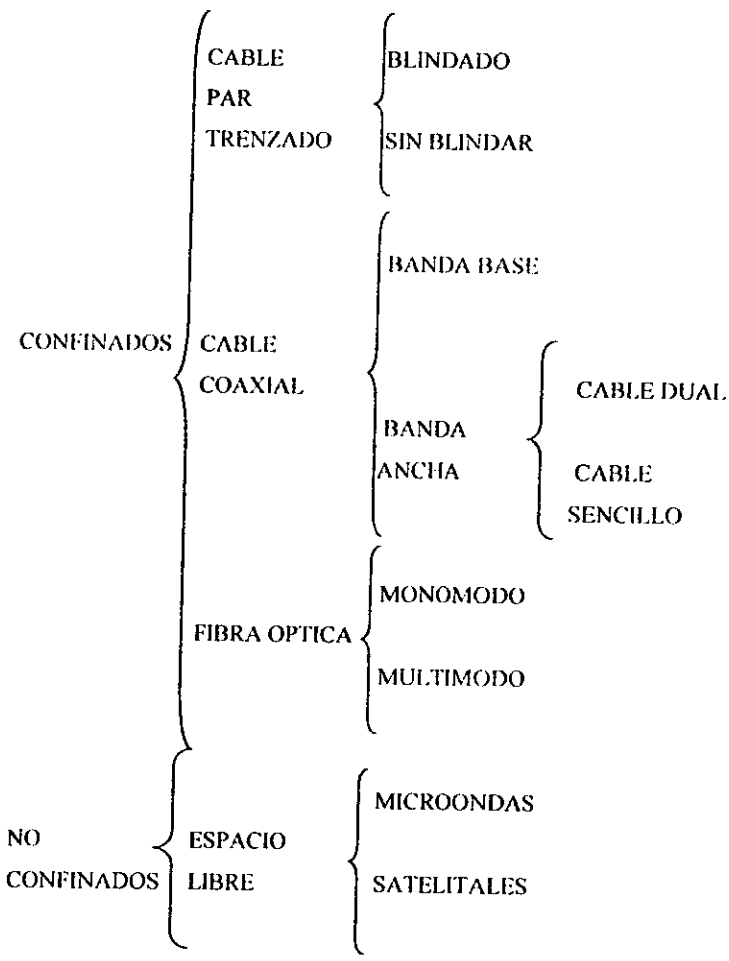


Tabla 1. Clasificación según el tipo de canal.

Cable de par trenzado: se forma doblando “trenzando” dos conductores aislados juntos, figura 1.3. Los pares se trenzan frecuentemente en unidades, a su vez, están cableadas en el núcleo. Estas se cubren con varios tipos de fundas, dependiendo del uso que se les vaya a dar. Los pares vecinos se trenzan con diferente inclinación (el largo de la trenza) para

poder reducir la interferencia entre los pares debido a la inducción mutua. Las constantes primarias del cable de par trenzado son sus parámetros eléctricos (resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia), que están sujetas a variaciones con el ambiente físico como temperatura, humedad y tensión mecánica, que dependen de las variaciones en la fabricación.

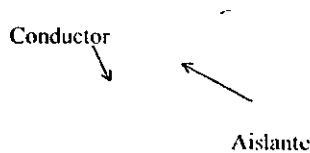


Figura 1.3. Construcción de cables de pares.

Cable coaxial: Se utilizan extensamente, para aplicaciones de alta frecuencia, para reducir las pérdidas y para aislar las trayectorias de transmisión. El cable coaxial básico consiste de un conductor central rodeado por un conductor exterior concéntrico (distancia uniforme del centro) figura 1.4. A frecuencias de operación relativamente altas, el conductor coaxial externo proporciona una excelente protección contra la interferencia externa. Sin embargo a frecuencias de operación mas bajas, el uso de la protección no es costeable. Además, el conductor externo de un cable coaxial generalmente esta unido a tierra, lo que limita su uso a las aplicaciones desbalanceadas. En la figura 1.5, se muestra el uso de repetidores en un sistema de comunicación por cable coaxial.

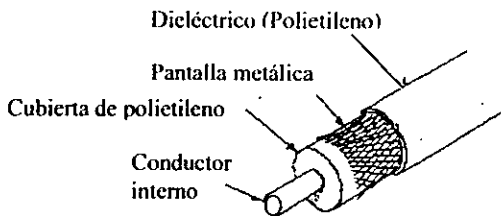


Figura 1.4. Estructura típica de un cable coaxial.

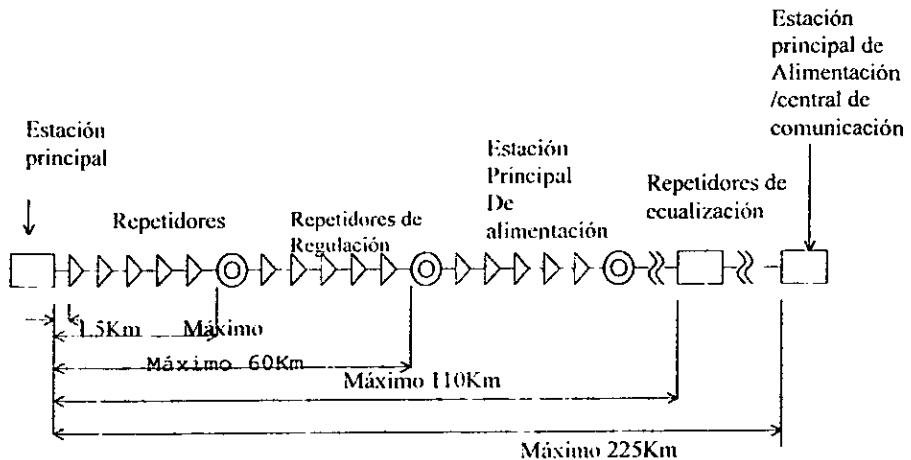


Figura 1.5. Uso normal de repetidores en enlaces de cables coaxiales.

Fibra óptica: las fibras ópticas son guías de luz del tamaño de un cabello humano, poseen capacidad de transmisión a grandes distancias con poca pérdida de intensidad en la señal y transporta señales impresas en un haz de luz dirigida, en vez de utilizar señales eléctricas por cables metálicos. Su capacidad multiplica a la del cable de cobre, por un par de fibras ópticas pueden realizar casi 2 mil llamadas simultáneamente. Su alta capacidad de conducción no se pierde por curvas o torsiones, por lo que se utiliza para tender desde redes interurbanas hasta transoceánicas. Mientras que las redes de cobre toleran un máximo de 10 mil circuitos por cable, los de fibra óptica pueden tolerar hasta 100 mil.

La fibra óptica es un medio de transmisión que presenta dos grandes ventajas frente a los cables de cobre: mayor ancho de banda e inmunidad frente a interferencias electromagnéticas, por lo que es ampliamente utilizado, conforme su precio se va reduciendo y se alcanzan mayores distancias sin repetidores, para la conexión de centrales, reemplazando a los coaxiales. Los costos de obtener cobre son infinitamente

mayores que la obtención de la fibra óptica, cuya materia prima es muy abundante, pues el silicio se obtiene de la arena y su peso es de apenas 30 g/Km. La señal eléctrica se transforman en luminosa, y modulada en forma de pulsos, se transmite a través del núcleo hasta el receptor, donde es convertida en eléctrica, sin que haya una gran pérdida de potencia, figura 1.6. Si comparamos por ejemplo la capacidad de transmisión de los tres medios mas comunes, vemos que mientras un cable de pares trenzados presenta 10 Mbits/s y un cable coaxial 300 Mbits/s, en la fibra óptica puede ser superior a 2 Gbits/s, con atenuaciones inferiores a 0.2 dB/Km. También con respecto a las comunicaciones por satélite ofrece algunas ventajas.

Una conversación por cable entre Europa y América del Norte tiene un retraso aproximado de 65 milésimas de segundo, que no se llega a apreciar por las personas, pero si esta conversación se realiza por satélite, el retraso se multiplica por 10, convirtiéndose en mas de medio segundo. Este retardo es visible cuando se realiza una entrevista de televisión vía satélite.

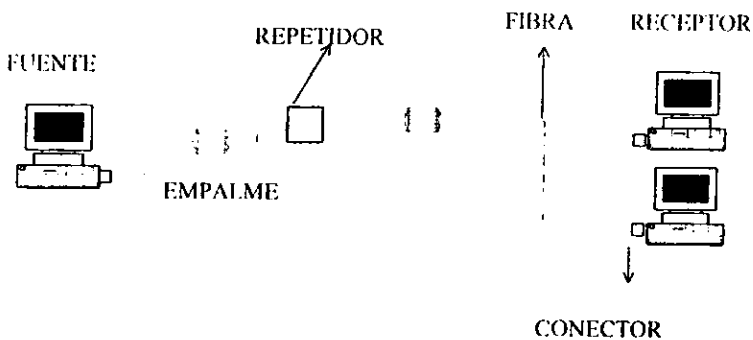


Figura 1.6. Estructura básica de un sistema de comunicación unidireccional por fibra óptica.

Espacio libre: las redes satelitales se componen de por una serie de estaciones terrenas conectadas entre si por medio de satélites colocados en una orbita espacial que retransmiten señales por microondas a través del espacio atmosférico. El equipo

instalado dentro de un satélite recibe las señales enviadas desde una estación terrestre, las amplifica y transmite a otra estación terrestre que las distribuye por pares de cables, cables coaxiales, guías de onda, fibras ópticas y sistemas de repetición de microondas. Las ventajas de utilizar satélites de comunicaciones radica en que eluden las barreras naturales, permiten planear su uso a requerimientos reales, acortan los tiempos de instalación y completan las redes terrestres para transmisiones internacionales, posibilitando el cubrimiento total de la tierra. Con ello se pueden establecer transmisiones con equipo móvil desde los puntos geográficos donde no existe infraestructura para telecomunicaciones. Algunas desventajas en las transmisiones satelitales es que están sujetas a demoras de propagación, se debilitan con las lluvias intensas, nieve, y manchas solares que afectan a las estaciones terrestres. Además los costos de fabricación y lanzamiento son muy elevados. Los ahorros de los costos una vez que están en órbita, son máximos cuando la distancia entre los puntos excede a 1800Km., comparados con los de microondas y los 190Km. con los de fibras ópticas.

Los satélites pueden ser ubicados a distintas distancias de la tierra y a velocidades diferentes de la rotación, lo que permite, coberturas locales, regionales y globales, de acuerdo a estos requerimientos se han desarrollado diferentes generaciones de satélites de comunicaciones. Los más conocidos son:

Los satélites geoestacionarios (GEO) se ubican sobre el ecuador a 36mil Km. De la tierra y viajan a su misma velocidad por lo que parecen estar estacionados o inmóviles y completan su recorrido en 24 horas.

Los satélites de órbita terrestre baja (LEO) se ubican a una altitud entre 900 y 1300 Km. Y son no geoestacionarios, o sea, registran una velocidad distinta a la de rotación de la tierra.

Enlaces de microondas. Para la transmisión de señales, vía radio, se utilizan dos estaciones, una emisora y otra receptora, que ha de tener un enlace visual y utilizar antenas parabólicas de dimensiones adecuadas, según la longitud de onda (frecuencia) de

la señal a transmitir y de los márgenes de potencia disponibles. El enlace puede ser tanto terrestre como espacial, según las estaciones estén situadas sobre la tierra o en orbita (satélites) como muestra la figura 1.7.

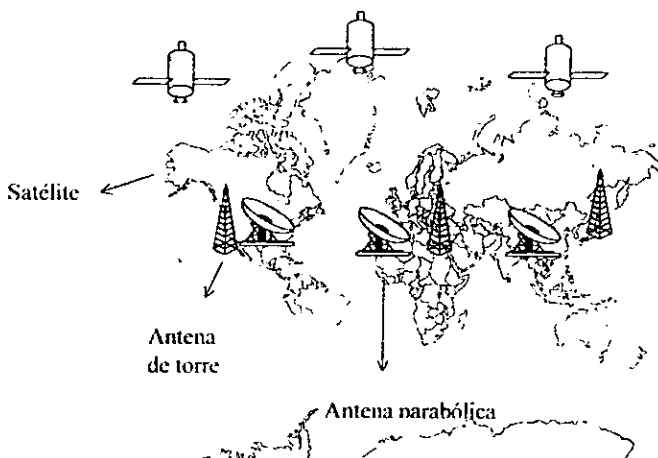


Figura 1.7. Estructura básica de un sistema de comunicación por vía satélite y microondas.

CAPITULO 2

SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA

RESEÑA HISTORICA DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN POR FIBRA OPTICA

Como el hombre está provisto de detectores ópticos (los ojos), utiliza desde hace mucho tiempo la luz como medio de comunicación.

1000 A.C.: Agamemnon transmitió a Klitemnestra, desde Troya, la caída de esta ciudad empleando señales de fuego.

400 A.C.: Los Griegos idearon un sistema para transmitir el alfabeto griego mediante antorchas, a distancias de dos km.

1791: Telégrafo óptico de C. Chappé: 225 km (Paris-Lille), 22 torres, 2 bauds/min.

1870: Experimento de Tyndall.

Los indios americanos se comunicaban mediante señales de humo que pudieran percibirse a grandes distancias. Asimismo, los fuegos encendidos sirvieron como señales para los ejércitos durante mucho tiempo.

Durante la revolución francesa, en la década de 1790, se construyó un sistema de telegrafía que se extendía por toda Francia y que utilizaba semáforos construidos en las cimas de las colinas.

En 1880, Alexander Graham Bell inventó el "fotófono", que es un aparato gracias al cual se comprueba que la luz puede servir para transportar la voz humana. Este ingenioso sistema tenía el inconveniente que dependía del sol.

1844: Morse transmite el resultado de la elección parlamentaria desde Washington a Baltimore

1865: Teoría de Maxwell

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

Antes, en 1959, como o derivación de los estudios en física enfocados a la óptica, se descubrió una nueva utilización de la luz, a la que se denominó rayo láser, que fue aplicado a las telecomunicaciones con el fin que los mensajes se transmitieran a velocidades inusitadas y con amplia cobertura. Sin embargo esta utilización del láser era muy limitada debido a que no existían los conductos y canales adecuados para hacer viajar las ondas electromagnéticas provocadas por la lluvia de fotones originados en la fuente denominada láser.

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

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

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

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR FIBRA OPTICA.

Un sistema de telecomunicación óptica sirve para transmitir mensaje utilizando las fibras ópticas como canales de transmisión. Los mensajes se transforman, en el emisor, en luz o flujo energético; este flujo energético emitido se transmite con ayuda de la fibra óptica hasta un receptor que lo transforma en mensajes. El receptor tiene entonces la función inversa del emisor.

El sistema de telecomunicación puede ser continuo, discreto o mixto.

En un sistema continuo, el mensaje y el flujo energético que transmite son funciones continuas del tiempo; tal sistema se llama "analógico". El mensaje puede ser, por ejemplo, la variación de presión del aire o una corriente eléctrica.

En un sistema discreto, el mensaje y el flujo energético que se transmiten son secuencias de símbolos discretos, tal es el caso, por ejemplo de la telegrafía o de un enlace entre dos computadoras.

Un sistema también puede ser mixto. En este caso, el mensaje y el flujo energético no son totalmente continuos ni discretos. Puede suceder que el mensaje sea continuo o analógico mientras que el flujo energético transmitido es discreto.

Los principales elementos que contiene cualquier sistema de comunicaciones por fibra óptica se muestran en la figura 2.1. la sección de transmisión consiste de una fuente de luz asociada con un circuito conductor y un cable mecánicamente resistente, protegido el cual contiene por dentro fibras ópticas, y un receptor que consiste de un foto detector mas un amplificador y un circuito restaurador de señal. Adicionales componentes que incluyen conectores ópticos, empalmes, acopladores o divisores de haz, y repetidores. El cable de fibra óptica es uno de los elementos mas importantes en una conexión por fibra óptica. La adición y protección de las fibras de vidrio durante la instalación y servicio, el cable podría contener varios acoplamientos o uniones de cable por esto los repetidores son necesarios para que de forma periódica reestablezcan la señal cuando la conexión se

expande por largas distancias. El cable contiene diversos cilindros pequeños cabellos de fibra óptica, cada uno es un canal independiente de comunicación.

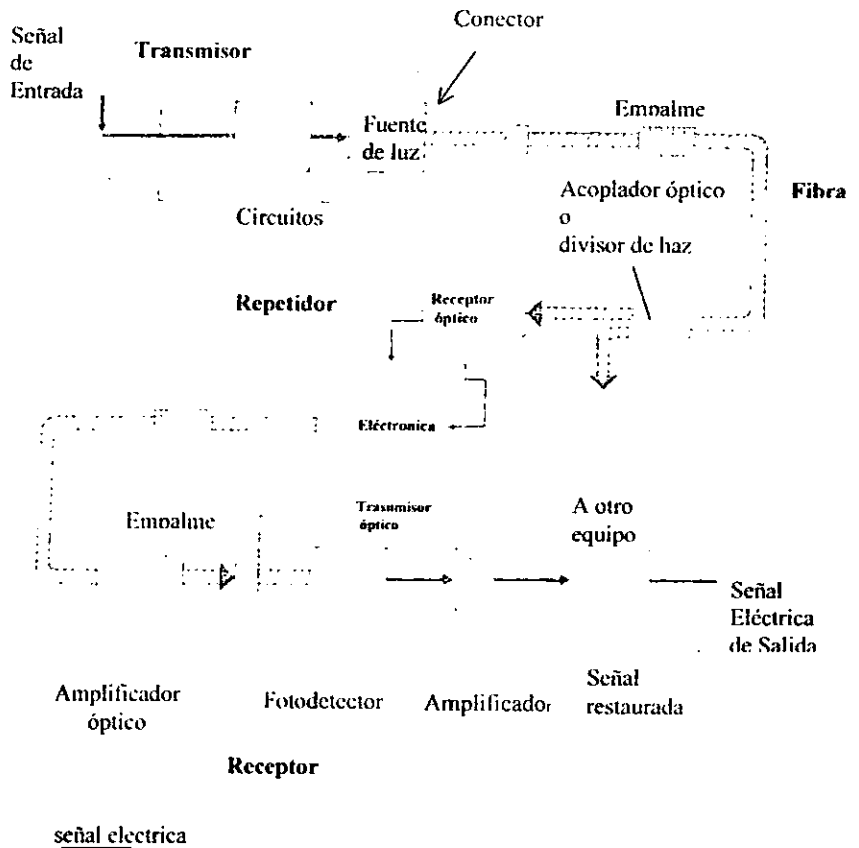


Figura 2.1. Elementos principales de un sistema de comunicación por fibra óptica. Los elementos básicos son el transmisor, cable y receptor. Elementos adicionales que incluyen los cables son empalmes, conectores, repetidores, divisores de haz y amplificadores ópticos.

De forma análoga a los cables de cobre, la instalación de los cables de fibra óptica pueden estar de forma aérea, en ductos, bajo el mar o enterrados directamente en la tierra.

Es un resultado de instalación y/o limitaciones de manufactura, o largo del cada cable, depende del rango, cientos de metros o varios kilómetros para aplicaciones a larga distancia. Prácticamente para la consideración tal como tamaño real y peso lo determina la aplicación e infraestructura con la que se cuenta.

DEFINICIONES DE LOS ELEMENTOS BASICOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA.

Sistema optoelectrónico

Combinación de diversos componentes necesarios para formar un sistema de comunicación que utiliza las fibras ópticas como medio de transmisión.

Emisores ópticos

Transductores denominados LED y LASER, que transforman una señal eléctrica en fotones, los cuales viajan por la fibra.

Conectores

Son interconexiones desconectables. Que se emplean generalmente para conectar al transmisor y al receptor con la fibra.

Fibra óptica

Hilo fino de vidrio o plástico que permite transportar la luz, generalmente en la banda de infrarrojos y por lo tanto no visible por el ojo humano. Esta luz, modulada convenientemente, permite transmitir señales de información entre dos puntos a velocidades muy altas, con tasas de errores muy bajas.

Repetidor

Dado que la señal óptica es atenuada por la fibra, es necesaria la instalación de repetidores en un sistema de larga distancia. La función del repetidor es diferente según se trate de un repetidor digital o analógico:

Repetidor analógico.

Detecta, amplifica y retransmite la señal. El ruido generado por los componentes del repetidor tiende a degradar la calidad de la señal e introduce, en consecuencia, un límite al número y ubicación de los repetidores que se pueden usar en el sistema si se quiere mantener la calidad de la transmisión.

Repetidor digital.

Cuando el sistema está diseñado para la transmisión de señales digitales, los repetidores regeneran la señal digital original, por lo que no introducen ninguna limitación al número de repetidores (regeneradores) y, en consecuencia, a la longitud del vínculo.

Empalme

Son interconexiones permanentes entre fibras ópticas. Es importante que el núcleo de la fibra este correctamente alineado con las zonas activas del emisor y receptor. Existen dos tipos de técnicas de empalme:

Empalme mecánico.

Consisten en unir fibras cuyos extremos deben estar cortados y limpios para permitir el pasaje de luz de una fibra a otra. Las pérdidas son del orden de 0.5 dB por empalme, aproximadamente.

Empalme por fusión.

Consiste en unir fibras y calentarlas hasta que se obtiene el punto de fusión; las pérdidas obtenidas son del orden de los 0.2 dB.

Acopladores

Son elementos que permiten distribuir la luz por una fibra, entre varias otras. Existen dos tipos de acopladores:

Acoplador T. Extrae un haz de luz del haz principal.

Acoplador estrella. En un acoplador estrella la luz inyectada por una fibra sale por todas las otras.

VENTAJAS DE LA TRANSMISIÓN POR FIBRAS OPTICAS

Formando cables de varios conductores, la fibra óptica es utilizada, en los circuitos de transmisión en redes de telecomunicaciones urbanas e interurbanas. También se emplea en las denominadas **Redes de Area local (LAN)** y en **Redes de Area Extendida (WAN)**.

Este tipo de transmisión presenta ventajas importantes respecto a los pares trenzados de conductores de cobre o los cables coaxiales, en particular, las siguientes:

- **Baja atenuación por kilómetro** cuando se transmite por las llamadas ventanas de transmisión, que se dan en torno a los siguientes valores de longitud de onda: 0.8 μm , 1,3 μm y 1,55 μm . Estos casos, se pueden obtener atenuaciones del orden de 0.2 dB/Km. Este valor permite espaciar los repetidores regenerativos a distancias que llegan a los 300 Km, con velocidades de 622 Mbps y utilizando sistemas de transmisión basados en la tecnología denominadas Jerarquía Digital Sincrónica (SDH).
- **Total Inmunidad al Ruido** y a las interferencias electromagnéticas, lo que constituye un medio especialmente útil en ambientes con alto ruido. En este tipo de medio de comunicaciones es normal obtener tasas de errores del orden de $\text{BER} = 10^{-10}$. Por otra parte, al no generar radiaciones electromagnéticas, no afectan a otros sistemas que puedan estar instalados en sus proximidades.
- **Uso de Potencias de Muy Bajo Valor**, del orden de los mW, en comparación con otros medios de telecomunicaciones que requieren potencias mayores.
- **Mayor Capacidad** debido al mayor ancho de banda disponible.
- **Son Resistentes al Fuego y a la Corrosión**, y soportan mejor los cambios atmosféricos; funcionan con variaciones de temperaturas mayores.

- **Son Seguros**, en cuanto a la posibilidad que terceros no deseados, intercepten el cable, ya que es muy difícil que dicha intervención no sea detectada en el sistema de telecomunicaciones que integra.
- **Su Construcción con Diámetros Pequeños**, que pueden llegar a valores de entre 2 y 3 mm entre bordes exteriores, su flexibilidad y su poco peso, hacen que estos medios de comunicaciones sean fáciles de instalar, especialmente cuando se trata de completar sistemas sobre ductos preexistentes, sobre cargados por otro tipo de medios que no es posible eliminar.
- **Costos Decrecientes**, en especial para grandes cantidades.

DESVENTAJAS DE LA TRANSMISIÓN POR FIBRAS ÓPTICAS

Las desventajas derivadas de la utilización de las fibras ópticas son las siguientes:

- **Temperatura**, las fibras ópticas pueden ser utilizadas con garantías en el rango de temperaturas de -10°C hasta $+50^{\circ}\text{C}$.
- La alta tecnología usada tanto para los equipos de montaje, instalación y comprobación de líneas y tendidos de fibra óptica, así como la sofisticación de los mismos, hace que estos equipos tengan un costo elevado, factor que sumado a la inercia en la aplicación de los equipos convencionales de cobre totalmente implantados, logra el que muchas empresas por desconocimiento de la tecnología y métodos de trabajo de las fibras ópticas, no se planteen abordar en el salto a esta tecnología.
- El costo de los equipos de línea para la fibra óptica es superior a la de sus homónimos de cobre o coaxial, si bien este costo inicial se ve compensado por la mayor sección de regeneración que presentan los equipos de transmisión óptica frente a los convencionales de cobre, y por lo tanto con la necesidad de una menor cantidad de equipos de enlace, lo que se traduce, como una mayor rentabilidad de los equipos de comunicaciones ópticas.
- **Conversión electro-óptica**, antes de conectar una señal eléctrica de comunicación a una fibra óptica, la señal debe convertirse al espectro luminoso [850,1310 ó 1.550 nanómetros (nm)].

CAPITULO 3

LA FIBRA OPTICA

Detalles constructivos de la fibra óptica.

Las fibras ópticas están constituidas básicamente por dos capas una central denominada núcleo de vidrio o plástico que permite el paso de ondas de energía luminosa, y una periférica llamada recubrimiento que guía las ondas luminosas a lo largo del núcleo y minimiza las pérdidas de energía luminosa como señala la figura 3.1. Cada una de estas capas está caracterizada por un índice de refracción.

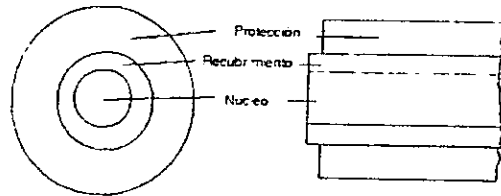


Figura 3.1 Elementos constructivos de la fibra óptica.

Lo queda como resultado que las ondas de luz se propaguen a lo largo del núcleo interior por una serie de reflexiones desde el recubrimiento exterior. El núcleo y el recubrimiento deben estar libres de cualquier impureza para evitar interrupciones de la energía luminosa. algunos cables de fibra óptica usan plásticos especiales, en el lugar de vidrio, que resultan ser materiales muy puros con muy baja atenuación de las señales luminosas. Este índice mide la relación entre las velocidades de propagación en el vacío y en un determinado medio. el índice de refracción de la luz en el vacío es $n = 1$.

Por lo tanto, el núcleo tendrá un índice de refracción n_1 y el recubrimiento uno n_2 . El principio de funcionamiento de las fibras ópticas se demostrará aplicando de ley de snell. Esta ley explica las causas por las cuales la luz no se escapa del núcleo de la fibra y es conducida por este.

La relación de diámetros entre el núcleo y recubrimiento depende del tipo de fibra.

PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

Naturaleza de la luz.

La naturaleza exacta de la luz ha sido tema de debate científico por muchos años, cuando la luz viaja a través de un material, tal como aire o vidrio, se comporta de manera muy semejante a una onda auto sostenida llamada onda electromagnética. la reflexión ocurre en la superficie de un medio, la luz se desvía cuando pasa de un medio a otro, y se desvía también alrededor de obstáculos situados en su trayectoria. Sin embargo, la luz también se comporta como partícula en algunos casos. Cuando ella interactúa con la materia, tal como cuando es absorbida o emitida, se comporta de modo similar a una partícula con masa cero en reposo. Esta "partícula" se llama fotón. La energía de los fotones de luz visible varía aproximadamente 2.8×10^{-19} a cerca de 5×10^{-19} J.

La luz es una radiación electromagnética que es capaz de afectar el sentido de la vista. La propagación de la luz se explica de mejor manera en términos de la teoría ondulatoria de la luz. Maxwell explicó que la energía en una onda electromagnética esta igualmente dividida entre campos eléctricos y magnéticos que son mutuamente perpendiculares como se observa en la figura 3.2. Ambos campos oscilan perpendicularmente a la dirección de la propagación de la onda.

En la actualidad se conoce que el espectro electromagnético abarca un tremendo intervalo de frecuencias. En la figura 1.1 se presenta el espectro electromagnético. se indicó que el amplio espectro electromagnético se incluyen las bandas angostas de luz visible e infrarroja, con frecuencias mucho mayores y, por lo mismo, con longitudes de onda más pequeñas que las de ondas normales de radio.

El uso de esas ondas de luz, como portadoras de señales de información, ha sido largamente considerado a causa de su gran capacidad de ancho de banda. pero se había probado que era impracticable hasta hace poco.

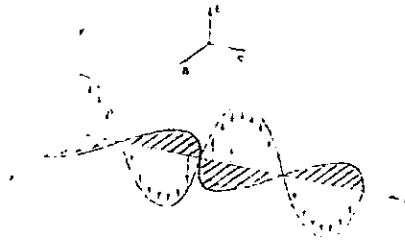


Figura 3.2. La teoría electromagnética sostiene que la luz se propaga como campos transversales oscilatorios. La energía se divide por igual entre los campos eléctrico E y magnético B , que son perpendiculares entre sí.

Esto se debía, principalmente, a que las fuentes de luz emiten pulsos de energía en forma aleatoria, que contienen varias ondas de diferentes frecuencia y fase, y por que los cables convencionales tienen una atenuación excesiva en las súper altas frecuencias manejadas.

El invento del LASER (amplificación de luz por la emisión estimulada de radiación; light amplification by stimulated emission of radiation), el LED (diodo emisor de luz; light emitting diode) y los cables de fibra óptica han permitido que estas ideas sean opuestas en práctica. El láser y el LED pueden pulsarse en encendido y apagado muy rápidamente, y la atenuación del cable de fibra óptica es menor que la de los cables convencionales. No obstante que los lasers y los LEDS son capaces de producir luz visible, los sistemas de telecomunicación de fibra óptica generalmente usan señales de la banda infrarroja con longitudes de onda desde aproximadamente $0.8 \mu\text{m}$ a $1.6 \mu\text{m}$. Gracias a los amplios anchos de banda disponibles a extremadamente altas frecuencias, los cables de fibra óptica son particularmente adecuados para sistemas digitales de alta capacidad, con rango en bits de mas de 140 Mbit/s.

Las mejoras tecnológicas también incrementan continuamente las distancias a las que dichos sistemas pueden transmitirse antes de que sea necesaria la regeneración. La

longitud de onda λ de la radiación electromagnética se relaciona con su frecuencia f por medio de la ecuación general:

$$c = f\lambda$$

$$c = 3 \times 10^8 \frac{m}{s} \text{ velocidad de la luz}$$

Cuando la luz interactúa con la materia, falla la descripción ondulatoria. En 1887 H. R. Hertz observó que una chispa eléctrica brincaba entre dos esferas más fácilmente cuando sus superficies eran iluminadas por la luz de otra chispa. El fenómeno, conocido como el efecto fotoeléctrico. El efecto fotoeléctrico no puede explicarse en términos de teoría ondulatoria. En efecto, la emisión de electrones podría explicarse con mayor facilidad en términos de la teoría corpuscular. En ella se postula que la energía electromagnética se absorbe o emite en paquetes discretos, o cuantos. El contenido de energía de estos cuantos, o fotones, es proporcional a la frecuencia de la radiación.

Podemos considerar la luz como energía radiante transportada en fotones que se conducen por un campo ondulatorio.

LA PROPAGACIÓN DE LA LUZ EN UNA FIBRA OPTICA

La línea de fibra actúa como una guía de onda dieléctrica para portar energía luminosa, la que es modulada por una señal eléctrica de información que puede ser de naturaleza analógica o digital.

Como se expreso, una fibra óptica está compuesta por dos capas pláticas o de vidrio, cada una con distinto índice de refracción, y, además, el núcleo de la fibra tiene un índice de refracción mayor que el revestimiento.

Cuando una onda de luz pasa de un medio a otro, la dirección del viaje cambiará. A esto se le llama refracción y se demuestra en la figura 11. cuando la onda luminosa llega a la unión de aire y otro material, como agua o vidrio, en un ángulo de incidencia ϕ_1 , entonces el ángulo de refracción ϕ_2 con que abandona la unión es diferente del ángulo de

incidencia (principio de refracción de la luz). La línea trazada perpendicularmente al punto en que la onda de luz toca la unión de los materiales se le llama línea normal. La razón $\text{sen}\phi_1/\text{sen}\phi_2$ es una constante par dos materiales cuales quiera y se llama índice de refracción (n) para dos materiales que están en contacto entre sí.

$$n = \text{sen}\phi_1/\text{sen}\phi_2$$

la refracción de la onda luminosa dependerá del sentido del viaje, una onda luminosa que pasa de un material de menor índice de refracción absoluto a otro de mayor índice de refracción absoluto.

En la figura 3.3. la mayor parte de la energía luminosa se refracta, pero alguna se refleja de la unión con un ángulo igual al ángulo de incidencia ϕ_1 . En la figura 3.3. donde la luz pasa hacia un material de menor índice de refracción absoluto, si se aumenta el ángulo de incidencia ϕ_1 , el ángulo de refracción ϕ_2 también aumenta. Cuando el ángulo de refracción se aproxima a los 90° , la onda luminosa no pasa hacia el medio n_2 , si no que se refleja totalmente.

El ángulo de incidencia en el cual ocurre primero la reflexión total es llamado el ángulo crítico ϕ_c . Para los dos tipos de medio. Las ondas luminosas que inciden en ángulos mayores de ϕ_c también serán reflejadas totalmente.

Debido a la diferencia de índices, la luz transmitida se mantiene y propaga a través del núcleo, es decir, existe reflexión total interna; para explicar este concepto recordemos la ley de Snell que expresa lo siguiente:

Existe una relación constante entre el ángulo incidente de un haz de luz y el índice de refracción en dicho medio, respecto del ángulo de refracción en el segundo medio y su correspondiente índice de refracción.

La expresión de la ley de Snell es la siguiente:

$$n_1 \text{ sen } \phi_1 = n_2 \text{ sen } \phi_2$$

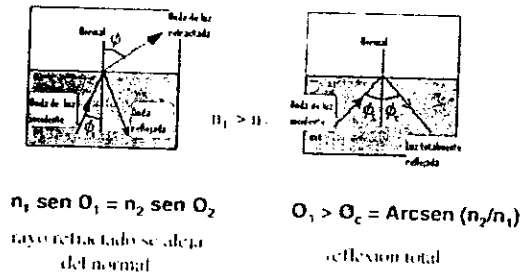


Figura 3.3. Refracción de la luz por dos materiales diferentes y reflexión total por dos materiales diferentes.

En la figura 3.4. se muestra el corte longitudinal de una fibra. Una onda luminosa que viaja a lo largo del núcleo y alcanza al recubrimiento en el ángulo crítico de incidencia ϕ_c se reflejará totalmente.

Entonces, nuevamente toca la superficie opuesta del recubrimiento en el ángulo crítico ϕ_c por lo que de nuevo se refleja totalmente. La onda luminosa se propaga entonces a lo largo del núcleo por una serie de reflexiones totales del recubrimiento.

La energía luminosa que emana de una fuente diferente a un pequeño punto, tendrá varias trayectorias con ángulos de propagación diferentes y, aún más, probablemente tendrá diversos colores con diferentes frecuencias y longitudes de onda. Cualquier otra onda luminosa que toque el recubrimiento en el valor crítico o por arriba del mismo, también se reflejará totalmente y, por tanto, será propagada a lo largo del núcleo. Cualquier onda luminosa que toque el recubrimiento en un ángulo por debajo del valor crítico, pasará hacia el recubrimiento para ser absorbida por éste.

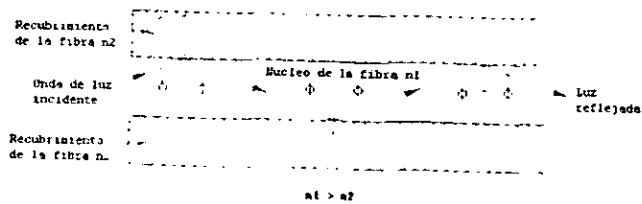


Figura 3.4. Propagación de la luz a lo largo de un núcleo de fibra óptica. $\phi \geq \phi_c$.

TIPOS DE FIBRA OPTICA

Debido a la existencia de muchos modos o caminos de propagación de la luz, la longitud recorrida por los diferentes rayos es distinta, por lo tanto, un pulso de luz que entra a la fibra saldrá de ella disperso; con lo cual el ancho de banda de la fibra óptica queda limitado.

Modo de propagación, en la terminología de la fibra óptica "modo" significa trayectoria, si hay solo una trayectoria que la luz toma en el cable, se llama modo sencillo, si hay mas de una trayectoria se llama multimodo.

Teniendo en cuenta el modo de propagación las fibras ópticas se han clasificado en la siguiente forma:

❖ Monomodo:

Las dimensiones del núcleo son comparables a la longitud de onda de la luz, por lo cual solo hay un modo de propagación y no existe dispersión.

❖ Multimodo:

Contiene varios modos de propagación y, en consecuencia, se da el efecto de dispersión.

A su vez estas ultimas se subdividen en:

Índice escalón: Tienen dispersión y reducido ancho de banda. Son de bajo costo dado que resultan tecnológicamente sencillas de producir.

Índice gradual: Más costosas, pero de gran ancho de banda.

En las fibras monomodo se puede disminuir la dispersión haciendo variar lentamente el índice de refracción entre el núcleo y el recubrimiento (multimodo de índice gradual). El índice de refracción es máximo en el centro de la fibra y mínimo en los extremos.

Por otra parte, la velocidad de propagación es inversamente proporcional al índice de refracción. Luego resultara que los modos que se propagan por el centro, lo harán a menor velocidad que los que recorren un camino mas largo, como los que se desplazan por la periferia de las fibras ópticas. Consecuentemente se tiende a compensar la dispersión en las fibras multimodo con índice de refracción gradual.

Es evidente que hay un cambio súbito del índice de refracción absoluto en la unión del núcleo y el recubrimiento, lo cual se ilustra en el diagrama de perfil de índice de refracción de la figura 13. Por esto, a la fibra se le llama **fibra de índice escalonado** y ya hemos visto que puede portar muchas ondas luminosas diferentes, por lo que ocurre la propagación multimodal de índice escalonado, como se ilustra en la figura 3.5 y 3.5.1. Las diferentes ondas luminosas que viajan a lo largo del núcleo tienen trayectorias de propagación de diferente longitud, por lo que tomarán diferentes tiempos para alcanzar un destino determinado. Esto produce la distorsión conocida como *dispersión por tiempo de tránsito*, lo que introduce un limite superior de la *razón* a la cual puede modularse la luz por una señal eléctrica digital o analógica. De lo contrario, las variaciones o pulsos sucesivos de luz se confundirían, entre si y causarían la dispersión de la información que está siendo transmitida. Es por ello que las fibras multimodales de índice escalonado se usan generalmente para enlaces de datos que requieren de una capacidad y ancho de banda relativamente bajos.

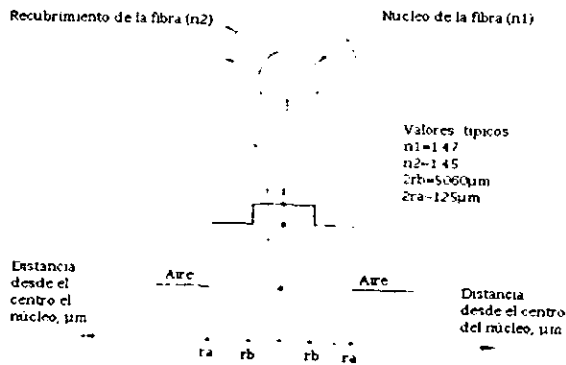


Figura 3.5 Perfil del índice de refracción para una fibra multimodal de índice escalonado.

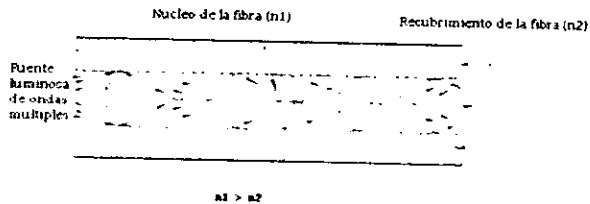


Figura 3.5.1 Propagación multimodal de paso escalonado.

Los problemas de dispersión por tiempo de tránsito puede superarse haciendo el núcleo muy delgado, de manera que el diámetro se igual que la longitud de onda luminosa que será propagada, lo cual se ilustra en la figura 3.6. La propagación resultante de una onda luminosa sencilla se ilustra en la figura 3.6.1. A este tipo de fibra se le llama **fibra monomodal de índice escalonado**. Sin embargo, el uso de núcleos muy delgados crea dificultades mecánicas en la manufactura, manejo y unión de las fibras y, además, es muy caro. El uso de fibras monomodales de índice escalonado generalmente se limita a sistemas de muy alta capacidad de gran ancho de banda, como cables submarinos, donde el gasto se justifica por las utilidades generadas.

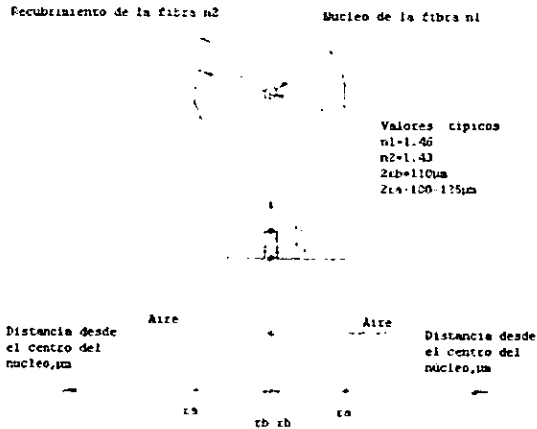


Figura 3.6. Perfil del índice de refracción para una fibra monomodal de índice escalonado.

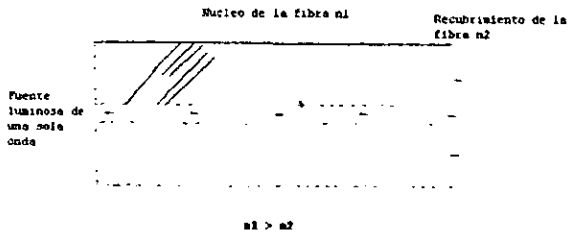


Figura 3.6.1 Propagación modal de índice escalonado.

Para sistemas de ancho de banda y capacidad intermedia, como los que están en operación actualmente, se usa un método menos caro para superar la dispersión por tiempo en tránsito. El núcleo está hecho de un material que tiene una refracción absoluta *graduada*, en lugar de un valor fijo, el cual es mayor en el centro del núcleo y disminuye gradualmente hacia la orilla exterior en la que toca el recubrimiento. A esto se le llama **fibra de índice graduado**, cuyo perfil se ilustra en la figura 3.7.

En la figura 3.7.1 se muestra la propagación de la energía luminosa por ondas múltiples, donde las ondas individuales se refractan gradualmente en el núcleo de índice graduado,

en lugar de ser reflejadas por el recubrimiento. Las ondas que viajan a diferentes ángulos de incidencia viajarán distancias diferentes desde el eje central horizontal, antes de que sean refractadas de regreso, para cruzar nuevamente el eje central.

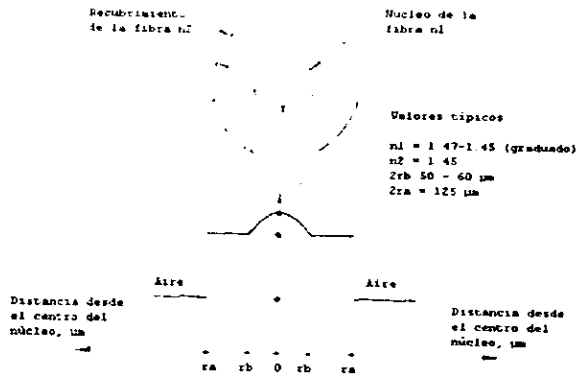


Figura 3.7. Perfil del índice de refracción para una fibra multimodal de índice graduado.

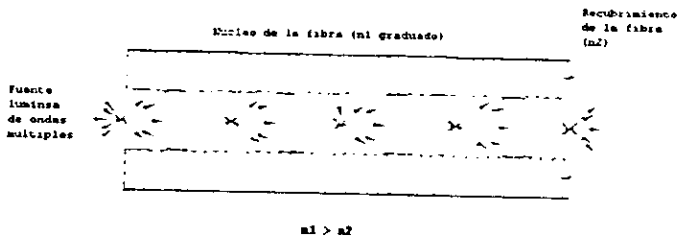


Figura 3.7.1 propagación multimodal de índice graduado.

A pesar de que las ondas con un gran ángulo de incidencia viajan más lejos que aquellas que tienen un ángulo más pequeño, el decremento del índice de refracción también permite una mayor velocidad de propagación de la energía. Como resultado, todas las ondas alcanzan un punto dado a lo largo de la fibra virtualmente al mismo tiempo reduciendo grandemente la dispersión por tiempo en tránsito. A esto se le llama **propagación multimodal de índice graduado**. En los tres tipos de fibra descritos anteriormente, el grueso del recubrimiento debe ser de varias longitudes de onda a fin de

prevenir pérdidas de energía luminosa debidas a la absorción.

Para las propagaciones anteriores debe ser necesariamente $n_1 > n_2$. Con esta condición se construyen las fibras ópticas, donde el núcleo siempre debe tener un índice de refracción mayor que el recubrimiento. Cabe señalar que la relación entre los dos índices de los dos medios, se debe cumplir dentro de lo que se denominan como de aceptación. Para ángulos mayores a los que se forman el cono de aceptación, esta relación no se cumple, y el haz de luz sale de la fibra.

CONO DE ACEPTACION

En la figura 3.8 se puede apreciar que la luz puede propagarse por la fibra si incide con cierto ángulo que se encuentre dentro del llamado cono de aceptación.

El cono de aceptación define un ángulo de apertura, ϕ , que resulta ser función de los índices de refracción del núcleo de la fibra y un cualquiera de las generatrices del cono de aceptación. Su valor es:

$$\phi = \arcsen \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

A su vez, el seno del ángulo de apertura se denomina Apertura Numérica, NA, es decir,

$$NA = \text{sen} \phi$$

Donde resulta,

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

se puede observar que el cono de aceptación es función de los índices de refracción de los materiales con que esta construida la fibra.

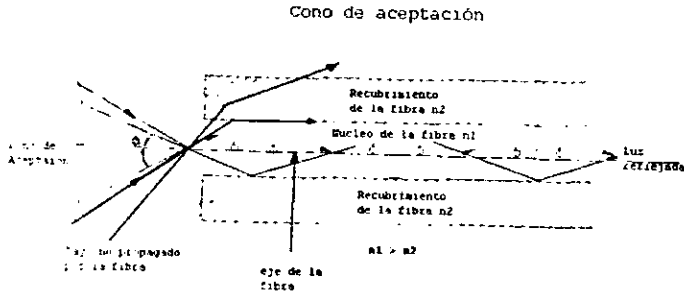


Figura 3.8. Cono de aceptación.

CABLES ÓPTICOS MONOFIBRA Y MULTIFIBRA

Para poder manipular la fibra óptica sin inconvenientes es necesario protegerla e incorporarla a una estructura que asegure la invariabilidad de sus características ópticas y mecánicas, y que, en algunos casos permita su tendido. Tendremos así un cable óptico.

Cuando un cable óptico se construye con varias fibras, recibe el nombre de cable óptico multifibra. En la actualidad, todos los cables ópticos pueden presentar numerosas configuraciones en función del tipo de empleo.

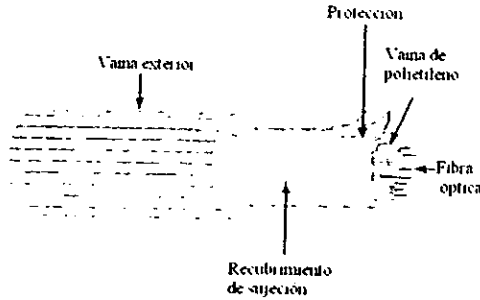
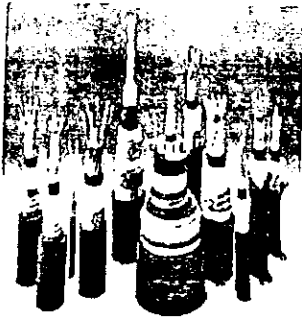


Figura 3.9. Tipos de fibras ópticas, monofibra y multifibra.

La cantidad y tipo de los cables, la complejidad de sus protecciones y la presencia de otros elementos para darle solidez, tales como alambres y/o cuerdas de acero, hilados

sintéticos, fibras de vidrio, etc. ver figura 3.9, o cables tensores de acero para facilitar su tendido, varían según sea la red en la que serán instalados.

En general, se construyen cables ópticos multifibra especialmente para tendido en edificios por ductos, para instalaciones aéreas, subterráneas o submarinas.

Para poder utilizar fibras ópticas en forma práctica, estas deben ser protegidas contra esfuerzos mecánicos, humedad y otros factores que afecten su desempeño. Para ello se les proporciona una estructura protectora, formando así, lo que conocemos como cable óptico. Dicha estructura de cables ópticos variará dependiendo de si el cable será instalado en ductos subterráneos, enterrando directamente, suspendido en postes, sumergido en agua etc. como muestra la figura 3.10.

El propósito básico de la construcción del cable de fibra óptica es el mismo: Mantener estables la transmisión y las propiedades de rigidez mecánica durante el proceso de manufactura, instalación y operación. Las propiedades esenciales en el diseño del cable son la flexibilidad, identificación de fibras, peso, torsión, vibración, límite de tensión, facilidad de pelado, facilidad de cortado, facilidad de alineación del cable y la fibra, resistencia al fuego, atenuación estable, etc. Los parámetros para formar un cable especial son:

1-Esfuerzo máximo permitido en la fibra durante su fabricación, instalación y servicio; determina la fuerza mínima de ruptura de la fibra y la fuerza requerida para el miembro de tensión.

2-Fuerza lateral dinámica y estática máxima ejercida sobre la fibra, para determinar la configuración del cable, y el límite de tolerancia de microcurvaturas.

3-Flexibilidad.

4-Rango de temperatura y medio ambiente en donde el cable va a operar, paralela elección del tipo de materiales a utilizar tomando en cuenta su coeficiente de expansión térmica y su cambio de dimensiones en presencia de agua.

Para cumplir estos requerimientos se observan las siguientes recomendaciones:

- 1-Evitar cargas o esfuerzos mecánicos sobre las fibras.
- 2-Aislar la fibra de los demás componentes del cable.
- 3-Mantener las fibras cerca del eje central y proporcionar espacio a las fibras para su mantenimiento.
- 4-Escojer los materiales de los elementos del cable con minimas diferencias en sus coeficientes de expansión térmica.

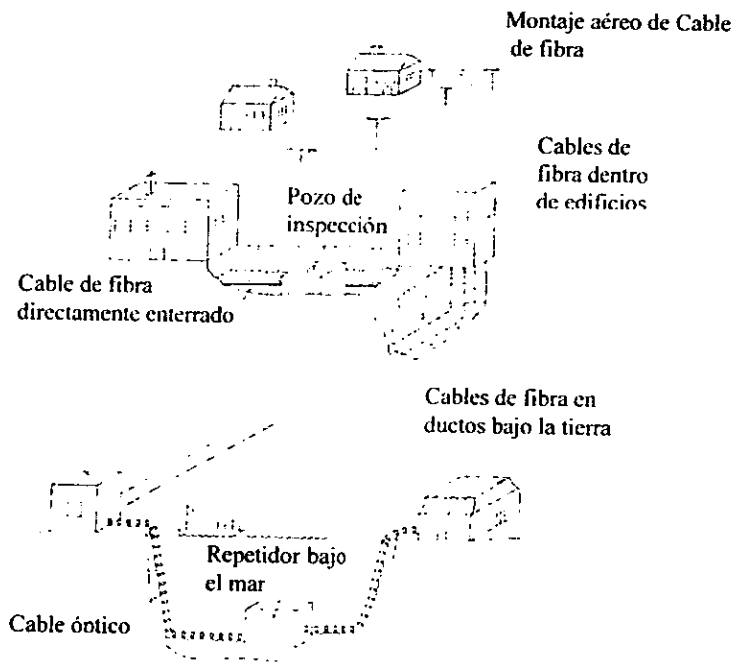
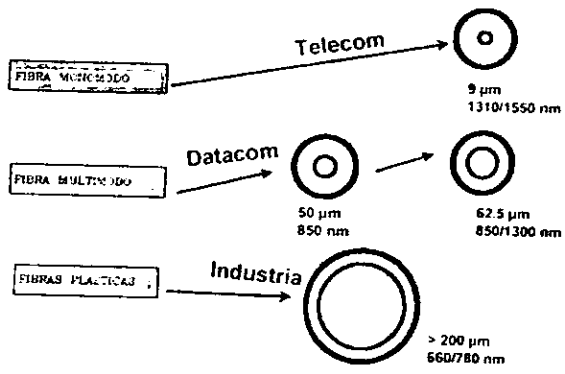


Figura 3.10. Cables de fibra óptica puede ser instalada en postes, en ductos, y bajo el mar o directamente bajo la tierra.

USOS MAS IMPORTANTES, ENTRE OTROS, SON LOS SIGUIENTES

- Para construir enlaces troncales, en Redes de Area Extendida WAN de alta capacidad según se muestra en la figura 3.11.
- Para sistemas de distribución en Redes Urbanas usando tecnología que proporciona la multiplexación por medio de la Jerarquía Digital Sincrónica, mediante los denominados anillos ópticos urbanos.
- Redes de Televisión por Cable (CATV).
- En áreas geográficas con alta radiación electromagnética.
- En las instalaciones efectuadas por medio de cableado estructurado, en el cableado vertical y, en algunos casos, para unir puestos de trabajo alejados.
- En los casos en que exista la probabilidad de condiciones atmosféricas desfavorables, en especial en el caso de que se produzcan tormentas eléctricas.
- En la instalación de cables submarinos.
- Conexiones locales entre ordenadores y periféricos o equipos de control y medición.
- Interconexión de ordenadores y terminales mediante enlaces dedicados de fibra óptica, enlaces multiplexados de fibra óptica o redes de área local de fibra óptica.



Rango ancho de banda	Tipo de fibra núcleo/recubrimiento	Maxima sección de distancia [km]							Aplicación
		0,1	0,5	1	5	10	50	100	
850 nm	100/140 μm	[Bar chart showing distance range for 100/140 μm fiber]							INDUSTRIA LAN
	55/125 μm	[Bar chart showing distance range for 55/125 μm fiber]							
	62.5/125 μm	[Bar chart showing distance range for 62.5/125 μm fiber]							
	30/125 μm	[Bar chart showing distance range for 30/125 μm fiber]							
1310 nm	62.5/125 μm	[Bar chart showing distance range for 62.5/125 μm fiber]							TELECOM
	30/125 μm	[Bar chart showing distance range for 30/125 μm fiber]							
	9/125 μm	[Bar chart showing distance range for 9/125 μm fiber]							
1550 nm	9/125 μm	[Bar chart showing distance range for 9/125 μm fiber]							
		[Bar chart showing distance range for 9/125 μm fiber]							

Figura 3.11. principales aplicaciones de las fibras ópticas en comunicaciones.

PERDIDAS EN LAS FIBRAS OPTICAS

Aspectos generales

Las pérdidas en las fibras ópticas producen una atenuación de la luz, que por ella se propaga, tal como se indica en la atenuación de la luz, manifestándose como una disminución en la potencia de la luz del emisor (fuente) hacia el extremo receptor (Destino) como muestra la figura 3.12.

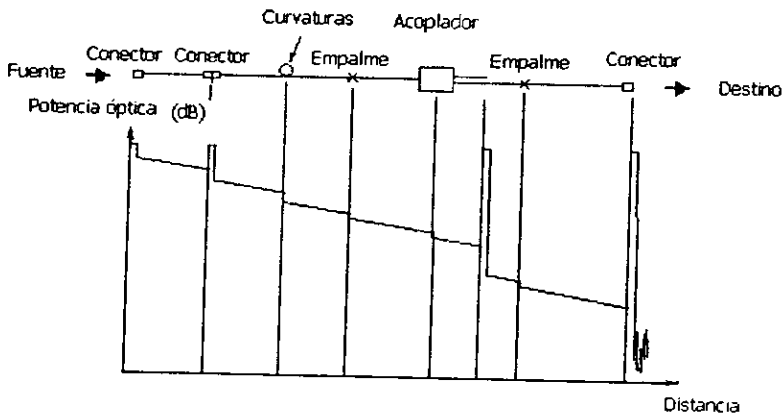


Figura 3.12 Pérdida extrínsecas de potencia óptica a través del sistema de comunicación.

Dicha disminución en la potencia de la luz origina una reducción en el ancho de banda del sistema. Esta disminución obliga a disminuir la velocidad de transmisión usada para conectar la fuente con el colector, tanto más cuanto mayor sea la disminución del ancho de banda.

Sin embargo, debe destacarse que, de todos los medios físicos de comunicaciones utilizados, la fibra óptica son las que presentan menos pérdidas ante iguales distancias a cubrir con el enlace.

Como ejemplo de lo señalado, se puede decir que en este tipo de medio de comunicaciones se pueden obtener atenuaciones del orden de 0.2 dB/Km, para fibras

monomodo. Esto ha permitido que, a la fecha, existan enlaces que ya trabajan a velocidades de transmisión del orden de varios Gbps.

Las pérdidas pueden ser de los siguientes tipos:

- ❖ Dispersión modal.
- ❖ Dispersión cromática.
- ❖ Absorción y radiación.
- ❖ Acoplamiento.
- ❖ Dispersión de Rayleigh.

La dispersión total se puede dividir en dos categorías dispersión cromática y dispersión modal (También se llama dispersión multimodo), la dispersión cromática puede ser posteriormente subdividida en dispersión de guías de onda y dispersión del material como se muestra la figura 3.13.

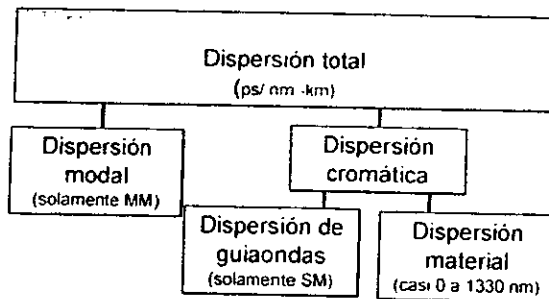


Figura 3.13 dispersión total.

ATENUACIÓN DE LA LUZ

El término atenuación se usa para medir la pérdida de la potencia óptica de un haz que viaja por la fibra, a semejanza de la medida de las pérdidas de potencia en los circuitos eléctricos. La atenuación de la fibra se mide en dB/Km, y es función de la longitud de onda.

Perdidas por dispersión modal

Esta pérdida es normalmente la de mayor importancia. Se presenta en las fibras multimodo a causa de la diferencia de los tiempos de propagación de los rayos de luz (modos), dado que cada uno de ellos toma diferentes caminos y por lo tanto llega a diferentes instantes.

Esto origina que en el extremo receptor el pulso se ensanche respecto del ancho de banda con el que fue generado en el extremo transmisor en consecuencia, la pérdida de amplitud del pulso transmitido origina un ensanchamiento del pulso recibido, obviamente de menor amplitud.

Perdidas por dispersión cromática.

Se produce en los casos en que el emisor no genera luz monocromática como es el caso del LED cuyas características se analizaran oportunamente.

Tal como se indicó anteriormente, el índice de refracción depende de la longitud de onda y, por lo tanto, al emitirse desde una fuente cromática diferentes longitudes de onda, estas viajarán a velocidades diferentes y producirán en el receptor un ensanchamiento del pulso, y, consecuentemente, una disminución de su amplitud. Cabe destacar que estas pérdidas son mucho menores que las producidas por la dispersión modal.

Perdidas por absorción y radiación.

Estas pérdidas son la producidas por la forma en que se construyen las fibras ópticas como muestra la figura 3.14. En particular, las pérdidas por absorción se producen por las impurezas que es necesario incorporar al silicio² para obtener índices de refracción diferentes entre el núcleo y el recubrimiento. Estas impurezas absorben la luz y la transforman en calor.

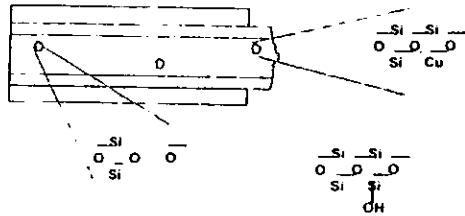


Figura 3.14 Impurezas, reticula imperfecta, Vidrio puro = SiO_2 .

A su vez, al construir la fibras, se producen siempre imperfecciones tales como pequeños dobleces, discontinuidades, etc., que originan radiaciones indeseadas que disminuyen la potencia al final de toda la transmisión.

Perdidas por acoplamiento.

Las pérdidas por acoplamiento se producen en cualquier tipo de fibra por uniones imperfectas entre las distintas partes que componen al circuito óptico: transmisor/fibra, fibra/fibra y fibra/receptor. Cabe destacar que para condiciones normales, el valor típico de pérdidas por cada uno es de 0.5dB. la calidad tecnológica con que se realiza cada acoplamiento aumentara o disminuirá este valor.

Perdidas por dispersión de Rayleigh.

En la construcción de las fibras ópticas se trabaja el silicio en un estado entre el líquido y sólido, comúnmente denominado estado plástico, intermedio entre los dos primeros. Al solidificarse el estado plástico, se producen inevitablemente irregularidades submicroscópicas que permanecen en el material. Al incidir un rayo de luz en estas irregularidades se produce un fenómeno indeseado de difracción, que se denomina pérdidas de Rayleigh en honor de este importante investigador que fue el primero en estudiar esto fenómenos en forma genérica.

En la figura 3.15. se muestra la relación que existe entre la longitud de onda y las pérdidas por dispersión de Rayleigh, medida en dB/Km. En esta figura se puede observar que no se puede trabajar en la zona visible del espectro a causa de sus elevadas pérdidas. Esta difracción produce pérdidas en la potencia de luz que se incrementan a medida que las recorre una mayor distancia.

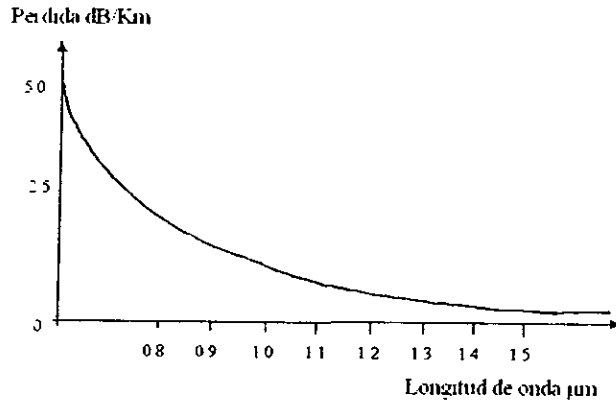


Figura 3.15. Pérdidas por dispersión de Rayleigh .

Microcurvaturas

- ❖ *Microbending* : pequeñas curvaturas en la fibra con un período de mm a cm.
- ❖ La estabilidad de las propiedades de transmisión deben ser mantenidas a pesar del cableado y de la instalación. Debe evitarse el aumento de la atenuación y la reducción del ancho de banda a causa de microcurvaturas.

- ❖ Por eso se evita presiones externas irregulares.

- ❖ El revestimiento y cableado de las fibras debe ser rigurosamente controlado.

Esparcimiento (scattering):

- ❖ Rayleigh scattering (proporcional con λ^{-4}) por fluctuaciones en la composición y anisotropía de vidrio
- ❖ No se puede evitar
- ❖ Dispersión (scattering) en todas direcciones
- ❖ Dependiente de la longitud de onda

Absorción:

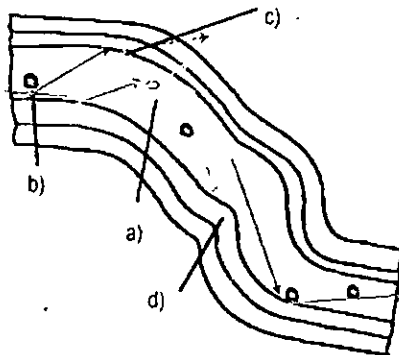
Defectos físicos

Microcurvaturas (microbending): pequeñas irregularidades

Macrocurvaturas (macro bending): $R < R_0$

Absorción:

- ❖ Absorción UV (estimulación de electrones por fotones con f_{UV})
- ❖ Absorción IR (pérdida $9\mu\text{m}$ 10×10^{10} dB/km) (vibración de moléculas)
- ❖ Absorción por hidrógeno (OH-) (armónicos del pico 2.8 μm)
- ❖ Absorción por impurezas



- b) Absorción
- c) Macrocurvatura (curvatura excesiva)
- d) Microcurvatura (micro curvaturas)

Figura 3.16 Pérdidas intrínsecas, de la fibra óptica.

Existen ciertas longitudes de onda, denominadas ventanas, para las cuales la atenuación de la luz es mínima. Estas están indicadas en la figura 3.17, y son las que se utilizan para transmitir los pulsos de luz.

La primera ventana se extiende desde los 800 nm hasta los 900 nm; la segunda ventana comienza a los 1200 nm hasta los 13500 nm, y finalmente la tercera ventana comienza al valor de 1450 nm hasta los 1600 nm. De las tres ventanas, la tercera es la que presenta la menor atenuación, y es hacia la que tienden a operar los sistemas ópticos mas modernos.

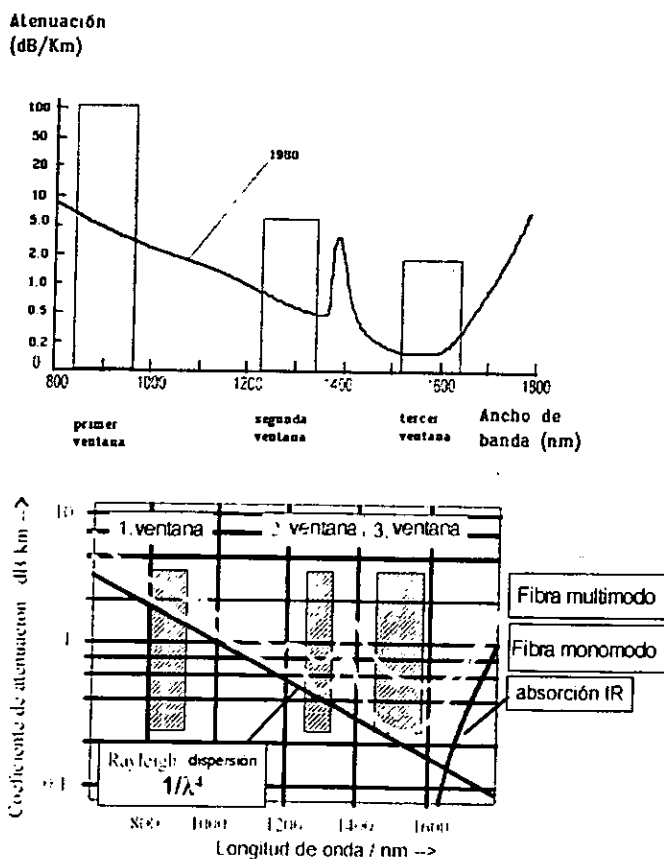


Figura 3.17. Atenuación en una fibra óptica en función de su ancho de banda y en los diferentes tipos de fibra óptica.

ANCHO DE BANDA DE UNA FIBRA OPTICA

Como en todo medio de comunicaciones, el ancho de banda de las fibras ópticas está determinado por la diferencias entre los limites superior e inferior de las frecuencias de trabajo, en los denominados puntos de -3dB.

$$\Delta f = f_2 - f_1$$

El intervalo de trabajo en las fibras ópticas se halla comprendido entre los distintos valores que corresponden a las ventanas de trabajo, que, como se expreso en las ventanas de atenuación, van desde $\lambda_2=800$ hasta, $\lambda_1 =1800$ nm, aproximadamente.

Estos valores de λ_2 y λ_1 corresponden a las frecuencias $f_1 =187.5$ THz y $f_2 =375$ THz, respectivamente. por cuanto la longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia; luego, ala mayor longitud de onda corresponderá la menor frecuencia.

Obsérvese que los limites que definen el ancho de banda, en el caso de las fibras ópticas, nunca se expresan en valores de frecuencia debido al tamaño del número que resulta medido en Hz, si no que se prefiere expresarlos en longitudes de onda medidas en nanómetros.

Sin embargo el ancho no puede ser utilizado en su totalidad, pues solamente se pueden tomar como utilizables los anchos de banda parciales correspondientes a cada una de las tres ventanas de mínima atenuación. Sus valores son los siguientes:

Primer ventana : 60 000GHz.

Segunda ventana: 30 000GHz.

Tercer ventana : 20 000GHz.

La suma de los anchos de banda correspondientes a las tres ventanas resulta así igual a 110 000GHz ó 110THz.

Nótese que si tomáramos la diferencia entre los valores extremos antes señalados de $f_1 = 187.5$ THz, y $f_2 = 375$ THz, el ancho de banda resultaría de 187.5 THz, que es superior a los 110 ya calculados. La diferencia que falta corresponde a las bandas donde no es adecuada la transmisión por que la atenuación es muy alta.

Por otro lado, el ancho de banda disminuye a medida que nos alejamos de la fuente. Esto se debe a que se incrementa el efecto de un fenómeno conocido como dispersión de luz; en particular debido a la dispersión modal y cromática.

Dado que la dispersión se incrementa con la distancia, el ancho de banda se expresa en GHz por kilómetro, con la condición que para un determinado valor no existan repetidores regenerativos en el medio del tramo considerado.

El fenómeno de dispersión se muestra en la figura 3.18, en ella se puede observar que un pulso generado en el transmisor con un ancho de banda T_1 , llega al receptor, después de pasar por la fibra óptica, con un ancho de banda T_2 , tal que

$$T_2 > T_1$$

Es decir, T_2 será mayor que T_1 del pulso inicial, al salir de la fuente. Por esta razón, se deberán separar más los pulsos a la entrada, para evitar que los mismos solapen a la salida. Esto equivale a disminuir la frecuencia de repetición de pulsos, que se pueden interpretar como una reducción del ancho de banda.

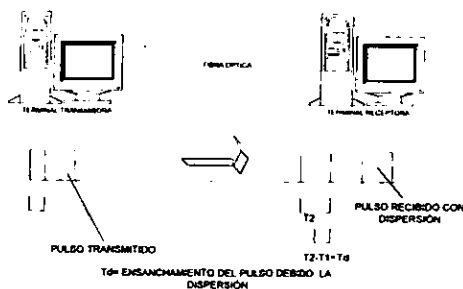


Figura 3.18. Dispersión del pulso de luz.

PROCESO DE FABRICACIÓN

La deposición de vapor químico (*CVD*) fue uno de los primeros métodos para producir fibras de bajas pérdidas. Un segundo método para producir fibras es aquel que implica la utilización de un doble crisol. El método *CVD* se utilizó por Coming Glass para demostrar bajas pérdidas de propagación en las fibras cuando, en 1970, se realizó la primera fibra con 20dB/Km. Una versión modificada del *CVD* (*MCVD*) se utiliza actualmente en la que la deposición de vapor químico se realiza en el interior de un tubo de silicio de alta capacidad.

a) Proceso de deposición de vapor químico modificado (*MCVD*)

La fabricación de fibras ópticas consta esencialmente de dos etapas: la fabricación de la preforma y el estirado y recubrimiento de la fibra.

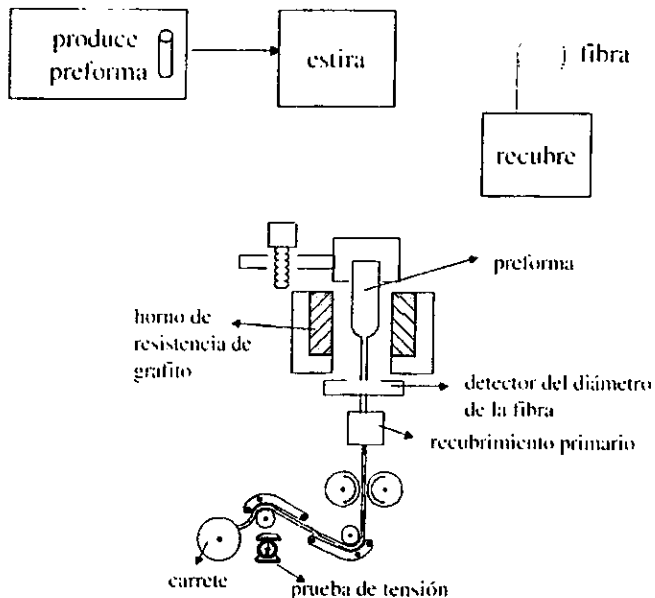


Figura 3.19. Procesos mas importantes de fabricación de la fibra óptica.

El proceso comienza con un tubo de silicio de unos 2 metros de largo y 4cm de diámetro. El tubo se hace rotar y se calienta, mientras se hace pasar por él una mezcla de gases de alta pureza. Cerca de la zona caliente tiene lugar una reacción química y se deposita un material muy puro. Desplazando dicha zona a lo largo del tubo, queda adherida una capa uniforme a su superficie interior. Mediante sucesivos pases se consiguen capas con el espesor y composición requeridos.

Después de colapsa el tubo a temperatura más elevada en una varilla maciza o *preforma* en cuyo centro, la capa de vidrio depositada forma un filamento con el perfil de índice de refracción que requiere la fibra. Esta preforma se monta luego en una *torre de estirado* y se mete en un horno, estirándose la fibra desde su extremo reblandecido y aplicando sobre su superficie capas de polímeros que la protegen y hacen más manejable.

En la cadena de vaporizadores para la producción de preformas se incluyen vaporizadores de fuente líquida, fuentes gaseosas, suministros de gas portador y una línea de cloro para fabricación de vidrio con bajo contenido de OH⁻.

b) Proceso de doble crisol

El material del núcleo, de índice más elevado, se coloca en el crisol interior. Concéntrico a este crisol se encuentra un segundo, dentro del cual se introduce el material del revestimiento. Ambos crisoles se calientan por inducción. Un calibrador permite controlar las dimensiones de la fibra. Durante un proceso, se aplica un recubrimiento de protección, normalmente un polímero. La fibra se enroya sobre un tambor a una velocidad controlada.

Una primera desventaja del método de doble crisol es la presencia de sustancias contaminantes procedentes de los crisoles, haciendo difícil la realización de fibras de muy bajas pérdidas.

CABLES DE FIBRA OPTICA DIFERENTES TIPOS

ESTRUCTURA DEL CABLE

Fibra en el cable puede ser aplicada con recubrimiento primario o secundario
recubrimiento primario para planta externa

recubrimiento secundario para uso interior

Fibra con recubrimiento primario con 4, 8, 12 en un minitubo (' *loose tube* ').

Minitubo relleno de grasa (de silicona o derivados de petróleo) para protección contra el agua si cable utilizado en planta externa

Hay 2 hasta 24 o más minitubos en un cable

Elemento central :

fundamento alrededor del cual se ordenan las fibras. Núcleo del cable

Generalmente de acero o de fibra de vidrio

Elementos de refuerzo

Toman la fuerza longitudinal aplicada en el cable

De veces el elemento central es el elemento de refuerzo

Generalmente de acero o de Kevlar, el Kevlar es una marca particular de cabos de aramida que es capaz de soportar un esfuerzo mecánico muy grande.

Cubierta de cable

Protege contra todo tipo de agresión

roedores

agua

aplastamiento con una laya.

Puede ser una simple cubierta (PolyEthylene) hasta una estructura múltica par con barreras contra el agua (aluminium).

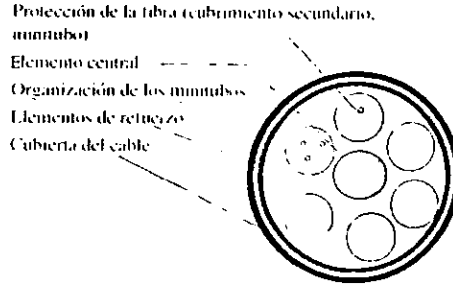


Figura 3.20. Estructura del cable.

DIFERENTES TIPOS CONFORME A LA PROTECCIÓN DIFERENTE DE LA FIBRA.

Minitubo (*Loose Tube*)

Núcleo ranurado (*Slotted Core*)

Núcleo central (*Central Core*)

Protección ajustada (*Tight Buffer*)

Elección de un tipo de cable dependiente del ambiente en que será utilizado:

Dentro de un edificio (ignífugo: *' flame retardant '*)

Al aire libre (*' aerial cables '*)

Enterrado directamente (*' direct buried '*)

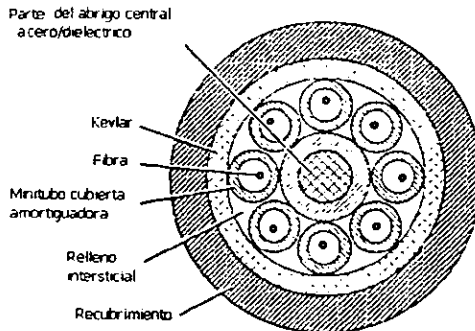


Figura 3.21. Fibra minitubo

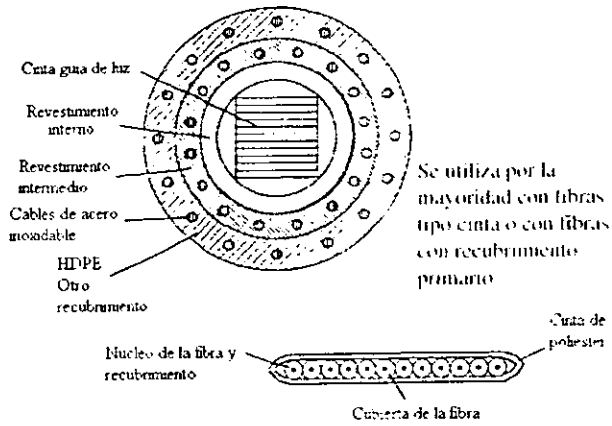


Figura 3.22. Fibra núcleo central

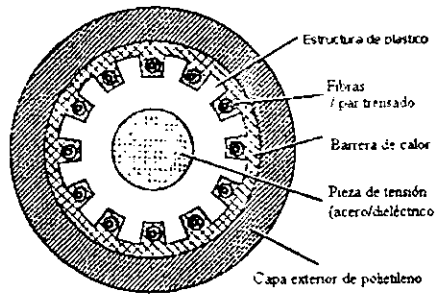


Figura 3.23. Fibra del tipo cable núcleo ranurado.

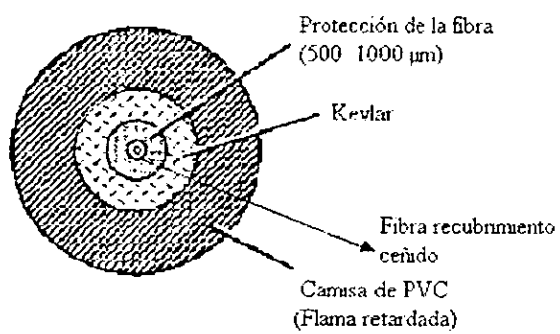


Figura 3.24. Protección ajustada.

TIPO DE CABLE	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Minitubo (<i>Loose Tube</i>)	Fibra aislada de las fuerzas mecánicas y ambientales (expansión térmica). Resistencia a humedad por la grasa en los tubos Fácil a tener acceso a las fibras sin cortar el cable.	Altos costes laborales para preparar el cabo del cable Productos para terminar el cable caros.
Núcleo ranurado (<i>Slotted Core</i>)	Protección excelente en aplicaciones en que el cable está enterrado directamente por que el núcleo puede soportar un gran peso.	Difícil de tener acceso a las fibras sin cortar el cable (i. e. corte de ventana) a causa del curso hélice que siguen las fibras en las ranuras. Difícil de fabricar.
Núcleo central (<i>Central Core</i>)	Fibra aislada de las fuerzas mecánicas y ambientales (expansión térmica). Resistencia a humedad por la grasa en los tubos. Diámetro estrecho, barato.	Difícil de tener acceso a las fibras sin cortar el cable (corte de ventana). Elemento de refuerzo: 'alambras piano' hacen la desnudación del cable más difícil.
Protección ajustada (<i>Tight Buffer</i>)	Ambos cabos de una fibra rota se quedan en una línea: no pérdida de luz Menos fragilidad Fácil para instalar conectores No se necesita 'patch-panels'.	Diámetro largo (toman mucho espacio). Más sensible al medio ambiente (humedad, cambio de temperatura).

Tabla 3.1 Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de cable de fibra óptica.

CAPITULO 4

CONECTORES, EMPALMES Y ACOPLADORES

Una unión por fibra óptica debe también permitir la transferencia de información entre varios puntos diferentes. Por ello es necesario que se puedan instalar sobre el enlace óptico cajas de derivación o repartidores que permiten *distribuir* La información contenida en La fibra a muchas otras fibras (o viceversa).

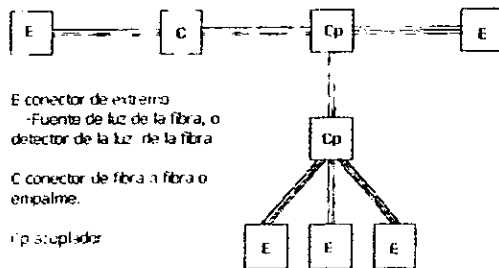


Figura 4.1. Diversas interconexiones de un sistema de telecomunicación óptica.

CONECTORES:

En un enlace por fibra óptica existe siempre, según sea el extremo, una fuente óptica por acoplar con una fibra o una fibra por acoplar con un detector óptico. El acoplamiento o la interconexión tiene por objeto transferir el máximo de energía luminosa de un elemento a otro. El acoplamiento fuente-fibra o fibra-detector se hace por medio de conectores llamados conectores de extremos.

Son interconexiones desconectables. Generalmente, las pérdidas que se producen en las conexiones se deben a desplazamientos laterales de los ejes de las fibras. Para obtener una unión correcta y de bajas pérdidas, las superficies de las fibras deben ser planas y estar enfrentadas entre sí de forma paralela. En la figura 4.1 se describen diferentes formas de acoplamiento.

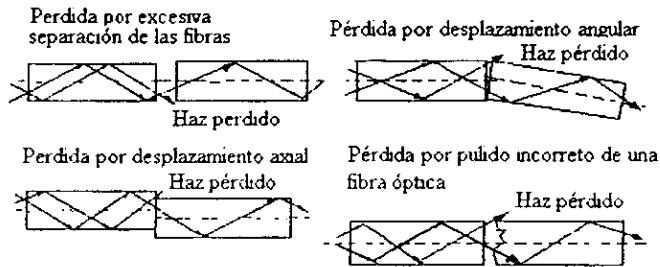


Figura 4.1 diferentes formas de acoplamiento.

Los conectores se utilizan en general para acoplar las fibras con el transmisor y/o con el receptor. La conexión entre fibras también es posible con el uso de conectores a tope. Mediante el acoplamiento a tope de ambas fibras, cuyos extremos deben estar perfectamente cortados y limpios, se logra disminuir la pérdida, introducida por el conector a aproximadamente 0.5 dB.

Otro tipo de conectores se el que utiliza lentes colimadoras. Esta técnica disminuye la posibilidad de degradación dado que, en caso de rayarse la superficie de la lente, no es tan crítico como que se produzca una ralladura en la superficie de la fibra. Con lentes colineales las pérdidas obtenidas son del orden de 1dB.

Requerimientos:

- ❖ Pérdida de inserción baja (< 1.5 dB) y insensible a cambios de temperatura.
- ❖ Pérdida de retorno alta.
- ❖ Conectarse y desconectarse hasta 1000 veces sin degradación de la transmisión.
- ❖ Protección contra humedad y polvo resistir tensiones.
- ❖ Existen muchos diferentes tipos que cumplen de manera diferente con esos requerimientos.

Construcción de un conector

- ❖ fibras están pegadas con epóxica en enchufes llamados virolas.(*ferrule*), los que poseen orificio central de gran exactitud.
- ❖ La virola hace parte del macho.
- ❖ Virolas de cerámico (80%) o de acero inoxidable.

- ❖ La hembra contiene un manguito de alineación, el que con elementos de precisión coloca las virolas de los machos y así las fibras frente a frente.
- ❖ Un resorte en el macho hace que las virolas se empujan con una cierta fuerza, lo que asegura que no haya separación entre las dos fibras.
- ❖ La fibra cuando sale generalmente está recubierta. 1 conector + cable se llama *pigtail*. 2 conectores + cable se llama *jumper*.

Conectores de fibra óptica

- ❖ Existe una gran variedad de conectores ópticos en el mercado.
- ❖ No existe un conector común estándar.
- ❖ La única estandarización parece ser el diámetro de la virola (2.5mm): eso permite de unir dos conectores del mismo tipo pero fabricados por diferentes fabricantes ver figura 4.2.



Figura 4.2. Diferentes tipos de conectores.

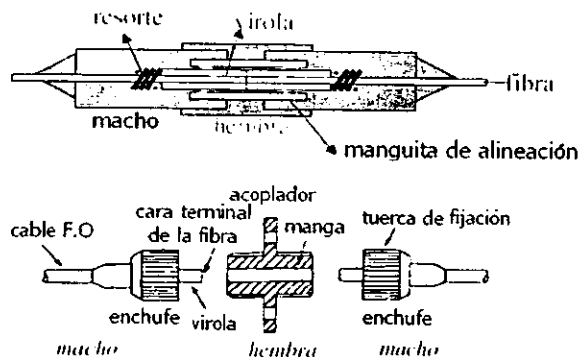
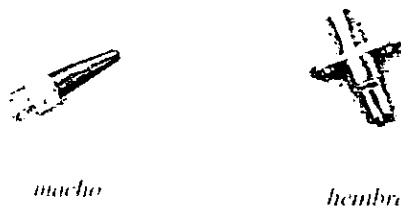


Figura 4.3. Elementos principales de un conector.

- ❖ Utilizado más en laboratorios & equipo especializado.
- ❖ Se atornilla en el adaptador: la fuerza y así el comportamiento óptico es dependiente del instalador! (no indicación 'fin de instalación').
- ❖ Al insertar, el eje de la virola debe estar en línea con el eje de la manguita de la hembra. Sino, se puede dañar a la virola.
- ❖ Adaptador FC/ APC puede ser diferente que FC/ PC.



macho

hembra

Figura 4.4. Conector ST hembra y macho.

- ❖ Al insertar, el eje de la virola debe ser en línea con el eje de la manguita de la hembra. Sino, se puede dañar a la virola.
- ❖ Se instala empujando y girando por 90°: instalación no depende del instalador
- ❖ Utilizado mucho en redes LAN.
- ❖ Utilizado más en Europa y EEUU, esp. en 'patch-panels' (LAN, Local loop).
- ❖ Indicación 'fin de instalación': hace 'click': comportamiento óptico muy estable, se puede conectar y reconectar muchas veces.
- ❖ Alta densidad de conectores en un 'patch panel' está posible porque no se necesita espacio para girar el conector como con el FC.

obturado



Figura 4.5. Conector 'push-pull' (i. e. empuje - tire), cfr SC.

- ❖ Tiene obturador para impedir que la luz láser pueda llegar al ojo.
- ❖ se hace muy popular en este momento.

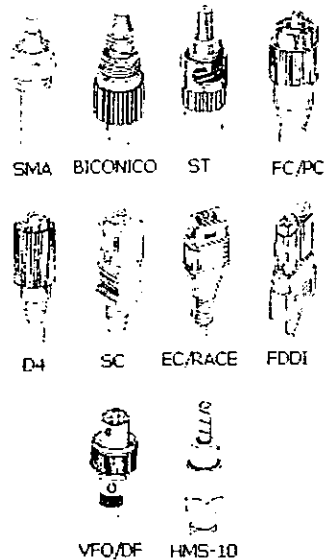


Figura 4.6. Otros tipos de conectores.

- ❖ Fabricado por DEUTSCH.
- ❖ No contiene virola! Se hace concordar las fibras mismas por un adaptador especial.
- ❖ Cabo de la fibra está cortado sobre un ángulo (6°).
- ❖ Se puede instalar en el campo ('in the field').

La tabla 4.1 muestra las atenuaciones típicas introducidas al sistema de comunicación por conectores.

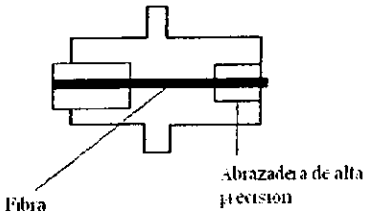
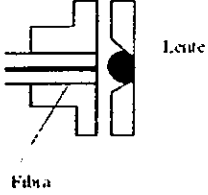
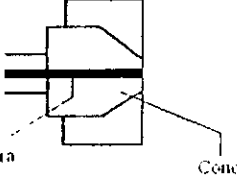
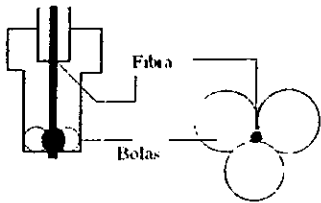
CONECTOR	TIPO	FIBRA	PERDIDAS	COLOCACIÓN
Abrazadera de alta precisión	 <p>Fibra</p> <p>Abrazadera de alta precisión</p>	IG	0.1dB	En el lugar
		M	0.3 dB	
De lentes	 <p>Fibra</p> <p>Lente</p>	IG	0.8 dB	Fabrica
Bicónico	 <p>Fibra</p> <p>Cono</p>	IG	0.2dB	En el lugar
		M	0.3 dB	
Bolas	 <p>Fibra</p> <p>Bolas</p>	IG	0.7dB	En el lugar

Tabla 4.1 Atenuaciones típicas introducidas por diferentes conectores.

Bien para saber...

Es posible conectar conectores de diferentes fabricantes si el conector no es APC. Sin embargo, la pérdida media será más alta.

Para un conector SC, no existe una diferencia entre el adaptador PC o APC. Sin embargo, existe el convenio de hacer el adaptador PC azul y el adaptador APC verde.

Cuanto al comportamiento óptico, no existe una diferencia entre una virola cerámica o metálica, aun que se puede reconectar más el conector con virola cerámica.

EMPALMES

Un enlace puede necesitar también el empalme de dos fibras entre sí, ya sea por que la fibra resulte más corta que la longitud del enlace total por realizar o bien por que por ejemplo, los parámetros exteriores de la instalación imponen una longitud limitada a la fibra: es necesario entonces, poder conectar dos fibras entre sí. Esta conexión tiene que ser desmontable, en cuyo caso se habla de conector fibra - fibra o debe ser permanente y, en tal caso se habla de un empalme o de una unión.

Una unión por fibra óptica debe también permitir la transferencia de información entre varios puntos diferentes. Por ello es necesario que se puedan instalar sobre el enlace óptico cajas de derivación o repartidores que permiten distribuir la información contenida en la fibra a muchas otras fibras (o viceversa).

Todas las conexiones mencionadas anteriormente, deben introducir el mínimo de pérdidas de energía luminosa; la transferencia de energía de un elemento a otro debe ser máxima.

El objeto del empalme es realizar interconexiones con pocas pérdidas.

Conexión Fibra – Fibra

En un sistema de conexión de telecomunicación por fibra óptica puede ser necesario conectar las fibras entre sus extremos, ya sea para alargar un enlace, conectar una fibra cebo a una fuente o un detector a la fibra del enlace, o cuando sea necesario hacer una derivación en el enlace. Esta conexión debe ser tal que haya la menor pérdida de flujo energético transmitido.

Los empalmes son uniones permanentes que se emplean para unir secciones de fibra óptica en la figura 4.7 se muestran algunos métodos de empalmes. Las características más importantes que deben poseer, tanto los conectores como los empalmes son:

- 1.- Tamaño compatible con las fibras ópticas.
- 2.- Alta confiabilidad.
- 3.- Atenuación pequeña.

- 4.- Repetibilidad grande.
- 5.- Vida media de los conectores compatible.
- 6.- Costo competitivo.

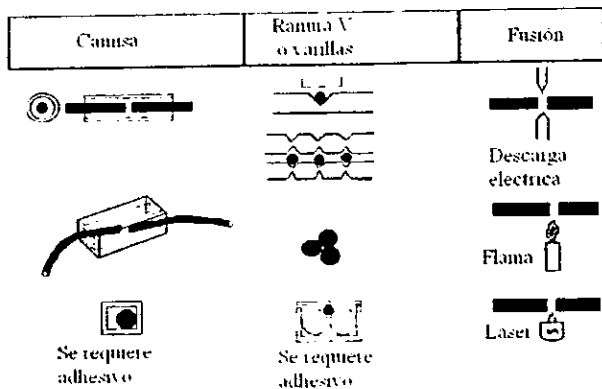


Figura 4.7 Métodos de empalmes, diferentes maneras de realizar empalmes en fibras monomodo y multimodo.

PERDIDAS INTRÍNSECAS

Variación del diámetro del núcleo.

La propagación que se realiza de una fibra 1 a otra fibra 2 si se supone una distribución homogénea de modos de la fibra 1 el flujo energético es proporcional a la superficie. La pérdida en el acoplamiento es de entonces:

$$\text{Si } a_1 > a_2$$

$$D_s = 10 \log P_2 / P_1$$

$$D_s = 10 \log S_2 / S_1$$

$$D_s = 10 \log (a_2 / a_1)^2$$

$$\text{Si } a_1 < a_2$$

$$D_s = 0$$

Se encuentra este tipo de pérdida en dos casos: el primero es cuando las dos fibras por acoplar son diferentes; por ejemplo el acoplamiento de una fibra con diámetro de núcleo

igual a $60\mu\text{m}$ con una fibra de diámetro igual a $50\mu\text{m}$ ($D_s = 1.6 \text{ dB}$). Es evidente que este caso debe evitarse dentro de lo posible.

Un segundo caso es cuando se acoplan dos fibras con el mismo diámetro de núcleo, si se consideran las limitaciones de fabricación, es importante mantener un diámetro constante. Existen necesariamente variaciones de diámetro. Cuando se acoplan dos fibras idénticas hay, por tanto pérdidas asociadas a las tolerancias en diámetro. Es importante notar que las de pérdidas de tolerancia invierten siempre. Aun si se acoplan dos fibras diferentes (estas poseen sus propias tolerancias).

Variación de la apertura numérica.

Si la fibra dos tiene una apertura numérica inferior a la del "emisor" (la fibra 1), todo el flujo energético emitido por la fibra uno no se acopla a la fibra dos. La pérdida es:

$$\begin{aligned} \text{Si } A.N_2 < A.N_1 \\ D_{A.N} &= 10 \log [A.N_2 / A.N_1]^2 \\ D_{A.N} &= 0 \\ \text{Si } A.N_2 > A.N_1 \\ D_{A.N} &= 0 \end{aligned}$$

Este tipo de pérdidas se puede producir cuando se escogen deliberadamente dos fibras de aperturas numéricas diferentes (por ejemplo una fibra cebo de un emisor y otra fibra) o de la tolerancia de fabricación sobre la apertura numérica de una misma fibra.

Puede ser que las tolerancias repercutan en una disminución de las pérdidas.

Se puede esperar que una pérdida descienda hasta -2.1dB . sin embargo, en un calculo de pérdidas de un enlace, se pueden considerar las peores condiciones. En el caso de una fibra de índice gradual, A.N es A.N (0), es decir, la apertura numérica que corresponde a la inyección de la luz en el centro del núcleo de la fibra.

Variación del perfil del índice

Es una fibra óptica con gradiente de índice, la distribución de los modos en la fibra depende del parámetro α . Si se acoplan dos fibras con diferentes perfiles, ciertos modos que se propagan en la primera fibra no podrán propagarse en la segunda. Lo que resulta una pérdida dada por:

$$\text{Si } \alpha_2 < \alpha_1$$

$$D_\alpha = 10 \log [\alpha_2(2+\alpha_1) / \alpha_1(2+\alpha_2)]$$

$$\text{Si } \alpha_2 > \alpha_1$$

$$D_\alpha = 0$$

PERDIDAS EXTRÍNSECAS

Las causas extrínsecas que dan lugar a pérdidas por acoplamiento son seis:

- Desalineamiento axial
- Desalineamiento angular
- Distancia entre las dos fibras
- No-perpendicularidad de las caras de las fibras
- Estado de las superficies
- Pérdidas de reflexión (Fresnel)

Desalineamiento axial

El eje del núcleo de una fibra es paralelo al eje del núcleo de otra fibra, pero los dos ejes no son colineales.

La transferencia del flujo energético solo se realiza en las porciones coincidentes de las superficies de los núcleos se tiene

$$D = 10 \log P_2 / P_1$$

$$D = 10 \log A / A_r$$

Donde A es la superficie asurada sobre la figura. Y A_f es la superficie del núcleo de la fibra.

Un desplazamiento del 5% ocasiona una pérdida aproximada de -0.3 dB. Ahora bien. Es una fibra que tiene un núcleo de $50\mu\text{m}$ de diámetro, el 5% representa $2.5\mu\text{m}$ por tanto. Se ve la importancia de las pérdidas que puede provocar el desalineamiento axial y el cuidado que debe ponerse en la fabricación de los conectores.

Distancia entre dos fibras.

El problema de acoplamiento entre dos fibras es el mismo que el de acoplamiento entre una fibra y un conector. La pérdida por acoplamiento depende de la superficie del punto luminoso a una distancia d de la fibra 1.

Caras no perpendiculares y estado de las superficies.

Si la cara de entrada de una fibra no es perpendicular a su eje, vuelve a tenerse una pérdida comparable a la que resulta del desalineamiento angular si las caras de las fibras no tienen superficies pulidas. la difusión en las irregularidades produce pérdidas suplementarias. Una forma de remediar este problema es poner entre las dos caras un líquido adaptador de índice; así se elimina la refracción de las fronteras entre la fibra y el aire.

Pérdidas por reflexión.

Cuando la luz pasa de una fibra a otra, atraviesa dos fronteras. cada una de las cuales introduce pérdidas por reflexión estas pérdidas son de aproximadamente -0.3 dB por interfaz. o sea -0.6dB en total. Si se interpone entre las otras dos caras un líquido con el mismo índice que el de los núcleos de las fibras, se suprimen las pérdidas de Fresnel.

En la tabla 4.2 se muestran las atenuaciones típicas introducidas por los empalmes a los sistemas de comunicación.

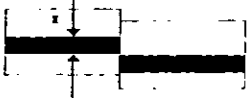


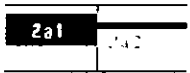

CAUSAS QUE INTRODUCEN PERDIDAS	EMPALME	ERROR	
		MONOMODO	GRADUAL
DESALINEAMIENTO		$X=2 \mu\text{m}$ 0.74dB	$X=2\mu\text{m}$ 0.06Db
INCLINACIÓN DE EJES		$\theta = 1^\circ$ 0.46dB	$\theta = 1^\circ$ 0.15dB
INCLINACIÓN DE CARAS		$\theta = 1^\circ$ 0.21dB	$\theta = 1^\circ$ 0.03dB
DIFERENCIA DE NÚCLEOS		$2a1=10\mu\text{m}$ $2a2=8\mu\text{m}$ 0.02dB	$2a1=50\mu\text{m}$ $2a2=48\mu\text{m}$ 0.15dB
DIFERENCIA DE INDICES		$\Delta 1=0.2\%$ $\Delta 2=0.25\%$ 0.03dB	$\Delta 1=1.0\%$ $\Delta =0.8\%$ 0.32dB

Tabla 4.2. Atenuaciones típicas introducidas por los empalmes. (desalineamiento, inclinación, diferencia de diámetros e índices de los núcleos.).

Proceso de conexiones permanentes

No siempre es necesario que una conexión entre fibras sea desmontable o amovible, algunas conexiones pueden ser permanentes: el primero es el empalmado las dos fibras por empalmar se colocan con precisión y enseguida se pegan con ayuda de un pegamento epóxico. El segundo tipo de conexión permanente es la unión; esta vez después del alineamiento. Las dos fibras se sueldan entre ellas. En los dos casos, la conexión permanente se hace en tres etapas.

Preparación de la fibra.

Se quita el revestimiento plástico primario con ayuda de un solvente; enseguida se corta la fibra para tener una superficie neta. Para cortar una fibra de silicio se hace sobre la superficie una muesca con algún objeto cortante del tipo del diamante, un hilo caliente o descargas eléctricas.

Alineación de las fibras.

Tanto los métodos de perfusión como los de descarga estable son importantes para conseguir bajas pérdidas en los empalmes. Sin embargo, también resulta crucial un buen alineamiento previo de las fibras. Las distintas técnicas de alineamiento pueden clasificarse en fijas y móviles.

los extremos de las fibras se montan en un dispositivo de alineación; los métodos de colocación son muy numerosos. Para las conexiones permanentes, la alineación puede hacerse con un micromanipulador que pone a estas fibras frente a frente. Los micromanipuladores se emplean sobre todo para la unión de fibras que se sueldan entre sí.

Tipos de alineación: por medio de discos de rubies, alineación por ranura o "V", alineación por medio de tubo capilar.

Técnicas de alineamiento de fibras:

En la técnica fija las fibras no se desplazan lateralmente, sino que estas se sitúan en posiciones predeterminadas. Este método se conoce también como alineamiento pasivo y es ampliamente utilizado en las máquinas emplamadoras debido a su simplicidad. Cuando se utilizan fibras con una excentricidad de núcleo pequeña, este método es válido no solo para fibras multimodo si no para fibras monomodo. Dado que las tecnologías de fabricación de fibra han mejorado en la actualidad, es posible conseguir empalmes de

varias fibras monomodo de forma simultánea con valores de pérdidas inferiores a 0.05dB utilizando máquinas que emplean esta técnica.

En cambio, en las técnicas móviles las fibras se desplazan lateralmente hasta obtener posiciones precisas previamente a la descarga. Este método se conoce También con el nombre de alineamiento activo.

Soldadura o pegado.

Una vez alineadas las fibras, pueden soldarse unas a otras por con un soplete oxidrico, con un láser de CO₂ o por medio de descargas eléctricas. Las pérdidas por conexión son entonces inferiores a 0.1 dB. Una vez alineadas en los tubos o en las ranuras, las fibras pueden también pegarse con resinas epóxicas. El pegamento hace la función del líquido adaptador de índice y se logran pérdidas por conexión inferiores a 0.2 dB.

Los sistemas de comunicaciones ópticas se han convertido en una realidad gracias a las continuas mejoras tecnológicas que han permitido alcanzar atenuaciones de 0.2dB/Km.

Los requisitos fundamentales que deben cumplir los distintos métodos de conexionado de fibras se puede resumir: reducida degradación de las propiedades de transmisión de la fibra (bajas pérdidas de conexión y/o reflexiones), alta fiabilidad de la conexión, manejo sencillo incluso para su realización en campo por parte de operarios e instaladores y finalmente bajo costo.

Protección del empalme

Generalmente la cubierta de las fibras se elimina previamente a la realización del empalme. Durante el proceso consiste en eliminar las cubiertas, cortar las fibras y situarlas en la máquina empalmadora, después del pegado, el lugar en donde se a empalmado las fibras se recubren para facilitar su manejo.

A continuación una de las principales técnicas de alineamiento y empalme de las fibras ópticas.

Empalme de fibras ópticas por fusión directa.

Existen diversos métodos de empalme de fibras ópticas por fusión directa, todos ellos clasificados en base al tipo de fuente de calor utilizada: una descarga eléctrica, un láser gaseoso o una llama. El primero de ellos es el más ampliamente utilizado en el caso de fibras de sílice. En especial, se han desarrollado varias técnicas para realizar empalmes por medio de descarga eléctrica, tales como el método de prefusión, el método de descarga de alta frecuencia como un elevado voltaje de alta frecuencia con un elevado voltaje trigger (HHT), el método de calentamiento uniforme para realizar empalmes de múltiples fibras.

Los métodos de empalme por fusión directa utilizan una fuente de calor para fundir las fibras ópticas. A diferencia de otros métodos que utilizan materiales de adaptación o adhesivos, en este caso no existe ningún otro material más que la propia fibra en la región del empalme. Por lo tanto este método posee inherentemente bajas pérdidas por reflexión y alta fiabilidad. El procedimiento de empalme de fibras por fusión utilizando descarga eléctrica, primero, se quitan las cubiertas de las fibras y se cortan. Ambas fibras se sitúan con una cierta separación entre ellas en una máquina empalmadora de fibras y se pulsa un botón para comenzar el proceso. Hasta este punto el trabajo se realiza manualmente por parte de un operario. El momento de pulsar el botón de la máquina, ésta comienza a mover las fibras para reducir la separación entre las mismas. Durante el movimiento de las fibras, se genera una descarga eléctrica que se mantiene durante el periodo de tiempo predeterminado, este proceso tiene lugar de forma automática en la máquina empalmadora. Por último la región donde se ha producido el empalme se protege para facilitar el manejo de la fibra. Actualmente existen máquinas completamente automáticas que realizan todas las acciones: desde quitar las cubiertas hasta proteger el empalme, el proceso se muestra en la figura 4.8.

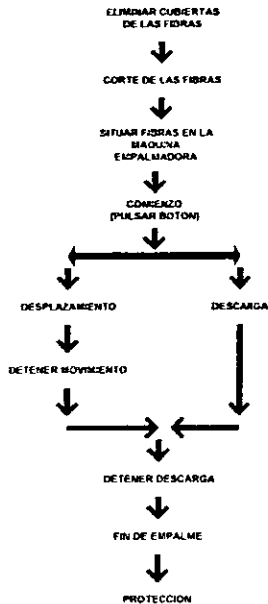


Figura 4.8 Proceso de una maquina empalmadora por fusión utilizando descarga eléctrica.

Corte de fibra y método de prefusión.

La calidad obtenida en el extremo de la fibra tras el corte afecta a las pérdidas del empalme posterior, resultando difícil obtener superficies pulidas mediante la técnica del empalme por fusión directa.

Aparte de otros factores de pérdidas más comunes presentes al realizar empalmes, tales como desplazamiento lateral o inclinación, el único factor de pérdidas en el caso del método de empalme por fusión es la formación de burbujas confinadas entre ambos extremos de las fibras. Cuando se produce esto, las burbujas introducen elevadas pérdidas de unos pocos decibelios o incluso más. En los procedimientos de empalme anteriores a la existencia del método de prefusión, ambas fibras se presionaban

ligeramente y posteriormente se fusionaban por medio de una descarga eléctrica. Sin embargo cuando los extremos de las fibras no eran lisos se producían desplazamientos laterales o dobleces, además de una mayor probabilidad de formación de burbujas como consecuencia del confinamiento de superficies rugosas. Precisamente para evitar todo esto se propuso el método de prefusión.

El procedimiento consiste en situar los extremos de ambas fibras con una separación de una cuantas micras y posteriormente prefusionarlos con una descarga eléctrica, lo que produce unas superficies lisas. Entonces éstas se desplazan y presionan bajo la descarga. Tras tocarse los extremos de ambas fibras permanecen presionadas debido al movimiento, el calentamiento por otro lado, continúa incluso una vez que ha cesado el desplazamiento. El tiempo de descarga para la prefusión es inferior a 1 segundo. Por otro lado, el tiempo global de descarga es de unos pocos segundos y para fibras monomodo resulta relativamente pequeño en comparación con el necesario para las fibras multimodo. Con este método se obtienen bajas pérdidas en la región del empalme incluso para que debilitan su resistencia. La resistencia de las fibras tras realizar un empalme se reduce en un 10% aproximadamente, por lo que se hace necesaria la posterior protección de la zona tratada.

En la práctica existen dos tipos de descargas eléctricas que se clasifican en descargas de corriente continua (DC) y descarga de corriente alterna (AC). En general, una descarga AC se prefiere sobre una descarga DC. En el caso de una descarga DC solamente se gasta un electrodo mientras que en la descarga AC se gastan simultáneamente los dos electrodos. El método HHT pertenece precisamente al grupo de descargas AC.

ACOPLADORES

Las uniones consideradas hasta ahora son entre dos puntos, un emisor y un receptor; sin embargo, hay otros tipos de uniones posibles. Se puede por ejemplo tener que transmitir información de un punto a otros puntos por medio de acopladores (ver fig. 4.9). Además, también se puede pensar que la transmisión pudiera hacerse en los dos sentidos (duplex); para ello hay dos principales tipos de distribución.

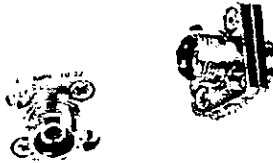


Figura 4.9. Acoplador.

Distribución en serie

En este tipo de distribución primero se parte de un enlace principal. Por medio de sistemas de derivación colocados sobre el enlace principal, se pueden alcanzar otros puntos (véase la Fig. 4.10).

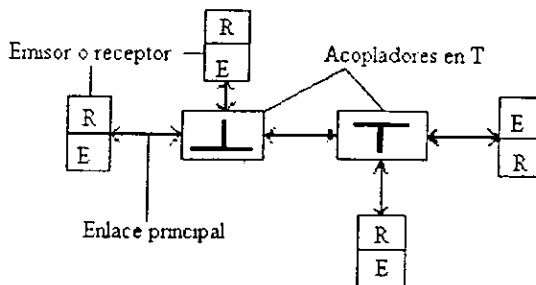


Figura 4.10. Distribución en serie. (Acopladores en T)

Se hace la derivación por medio de acopladores en "T". A veces el acoplamiento en "T" tiene que funcionar en los dos sentidos, es decir que tiene que permitir ya sea extraer información del enlace principal, o bien, mandar la información sobre la línea principal.

Distribución en estrella

En la distribución en estrella (ver fig. 4.11), un acoplador reparte la información a varios enlaces secundarios, esta repartición se realiza por medio de un acoplador en estrella. Este acoplador tiene que funcionar a final de cuentas en los dos sentidos.

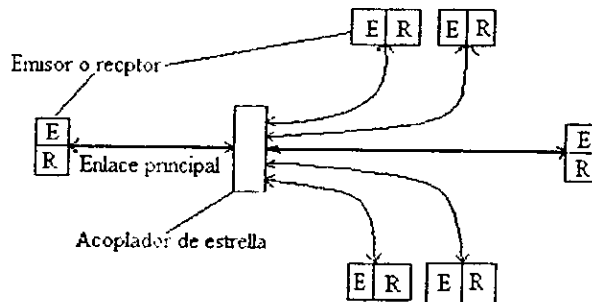


Figura 4.11. Distribución en estrella. (Acoplador de estrella).

Otro elemento pasivo importante que entra a formar parte de los enlaces de varios puntos es el acoplador direccional.

Los acopladores direccionales se emplean fundamentalmente en redes locales por fibras ópticas o para propósitos de monitoreo, y pueden ser pasivos o activos de 4 o más terminales.

Esto se realiza por medio de acopladores.

La pérdida en el acoplamiento entre el elemento 1 y otro elemento 2, se calcula por a siguiente relación:

$$D(\text{dB}) = 10 \log P2/P1$$

Donde:

P1 es el flujo energético que llega al elemento 1;

P2 es el flujo energético que llega al elemento 2;

D es la pérdida del acoplamiento.

Acopladores Pasivos

Existen diferentes técnicas de construcción de los acopladores pasivos para sistemas de comunicaciones por fibra óptica torcidas. la zona de unión es calentada hasta que la cubierta óptica se funde, después se estira formandose secciones bicónicas, los núcleos de las fibras aún permanecen separados pero los modos de alto orden al viajar por la zona bicónica se convierten en modos de recubrimiento óptico, esto tiene lugar debido a que la zona bicónica a causa del angostamiento de los núcleos, ya no cumple con la condición de reflexión total para los modos de alto orden.

Acopladores activos

Los acopladores activos emplean receptores y transmisores ópticos y actúan como conjunto de repetidores. Estos son sensibles y mas caros y menos confiables que los acopladores pasivos, pero tienen las siguientes ventajas:

El tamaño de la red local (tanto en extensión geográfica como el número de los acopladores que puede contener la red), es independiente de la ganancia del sistema.

Se puede introducir técnicas para evitar colisiones entre paquetes de datos transmitidos simultáneamente por diferentes terminales e introducir acciones correctivas si se presentan las colisiones.

Estas dos características de los acopladores direccionales activos permiten diseñar y construir redes locales de gran flexibilidad.

Los acopladores ópticos de j puertos. También se denominan acopladores tipo estrella.

CAPITULO 5

EMISORES Y DETECTORES

EMISORES

El laser de semiconductores (diodo laser) y el LED (diodo electroluminiscente) se usan universalmente como fuentes luminosas en los sistemas de comunicaciones ópticas, debido a ningún otro tipo de fuente óptica puede modularse directamente a las altas velocidades de transmisión requeridas, con tan baja excitación y tan baja salida. La elección entre el laser y el LED es función del sistema: para anchos de banda grandes y largos enlaces, el laser ofrece un mejor rendimiento. Para distancias cortas y medias con anchos de banda escasos, en donde la baja potencia de salida, la respuesta en frecuencia o la gran anchura espectral no sean factores limitativos, se suele escoger el LED, ya que tanto el circuito de ataque como el de control son más sencillos.

Los componentes utilizados para emitir luz en la ventana de los 850nm son Galio, Aluminio, Arsénico (GA, AL, AS); si agregamos Indio (In) y fósforo (P) podemos emitir en las ventanas de los 1300nm y 1500nm.

Diodo emisor de luz (LED)

Los dos tipos básicos de LED utilizados para extraer luz de una unión pn son los de **emisión de superficie** y los de **emisión de borde** (ver fig. 5.1). Los primeros han estado produciéndose desde principios de la década de los 70. Su área activa productiva de luz está definida por una superficie de contacto óxido-metal aislado, la luz se emite perpendicularmente al plano de la unión pn, a través de la superficie, por lo que gran parte de la radiación queda absorbida en el sustrato, y la emisión del diodo es de ángulo grande (**lambertiana** ver fig.5.3). Se deben procurar, pues, procedimientos de acoplamiento eficaz con las fibras ópticas, particularmente si éstas son de apertura numérica pequeña.

En el LED de emisión de bordes (ELED), la luz se emite en el plano de la unión, con lo que la absorción es muy pequeña. La emisión de bordes es direccional si se usa geometría de franja. Esta estructura permite un mejor rendimiento cuántico externo y un acoplamiento a las fibras más eficaz.

a) Proceso de emisión

El proceso de generación de la luz en un LED se basa en la recombinación de electrones y huecos en una unión pn, lo que provoca emisión de fotones. A este efecto se le llama **electroluminiscencia**. La longitud de onda de la luz emitida depende de la diferencia de energía E entre los niveles energéticos:

$$\lambda = \frac{hc}{E}$$

donde h es la constante de Planck y c la velocidad de la luz. En un LED la luz se emite según los 360° que se corresponden en una radiación esférica, pero en la práctica esto queda limitado por la construcción mecánica del diodo, la reflexión de la luz en el material metalizado y la absorción en el metal semiconductor.

La apertura numérica puede variar desde 0.9 para un LED de gran ángulo hasta 0.2 para uno de estrecho ángulo. Aunque la apertura numérica de 0.2 es bastante pequeña, el área de emisión es grande comparada con la de un laser. La baja densidad de potencia resultante reduce enormemente la potencia que se puede acoplar a una fibra de índice gradual y hace casi imposible el acoplo a una fibra monomodo.

Un ancho de banda típico para un buen diodo es de 200Mhz. Rendimientos de 5 $\mu\text{W}/\text{mA}$ son usuales, y no se requiere corriente umbral. La luz del diodo puede filtrarse, de modo que solamente parte del espectro total pase a la fibra, pero esto se hace a costa de una disminución de la potencia disponible de la fuente de luz.

b) Espectro de emisión

Los LED presentan un espectro más ancho que los lasers. Así, un LED de 850nm tiene un ancho entre 30 y 50nm.

c) LED de emisión de bordes (ELED)

Como se mencionó anteriormente, en el **ELED** la luz se emite en el plano de la unión, con lo que la absorción es muy pequeña. El **ELED** utiliza la misma geometría que el laser de franja, con modificaciones sustanciales a fin de impedir la acción del láser. Combina las ventajas de los emisores convencionales de superficie, tales como facilidad de operación y bajo ruido, con potencias de salida considerables, y con eficacia de acoplamiento y velocidades de modulación que se aproximan a las del laser. Estas presentaciones hacen a los ELED muy superiores en alcance y ancho de banda con respecto a los emisores de superficie. Son adecuados, pues, para una amplia gama de enlaces de capacidad y alcance medios, tanto analógicos como digitales.

Existe una versión de ELED de Galio, Arsénico/Galio, Aluminio y Arsénico, que trabaja en la zona de los 850nm, diseñada para acoplar el máximo posible de potencia en una fibra de pequeño núcleo. A 100mA ofrece potencias de salida en la fibra de $300\mu\text{W}$, adecuadas para comunicaciones digitales con velocidades de 70Mbps y alcances de hasta 7Km.

Un segundo tipo de ELED está diseñado para dar rendimiento suficiente al sistema, con la mínima corriente de excitación posible. Con corrientes de 10mA puede llegar a los 45Mbps.

Un factor fundamental en el desarrollo de los ELED ha sido la alta fiabilidad del propio dispositivo y de su encapsulado, actualmente disponibles como conjunto hermético, provisto de un tallo de fibra.

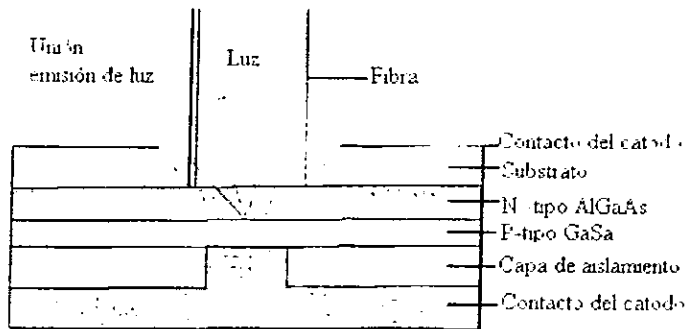


Figura 5.1 Sección transversal de un diodo LED.

Diodo Láser

Actualmente existe una gran variedad de lasers semiconductores para trabajar a longitudes de onda de 850nm. La pérdida considerablemente más baja, así como la mejor disposición de fibras ópticas de 1300nm y 1500nm han adelantado el rápido desarrollo de lasers que operen a esas longitudes de onda. Los de mayor éxito se basan en aleaciones de semiconductores de los grupos II-V, InP/Ga In As P.

a) Proceso de emisión

El proceso de generación de luz es similar al del LED. Las diferencias radican en el volumen de generación, más pequeño en los diodos láser, y en una alta concentración de portadores inyectados. Se consigue así una ganancia óptica alta y un espectro muy estrecho que da lugar a **luz coherente** (ver fig. 5.3). La pastilla láser suele tener una longitud de 300 μ m, con dos caras cuidadosamente cortadas en ambos extremos a modo de espejos. El origen de la emisión de fotones es la recombinación directa electrón-hueco en la capa activa.

En el plano vertical, confinamiento óptico y de los portadores se obtiene revistiendo la capa activa con capas pasivas (de tipo *p* y de tipo *n*). Estas capas poseen un intervalo

entre bandas superior al de la capa activa, formando así un pozo de potencial que impide a los portadores inyectados el escapar mediante difusión. Así mismo, las capas pasivas tienen un índice de refracción inferior al de la capa activa, con lo que se forma una guía de ondas ópticas que confina la luz en el plano de la capa activa, al propagarse entre los espejos. Esta estructura da lugar a que la corriente en los laterales de la zona activa sea muy pequeña. La zona activa tiene unas dimensiones típicas de 5nm a 10nm de ancho y 0,1nm a 0,2nm de espesor. En la región de **emisión espontánea** el espectro de un láser es muy parecido al de un LED, siendo la ganancia típica de $5\mu\text{W}/\text{mA}$, menor que la ganancia típica de un LED.

A partir de una cierta densidad de corriente en la zona activa, la ganancia óptica excede a las pérdidas y la emisión pasa de espontánea a **estimulada**. La corriente a la que se produce el cambio se denomina **umbral**. Esta corriente es baja en lasers e heteroestructura, entre 50mA y 150mA.

La luz de este tipo de láser puede acoplarse fácilmente a una fibra multimodo juntando simplemente a tope un extremo de la raya del láser contra el extremo del núcleo de la fibra, que tienen un diámetro mucho mayor. También puede acoplarse a una fibra monomodo. El problema principal consiste en que la unión láser tiende a ser tan fina que la luz diverge al salir del extremo. Este problema puede solucionarse mediante una diminuta lente cilíndrica que reoriente la luz a lo largo de la fibra.

b) Espectro de emisión

Por encima de la corriente umbral, el espectro de los lasers es, aproximadamente, de unos 2nm. Por debajo de la corriente umbral, las características espectrales de los lasers son similares a las del LED (ver fig. 5.2).

ESTA TESIS NO FORMA
DE LA BIBLIOTECA

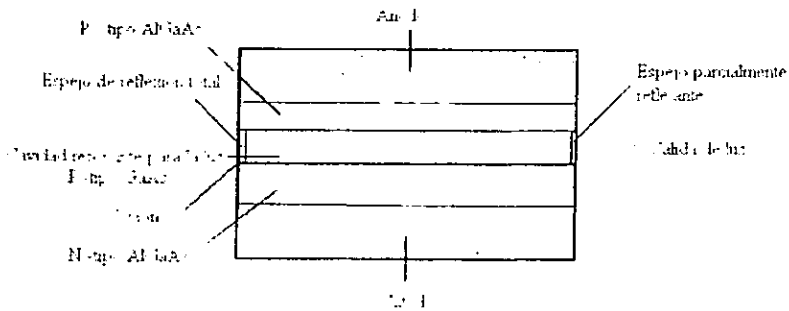


Figura 5.2 Sección transversal del diodo láser.

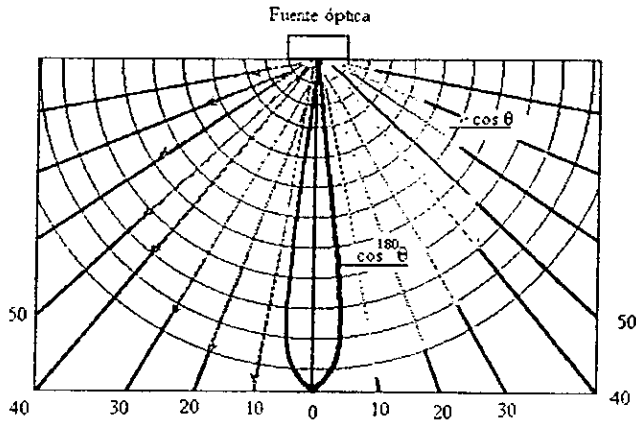


Figura 5.3. Patrones de radiación para un diodo Led (Lambertiana) y un diodo Láser (coherente).

Características del transmisor

Cuando se hable de un transmisor (emisor de luz con sus circuitos polarizadores) se deben tener en cuenta algunas consideraciones importantes para evaluar su aplicabilidad. En primer lugar puntualicemos la diferencia entre transmisores digitales y analógicos, por ejemplo, en sistemas CATV, donde las señales son moduladas en FM. Para transistores analógicos, **linealidad o distorsión** (modificación de la señal

transmitida respecto a la original) y el **ancho de banda** son factores muy importantes. Para un transmisor digital, este último parámetro está relacionado con la **velocidad de transmisión máxima**, que, a su vez, lo está con la máxima cantidad de información que se transmite en una unidad de tiempo. La linealidad no es crítica en una transmisión digital.

Para cualquier transmisor un factor importante es el **ruido** (señales aleatorias indeseables que se suman a la señal debido al emisor de luz y los circuitos electrónicos) y la **relación señal-ruido (S/N)**. Las fibras ópticas son casi inmunes a todo tipo de interferencias, sin embargo, no así el transmisor y por ello debe ser diseñado con sumo cuidado para evitar este fenómeno.

Además, cuando se elige un transmisor es importante que las características eléctricas de ingreso (tales como la codificación de las señales digitales o los niveles de ingreso de entrada de las señales analógicas) coincidan con las del sistema a usar. Es conveniente también que las características del emisor de luz estén de acuerdo con las características eléctricas. Otras consideraciones a tener en cuenta son: longitud de onda (para elegir la fibra adecuada), ancho espectral (para considerar la dispersión), potencia óptica emitida y tipo de encapsulado (para considerar la eficiencia de acoplamiento).

Tabla 5.1 Ventajas de un diodo laser con respecto al diodo LED.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Frecuencia de modulación más alta.	Efecto láser comienza desde un corriente umbral (50 mA): 'drive current' más alta.
Potencia óptica alta. (LD: mW / LED: μ W).	Electrónica más complicada
Acoplamiento de la fibra a la fuente más eficiente.	Más caro
Ancho espectral más estrecho (luego menor dispersión cromática)	Vida útil más corta (debido a las corrientes más altas)

Generalmente, se utiliza LD en telecomunicaciones, y LED en transmisión de datos (LAN)

DETECTORES Y RECEPTORES

El fotodetector, un componente crítico en cualquier sistema de comunicaciones por fibra óptica, ha sido menospreciado, algunas veces, en la reciente tendencia de concentrarse en las mejoras de los transmisores láser y en las mismas fibras ópticas. Simplemente con cambiar de un tipo de fotodetector a otro se puede incrementar la capacidad de un sistema óptico en un orden de magnitud sin tocar ningún otro componente.

Aunque existen varios tipos de fotodetectores, usualmente sólo se consideran tres para la detección directa de señales digitales en comunicaciones ópticas: el **fotodiodo**, el **diodo PIN** y el **fotodiodo de avalancha (APD)**. La mayor parte de los sistemas instalados en el mundo utilizan fotodiodos PIN, muchos de ellos son de silicio y se usan en sistemas de longitudes de onda corta (800nm y 900 nm) para comunicaciones a corta distancia. Al fin y al cabo los diodos PIN, con su gran ancho de banda y bajo ruido, son la promesa futura para conseguir una generación de detectores ópticos completamente integrados.

Básicamente, el detector es un dispositivo que convierte fotones en electrones, un receptor se compone de un detector y de los circuitos necesarios asociados que lo capaciten para funcionar en un sistema de comunicaciones ópticas, transformando señales de frecuencias ópticas a frecuencias inferiores, con la mínima adición de ruido indeseable y con un ancho de banda suficiente para no distorsionar la información contenida en la señal (analógica o digital).

Diodo PIN

El fotodiodo PIN es el detector más importante utilizado en los sistemas de comunicación óptica (ver fig. 5.4). Es relativamente fácil de fabricar, altamente fiable,

tiene bajo ruido y es compatible con circuitos amplificadores de baja tensión. Además, es sensible a un gran ancho de banda debido a que no tiene mecanismo de ganancia. Unas zonas p y n altamente conductivas junto a otra intrínseca poco conductiva, caracterizan al diodo PIN. Los fotones entran a la zona intrínseca generando pares electrón-hueco. El diodo se polariza inversamente con el fin de que las cargas generadas en la zona intrínseca sean aceleradas por el campo eléctrico presente.

Una típica estructura p - i - n planar tiene, como material absorbente de luz, a un compuesto de In Ga As . La región de absorción es fina, siendo, generalmente, un material tipo n sobre un sustrato tipo n de indio fosforoso. La superficie superior está recubierta de un fino aislante, o capa pasiva, para proteger la superficie y reducir la recombinación de electrones y huecos en dicha superficie.

Cuando un fotón entra en la zona de deplexión, es absorbido y genera un par electrón-hueco, los cuales son dirigidos hacia los electrodos opuestos. Allí se recogen y aparecen como corriente en el circuito exterior. Puesto el par de portadores es separado en mucho menos tiempo que el tomado para su recombinación, el proceso de detección es rápido y eficiente.

Debido a que no existe mecanismo de ganancia en un fotodiodo p - i - n , la máxima eficiencia del detector es la unidad y producto ganancia \times ancho de banda coincide con esta última. El ancho de banda de un diodo p - i - n está limitado por el tiempo tomado en colector las cargas. Este tiempo es inversamente proporcional al ancho de la zona de deplexión y directamente proporcional a la velocidad de los portadores de cargas en la región de alto campo eléctrico.

La principal fuente de ruido en un fotodiodo p - i - n es el **ruido de granalla**, producido en la zona de deplexión de la unión p - n inversamente polarizada, generado por el proceso estadístico de los electrones atravesando la unión p - n .

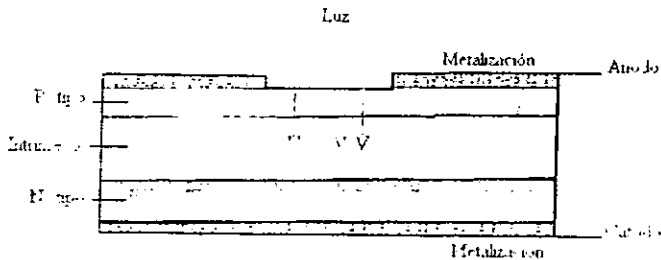


Figura 5.4 Sección transversal de un Fotodiodo diodo PIN.

Fotodiodo de avalancha (APD)

Los APD son similares a los diodos PIN en cuanto a que trabajan polarizados en inversa, en ausencia de grandes corrientes de oscuridad (ver fig. 5.5).

A diferencia de los diodos PIN los APD operan a tensiones inversas lo suficientemente elevadas como para que cuando los portadores sean en el campo eléctrico, colisiones con otros átomos que componen la estructura cristalina del semiconductor. Las colisiones ionizan los átomos, produciéndose nuevos pares electrón-hueco. Esta ionización por impacto nos determina la ganancia interna del dispositivo o **ganancia de avalancha**.

a) Proceso de avalancha

Con polarización directa (es decir, la región p positiva y la región n negativa), el diodo está preparado para conducir corriente limitada por la resistencia del dispositivo. En polarización inversa, la unión $p-n$ forma una barrera y sólo la puede atravesar una corriente muy pequeña, normalmente causada por generación térmica (ya que los átomos de la red cristalina están en constante vibración) y por la separación debida al campo eléctrico que existe en la región de deplexión. Esta corriente se denomina **corriente de oscuridad**, puesto que existe incluso en ausencia de luz incidente: está presente en todos los diodos en mayor o menor grado y suele ser característica del material usado en la construcción del diodo.

Si la polarización es negativa se aumenta la corriente de oscuridad también crece gradualmente por ensancharse la región de depleción y exponer así una parte mayor del volumen del diodo a la capacitación de portadores generados térmicamente. Con polarización inversa suficientemente grande, el campo eléctrico en la zona *p-n* puede hacerse tan intenso que acelere los pares electrón-hueco generados térmicamente, con energía suficiente como para crear más de estos pares por colisiones con los átomos de la estructura. Estos pares, ionizados por impacto, son a su vez acelerados, junto con los portadores de carga fotogenerados primariamente, para colisionar con más átomos de la red y producir nuevos portadores de carga. De esta manera se puede amplificar la corriente primaria, aumentando su ganancia con la polarización. Finalmente, se alcanza un voltaje para el cual la ganancia de multiplicación de la corriente de oscuridad se aproxima a infinito. A este valor se lo denomina **tensión de ruptura** del diodo.

Cuando se ilumina el diodo, se producen muchos más pares electrón-hueco, generándose en él una fotocorriente. A una polarización suficientemente baja (alrededor del 10% de la tensión de ruptura) se puede suponer que no hay ganancia de avalancha de la fotocorriente. Es decir, la fotocorriente es la corriente total generada en el diodo menos la corriente de oscuridad correspondiente a esa tensión. Para un voltaje mayor (90% de la tensión de ruptura), se produce una ganancia finita, tanto de la fotocorriente como de la corriente de oscuridad. La ganancia neta es entonces la fotocorriente a esa tensión dividida por la fotocorriente sin amplificar. La máxima ganancia se alcanza justo antes de la tensión de ruptura; sin embargo, el factor de ruido es también máximo en este punto. La ganancia óptima cuando se emplea un APD, en un receptor óptico corresponde a un valor inferior al máximo, en el cual el ruido después de la multiplicación coincide con el ruido del amplificador.

El factor de multiplicación depende fuertemente del voltaje inverso aplicado y de la temperatura, lo que hace difícil alcanzar una ganancia estable. Un compromiso típico entre ganancia y estabilidad es un valor del factor de multiplicación entre 50 y

150. La corriente de oscuridad también es muy sensible a la temperatura. En los diodos de Silicio, la corriente se dobla cada 8°C , en los de Germanio cada 9°C a 10°C . A 25°C la corriente de oscuridad típica de un APD de silicio con $0,1\text{mm}$ de diámetro de área activa es de 1nA a 10nA , para un valor de factor de multiplicación de 100.

b) Ancho de banda de un APD y su respuesta en el tiempo

Una última consideración con respecto a la ganancia de avalancha es su efecto en el ancho de banda del receptor. En un detector de avalancha, el máximo ancho de banda obtenible (para ganancia igual a 1) está, en último caso, limitado por el tiempo de tránsito de los portadores en la región de deplexión, al igual que en los fotodiodos p-i-n. En presencia de ganancia el ancho de banda se reduce, debido al tiempo necesario para formarse la avalancha.

El tiempo de respuesta de un APD también depende del coeficiente de ionización. Después que la avalancha comienza, la señal continúa hasta que alguna fluctuación en la densidad de los portadores en la región de deplexión hace finalizar el proceso.

El producto ganancia por ancho de banda en un APD es máximo en dispositivos y materiales, en los que el tiempo de tránsito efectivo es menor.

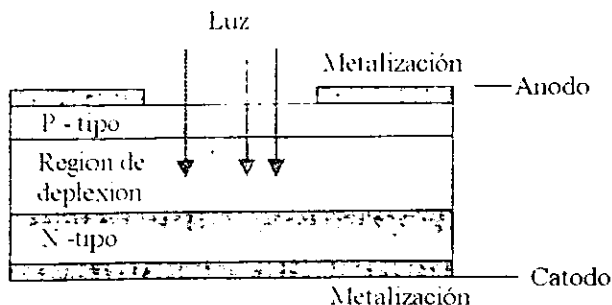


Figura 5.5. Sección transversal de un Fotodiodo de avalancha (APD).

Receptores

Al igual que con los transmisores, debemos considerar los mismos parámetros básicos para diferenciar las características de los receptores analógicos y digitales. Los parámetros de los receptores analógicos son la **linealidad o distorsión** y el **ancho de banda**, mientras que para receptores digitales la linealidad no es importante y el ancho de banda se reemplaza por la máxima velocidad de transmisión. La **potencia de ruido equivalente de un receptor** es generalmente mayor que en la de un fotodetector sólo. Otras consideraciones son la **relación señal/ruido** para los receptores analógicos y la **tasa de errores** (número de bits equivocados recibidos) para receptores digitales. Se debe notar que la fuente principal de ruido en el receptor es la etapa amplificadora que sigue al fotodetector.

Debemos considerar las características eléctricas de salida (codificación para transmisores digitales y nivel e impedancia de salida para las analógicas). Muchos receptores tienen circuitos de **control automático de ganancia (CAG)** para mantener el mismo nivel de salida cualquiera sea el nivel de entrada. Dado que el rango del nivel de entrada está limitado por el fotodetector, hay una potencia máxima sobre la cual se satura y una potencia mínima que representa la mínima detectable. Esta última es importante para determinar la máxima longitud de fibra que se puede usar sin repetidores. Otras características ópticas de los fotodetectores tales como el rango de longitudes de onda de trabajo y el tipo de encapsulado deben ser considerados al elegir.

Los receptores ópticos actuales se basan en uno de los dos tipos de detectores: el fotodiodo de avalancha APD y el diodo PIN seguido por un preamplificador de entrada **FET (Transistor de Efecto de Campo)**. Para señales digitales binarias, el caso más común basta con 22Db de relación señal/ruido. Un APD de calidad (de bajo ruido) podría dar una sensibilidad superior. Las relaciones señal eficaz de portadora/ruido eficaz en señales analógicas han de estar entre los 30dB y los 65dB.

Si las señales están moduladas en intensidad, el ruido dominante es el granular (**shot**) asociado a la corriente media de la señal, para relaciones portadora/ruido mayores de unos 40dB. En estos casos la mejor opción son los receptores **PIN-FET**.

a) **Ruido en los receptores ópticos**

La capacidad de un receptor óptico para detectar señales de luz débiles depende de su sensibilidad y en particular del ruido propio. Los agentes causantes del ruido son la señal óptica, el diodo en sí y el circuito eléctrico que le sigue. El límite en cuanto a detección se da cuando la suma de todas las corrientes de ruido (cuántico, de la corriente de oscuridad, granular, térmico) iguala a la corriente de la señal a la salida del receptor. Esta potencia equivalente al ruido suele ser sin embargo menos importante que la potencia óptica (mínima) requerida para garantizar la deseada relación señal/ruido o tasa de error.

Pueden presentarse alguna o todas las fuentes de ruido siguientes:

- Ruido granular en la corriente media de la señal.
- Exceso de ruido granular en la corriente media de la señal, debido al ruido en la multiplicación de avalancha.
- Ruido creado por la corriente de oscuridad del detector.
- Ruido procedente del amplificador.

Incluso con un APD perfecto, hay un límite fundamental en el cual el rendimiento sólo depende del ruido granular en la corriente media de la señal. Corrientemente se le denomina **límite cuántico**, ya que los electrones de la corriente de señal están relacionados directamente con los fotones ópticos. Se puede demostrar que deben recibirse al menos 21 fotones para un "1" si se quiere obtener una tasa de error de 10^{-9} en sistemas digitales.

CAPITULO 6

TRANSMISIÓN DE SEÑALES DIGITALES POR FIBRA OPTICA

TIPO DE SEÑALES

Un elemento básico de un sistema de transmisión por fibra óptica es el equipo de línea con los equipos terminales de línea al comienzo y al final de la transmisión óptica, y en el caso de que distancias prolongadas lo hagan necesario, los regeneradores intermedios.

En la figura 6.1 se muestra como la fibra óptica puede transmitir señales analógicas o digitales y además ofrece la ventaja de futuras ampliaciones con respecto a la manipulación de mayor velocidad o más ancho de banda. Cambiando simplemente la electrónica en el transmisor y en el receptor. Por esta razón, los demás sistemas de comunicaciones vía fibra óptica se diseñan para la capacidad de ancho de banda mínima requerida.

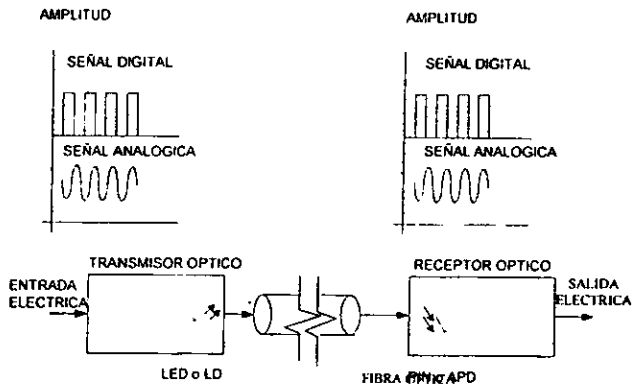


Figura 6.1. Sistema de fibras ópticas para transmitir señales analógicas y digitales.

Señal analógica.

Las señales analógicas, tales como las de video 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 de transmisión en los sistemas analógicos se determina con 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 posible y una gran linealización, que se logra utilizando las técnicas de modulación de 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 200MHz-Km. Los cortos sin repetidores utilizan en su mayoría modulación analógica; sin embargo, en la actualidad para muchas aplicaciones se emplea transmisión digital con modulación binaria.

Conjunto de dispositivos que han sido diseñados para manipular cantidades físicas o información representada en forma analógica, es decir que toman un intervalo continuo de valores.

Señal digital

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 en una serie de bits que resultan de emisión breve de radiación por la fuente óptica.

En los sistemas de transmisión digital el parámetro que determina la calidad del sistema es la tasa de error (BER). Una tasa de error típica para este tipo de sistemas es de $BER=1 \times 10^{-9}$, que presenta un 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 este 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. Los niveles típicos de la mínima potencia óptica requerida en los detectores de silicio en la longitud de onda de 850nm para la señal digital.

Ventajas de los sistemas digitales.

Facilidad De diseño, debido a que los sistemas digitales no requieren de valores precisos de corriente, o de voltaje, únicamente interesa si se encuentran dentro del margen que representa un 1 lógico a un 0 lógico.

Facilidad para almacenar la información mediante registros o memoria.

Programación de la información

Mayor capacidad de integración.

Etapas de transmisión y recepción.

Un sistema de telecomunicación óptica sirve para transmitir mensajes utilizando las fibras ópticas como canales de transmisión. Los mensajes se transforman, en el emisor, en luz o flujo energético: este flujo energético emitido se transmite con ayuda de la Fibra Óptica hasta un receptor que lo transforma en mensaje.

El sistema de comunicación puede ser de tres formas:

Sistema continuo: El mensaje y el flujo energético que se transmite son funciones continuas del tiempo; tal sistema se llama "analógico". El mensaje puede ser, por ejemplo la variación de presión del aire o una corriente eléctrica.

Sistema discreto: El mensaje y el flujo energético que se transmite son secuencias de

símbolos discretos. Tal es el caso, por ejemplo de la telegrafía o de un enlace entre dos computadoras.

Sistema mixto: El mensaje y el flujo energético no son totalmente continuos ni discretos. Puede suceder que el mensaje sea continuo o analógico mientras que el flujo energético transmitido es discreto.

Transmisión de señales analógicas.

El mensaje se transforma primero en una señal eléctrica analógica. En el emisor la fuente óptica convierte esta señal eléctrica en una señal; la amplitud o magnitud del flujo energético varían con el tiempo. Tal sistema recibe el nombre de modulación en banda base: hay modulación de la amplitud de la luz portadora) alrededor del valor medio del flujo energético emitido. Por el momento no se han desarrollado sistemas analógicos en los que la frecuencia de la portadora de (luz) sea modulada proporcionalmente a la señal eléctrica .

Debido al carácter analógico de la VOZ, las primeras formas de comunicación fueron también de este género. Sin embargo a principios del siglo XIX el carácter digital se dio por medio de la telegrafía. El código Morse es un ejemplo del código binario y precursor de la actual transmisión digital. La telegrafía transmitía un código binario y precursor de la actual transmisión digital. La telegrafía transmitía un código que después debía ser descifrado para componer el mensaje recibido; actualmente es la propia voz la que se transmite digitalmente después de haber pasado por una serie de conversiones antes de ser transmitidas.

Transmisión por medio de señales discretas.

La información contenida a cada instante t , en la amplitud de una señal continua en el tiempo.

Se puede mostrar que en ciertas condiciones el hecho de conocer el valor instantáneo de la amplitud de la señal sólo para algunos instantes sucesivos determinados, en vez de

conocerla para todos los instantes no provoca ninguna pérdida de información. Transmitir la información consiste entonces en transmitir los valores de la amplitud en instantes sucesivos regularmente espaciados. La toma de valores instantáneos se realiza por la operación llamada muestreo.

Los valores de la muestra pueden transmitirse por medio de señales discretas (pulsos).

En la transmisión de pulsos, algún parámetro característico del pulso (amplitud, ancho o posición) se hace proporcional al valor de la muestra. Estos son los pulsos que después se transmiten.

En la transmisión digital, el valor de la muestra se convierte a forma binaria (sucesión de "0" y de "1"). Esta sucesión de "0" y de "1" se transforma en pulsos que se transmiten por la línea de transmisión.

Topologías de las transmisiones ópticas.

Las dos topologías posibles de transmisión dentro de los enlaces por fibra óptica son las siguientes:

Transmisión óptica unidireccional. En la transmisión óptica unidireccional se utiliza la fibra óptica en un único sentido de transmisión.

Transmisión óptica bidireccional. En la transmisión óptica bidireccional se utiliza la fibra óptica en los dos sentidos de transmisión posibles.

Muestreo.

En el caso de una señal analógica la información esta contenida a cada instante t en amplitud de una señal continuo en el tiempo. Se puede mostrar que, en algunas condiciones, el hecho de conocer el valor instantáneo de la amplitud de la señal de sólo para unos instantes sucesivos determinados, en lugar de conocer para todos los instantes no provoca ninguna pérdida de información.

Transmitir la información consiste en enviar los valores de la amplitud en instantes sucesivos regularmente espaciados. La toma de valores instantáneos se realiza por la operación llamada muestreo.

Los valores de la muestra pueden transmitirse por medio de señales discretas(pulsos). En

la transmisión de pulsos algún parámetro característico de pulsos, (amplitud, ancho o posición) se hace proporcional al valor de la muestra. Estos son los pulsos que después se transmiten.

En la transmisión digital, el valor de la muestra se convierte en forma binaria (sucesión de "0" y de "1"). Esta sucesión se transforma en pulsos que se transmiten en una red de fibra óptica.

CODIFICACION DE DATOS

En informática la unidad mas pequeña de información es el bit (dígito binario) la información que contiene son unos o ceros que utilizan para indicar si hay presencia o no de carga eléctrica.

La unión de 8 bits forma un byte u octeto y es la agrupación básica de información binaria equivalente a un carácter.

Para el intercambio de información entre ordenadores se han desarrollado distintos sistemas de codificación, siendo el mas común el código ASCII. Es un código que emplea 7 bits mas un octavo como control de paridad.

CODIGOS DE LINEA

palabra codificada de 8 bits tiene que adaptarse a las características de medio de transmisión.

Para ello, la señal digital debe cumplir las siguientes condiciones:

1. No se deben tener largas secuencias de ceros.
2. No se debe tener componente de corriente continua en la señal. .
3. La forma de los impulsos no ha de cambiar durante la transmisión, con el fin de que el receptor interprete correctamente la información. Todas estas condiciones se pueden cumplir llevando a cabo una recopilación. Precisamente con este objeto, existe una gran cantidad de códigos de línea diferentes.

Codificación no retorno a cero (NRZ).

En la codificación NRZ, la señal está alta para toda la duración de un "uno" y baja para toda la duración de un "cero". A cada bit ("1" o "0") le corresponde un intervalo unitario durante el cual la señal eléctrica es alta o baja. Figura. 6.2.

Esta codificación tiene los siguientes inconvenientes: Cuando se tiene una sucesión de "1", la señal-eléctrica es una señal continua no pulsante, lo que obliga a tener circuitos electrónicos adecuados para identificar dos señales continuas; esto representa un inconveniente, además, en la recepción no se puede distinguir si hay una sucesión de "0" o si se tiene una ausencia de señal.

En las anteriores formas de codificación no se puede reconvertir la señal en los casos en que haya largas secuencias de ceros, debido a la falta de cambios de flancos. Otra desventaja es que sólo se transmiten estados 0 + 1, por lo que no es adecuado para transmisiones a largas distancias, debido a la alta componente continua.

Cuando se tiene sucesiones de "1" o de "0", no se puede sincronizar la recepción, ya que los intervalos unitarios no están definidos en el demo, por lo tanto no hay información de la frecuencia de muestreo y no se puede reconstruir.

Ejemplo en la figura 6.2: para una señal de 1.0.1.0.0.1.10 la señal sería:

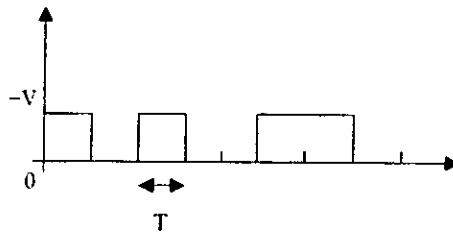


Figura 6.2. Información binaria en código NRZ.

Codificación con retorno a cero (RZ).

En la Codificación RZ, la señal es baja a lo largo del tiempo de duración de "cero" y alta en la primera mitad de duración de un "uno". Esta codificación necesita dos intervalos unitarios por bit, puesto que el bit "uno" se representa por un estado alto durante la mitad

del tiempo del bit, lo cual impide que la señal quede alta durante la sucesión de "1".

El código R.Z. unipolar se caracteriza porque la señal se define entre dos valores de amplitud predeterminados: Desde cero hasta $+V$, y desde $-V$ hasta cero.

La codificación de la señal se realiza en base a asignar al "cero" de la señal digital con un tiempo de bit T dos niveles consecutivos de amplitud cero de la señal codificada con una duración unitaria respectiva de $T/2$.

El criterio de codificación seguido con el "uno" de la señal digital con un tiempo de bit T consiste en asignar dos niveles consecutivos de amplitudes uno y cero de la señal codificada con duración unitaria respectiva de $T/2$.

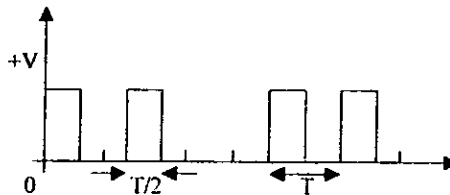


Figura 6.3. Información binaria en código RZ.

La figura 6.3 representa la información binaria de la señal digital codificada en base a un código RZ. Unipolar en el que $+V$ y cero son los valores de amplitud de la señal codificada y T corresponde al con el tiempo de bit de la señal digital mientras que $T/2$ se corresponde con el tiempo del nivel de modulación de la señal codificada.

Código MANCHESTER

El código MANCHESTER unipolar se caracteriza porque la señal se define entre dos valores de amplitud predeterminados: desde cero hasta $+V$, y desde $-V$ hasta cero.

El criterio de codificación seguido con el "cero" y con el "uno" de la señal digital consiste en realizar inversiones alternas en el proceso de codificación mediante impulsos positivos y negativos.

La codificación de la señal se realiza en base a asignar al "cero" de la señal digital con un tiempo de bit "1" dos niveles consecutivos de amplitudes: cero y $+V$ de la señal codificada con duración unitaria respectiva de $T/2$.

El criterio de codificación seguido con el "uno" de la señal digital con un tiempo de bit T consiste en asignarle dos niveles consecutivos de amplitudes: $+V$ y cero de la señal codificada con duración unitaria respectiva de $T/2$.

La figura 6.4 representa la información binaria de la señal digital: 1,0,1,0,0,1,1,0, codificada en base a un código Manchester unipolar en el que $+V$ y cero son los valores de amplitud de la señal codificada y T se corresponde con el tiempo de bit de la señal digital, mientras que $T/2$ se corresponde con el tiempo del nivel de modulación de la señal codificada.

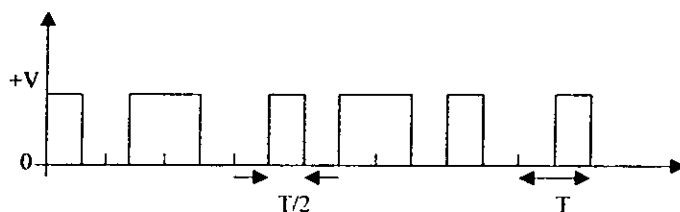


Figura 6.4. Información binaria de una señal digital en código MANCHESTER.

Modulación

La modulación de señales consiste en modificar las características de una señal portadora para adecuarla a las características del medio de transmisión.

Existen dos tipos básicos de modulación:

Modulación analógica .

Modulación digital.

Modulación analógica

Este tipo de modulación se ocupa en la transferencia de información analógica a través de señales analógicas.

Existen tres técnicas básicas para la modulación analógica:

Modulación de la amplitud (AM)

Modulación de la frecuencia (FM)

Modulación de la fase (PM)

Modulación digital

Este tipo de modulación se ocupa en la transferencia de información digital a través de señales analógicas.

Surge de la necesidad de transferir información digital por las líneas telefónicas (uso de modem).

Existen tres técnicas básicas para la modulación:

En amplitud o ASK

En frecuencia o FSK

En fase o PSK.

Demodulación.

En el otro extremo del sistema de transmisión el tren de pulsos modulado, después de ser amplificados o regenerados deben demodularse para recuperar la señal.

Las redes de computadoras también se dice que trabajan de forma síncrona cuando ambos equipos deben estar listos, para transmitir uno y para recibir el otro respectivamente al mismo tiempo, y se dice que son asíncronas cuando no es necesario que la máquina destino esté enterada de que se le transmitirá información.

Transmisión síncrona.- establece un diálogo para control de inicio de transmisión. Control de la finalización. control de transmisión.

Procedimiento de detección y corrección de errores, transmite paquetes, alta velocidad (2400 bps y mayores y mayor calidad).

Transmisión asíncrona.- Encendido/apagado 1 bit de señalización de inicio y final de palabra. No contempla procedimientos de detección y corrección de errores, tiene ruido excesivo, baja velocidad (300 a 2400 bps).

Algunos tipos de sincronía serian:

SDH

SDH = *Synchronous Digital Hierarchy* = jerarquía digital síncrono

Idea de base: equipos SDH son sincronizados con reloj común (*Master Clock*)

SDH compatible con PDH existente

niveles europeos hasta nivel 4 (140 Mb/ s)

niveles americanos hasta nivel 3 (44.7 Mb/ s)

SONET = *Synchronous Optical Network* = norma Americana (ANSI) equivalente de SDH

SONET

SONET: *Synchronous optical Network*

SONET = definido por ANSI (*American National Standard Institute*) y por la mayoría compatible con SDH (definido por el CCITT)

Diferencia mayor entre SONET y SDH: ladrillo de base de SONET = STS- 1 (*synchronous Transport Signal*).

STS- 1 = 51. 84 Mbit/ s = bloque de 90 x 9 bytes, con las 3 primeras columnas para intercalando 3 STS- 1 byte por byte da un STS- 3, que iguala un STM- 1

1 STS- 1 puede transportar 1 canal plesiócrono DS3 (44.7 Mbit/ s)

SDH resumen

SDH = Tecnología Troncal

SDH no hace conmutación basada en el contenido del tráfico como ATM o Frame Relay

SDH no asigna ancho de banda de manera dinámica (ATM)

SDH = vagones de tren de alta velocidad: solamente transporta información pero de manera segura y respaldada

FDDI (Fiber Distributed Data Interface)

Es la más reciente tecnología en redes de datos, sus características se encuentran establecidas por el estándar FDDI ANSI X3T9 de la ANSI. FDI viene a ser la interface para datos de fibra distribuida, se basa en el uso de la fibra óptica. Sus características son:

LAN paso de testigo en anillo (*Token ring LAN*)

velocidad de información: 100 Mbps

óptica: 125 Mbps (codificación 4B5B: 4 bit to 5 bit)

fibra multimodo, LED, distancia < 100 km, máximo 500 estaciones, BER < 4.10⁻¹¹

FDDI II = FDDI modificado para transportar además voz y tráfico.

FDDI especificaciones

Fibra : Multimodo Índice Gradual 62.5/ 125 mm (se admite también 50/ 125 o 100/ 140 mm)

También el estándar prevee Fibra Monomodo

Ancho de banda > 500 MHz. km @ 1310 nm

Atenuación entre nodos < 11 dB

Transmisión

LED 1300 nm

Detección

Fotodiodo PIN

potencia mínima al detector -27 dBm

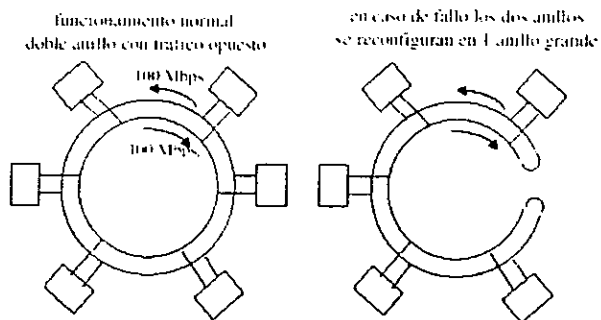


Figura 6.5 Arquitectura FDDI.

FDDI protocolo

Estaciones FDDI

Estación tipo A se conecta a ambos anillos

Estación tipo B es más barato: se conecta a un anillo

cada estación convierte la señal Opt –EI– Opt y la regenera.

optical bypass activado cuando estación fuera de servicio

Protocolo: cfr 802.5 (*token ring*) pero puede existir más de 1 testigo:

token holding timer : tiempo máximo de transmisión de 1 estación

token rotation timer : iniciado cada vez se ve el testigo

valid transmission timer : utilizado para recuperar de errores

DPRING

Protección dedicada al anillo (Dedicated Protection Ring).

Head end puente permanente

señal enviada en dos direcciones

2a ruta = respaldo permanente (protección dedicada)

Tail end : conmutador elige ruta de respaldo si ruta normal falla

No señalización requerida

SPRING

Protección compartida del anillo (Shared Protection Ring).

Señal de respaldo no enviado de manera permanente sino conmutado inmediatamente después de un fallo.

Posible ruta de respaldo compartido (shared)

por las diferentes señales

Necesita señalización (APS: Automatic Protection signalling)

Mejor utilización de las fibras

Estándares Ethernet fibra óptica

Nunca la fibra es compartida (se utiliza *hub*)

10Base- FP (Passive)

más barato (*passive hub*)

10Base- FL (Link)

para conectar repetidores

10Base- FB (Backbone)

cfr 10Base- FL pero permite conectar en cascada más repetidores (hasta 15) gracias a reloj centralizado.

CONCLUSIONES

Hemos podido observar que por sus revolucionarias características de la fibra óptica ahora constituye en la base para redes de comunicación por su inmunidad a las interferencias y a la diafonía (no se necesita blindaje), su tamaño y flexibilidad , aislamiento eléctrico (no es necesario tener tierra común), materia prima SiO_2 . Por sus ventajas en comunicación, gran ancho de banda, muy baja atenuación, larga distancia entre repetidores, calidad elevada, resistente al ambiente, peso ligero de la fibra. Las fibras ópticas son atractivas porque combinan baja atenuación con gran ancho de banda. Por eso son ideales para transportar señales a alta velocidad y a grandes distancias.

Los elementos principales de un sistema de comunicaciones por fibra óptica son:

Emisores ópticos (Transductores LED y LASER), Fotodetectores (Fotodio PIN y Fotodiodo de avalancha), Fibra óptica (Monomodo y Multimodo), Repetidores (Analogicos y Digitales), Conectores (ST,CT), Empalmes (Mecánicos, Fusión), Acopladores (en T y en estrella) y los códigos en que se pueden mandar los mensajes.

Este trabajo permite tener conocimientos básicos sobre los cuales se podrán estructurar posteriores conocimientos para la aplicación de la moderna tecnología de fibras ópticas. El futuro de la fibra óptica es como hacer redes ópticas pasivas (PON), sin conversiones eléctricas y conexiones multinodo en redes de comunicación.

GLOSARIO

Ancho de banda. Rango de frecuencias asignadas a un canal de transmisión; se corresponde a las situadas entre los puntos en que la atenuación de la señal es de tres dB. La representación gráfica de las frecuencias que componen una señal, o que pasan a través de un canal de comunicaciones, es el "espectro" de la misma.

Atenuación. Diferencia entre la potencia transmitida y la recibida a pérdidas en los equipos, líneas u otros dispositivos de transmisión (medida en dB).

Banda Base. Transmisión de la señal sin utilizar una señal portadora, usando la banda de frecuencias original.

Baudío (Baud). Unidad de medida de la velocidad de realización de una señal digital, equivalente al de estados o eventos discretos por segundo; Baudío es igual a bit por segundo caso de una codificación a dos niveles.

CCITT. (Comité consultivo internacional de telefonía y telegrafía). Organismo internacional, dentro de la UIT, encargado de establecer recomendaciones referentes a las telecomunicaciones – telefonía, telegrafía y datos - . Recientemente ha sido sustituido por el ITU-T.

Enlace punto a punto. Línea de enlace directo y fijo entre dos elementos de la red.

Ethernet. Red de área local con topología de bus y velocidad de 10Mbit/s sobre cable coaxial, que sigue la norma IEEE 802.3, utilizando el protocolo CSMA/CD.

FDDI. (fiber distributed data interface). Un estándar definido por el comité X3T9 de ANSI para enlaces a través de fibra óptica, con velocidades de hasta 100Mbits y método de acceso Token Passing.

Fibra óptica. Material utilizado como medio físico de transmisión en redes de datos, basado en sus propiedades de poca atenuación y distorsión al paso de una señal luminosa.

IEEE. (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Organismo americano responsable de determinados estándares en el campo de las telecomunicaciones; los más importantes son la definición de los niveles 1 y 2 para LAN, el algoritmo para la codificación del lenguaje PASCAL de propagación. Es miembro de ANSI y de ISO.

Interface/interfaz. Nexa de conexión - hardware o software- que facilita la interconexión / comunicación entre dos dispositivos, una interfaz permite ordenar, controlar y enviar información.

JDS (SHD Synchronous Digital Hierarchie). Jerarquía digital síncrona; define una señal de multiplexado elemental a 155 Mbit/s que será la base de la normalización europea y americana, para transmisión a través de fibra óptica.

LAN. Red de área local, que interconecta, a alta velocidad, una serie de terminales informáticos, permitiendo de esta manera la compartición de recursos.

Línea. Circuito de enlace, basado en cualquier medio físico de transmisión, que proporciona enlace entre dos elementos de la red.

PDH. La jerarquía digital plesíncrona es la presente técnica de multiplexación de alto nivel para la transmisión de señales digitales (hasta 140Mbit/s).

RED. Conjunto de recursos – nodos de conmutación y sistemas de transmisión – interconectados por líneas o enlaces, cuya función es que los elementos a ella conectados puedan establecer una conmutación.

Red de área extensa (WAN). Red que abarca un área geográfica muy extensa, tal como puede ser una ciudad, provincia o país/paises. También llamada red de área extendida.

Repetidor. Elemento que interconecta dos segmentos de una red y actúa como amplificador y regenerador de las señales. Trabaja a nivel 1 de OSI.

Señal. Representación física de caracteres o de funciones. Es la información que se transmite por una red de telecomunicaciones, pudiendo ser analógica – si toma valores continuos – o digital - si toma valores discretos -, en el tiempo.

Síncrono. Modo de transmisión de datos en el que el instante de transmisión de cada señal que representa un elemento binario está sincronizado con una base de tiempos.

SONET. El estándar de ANSI para transmisión síncrona sobre fibra óptica; su velocidad básica es 51 840 Mbits y alcanza hasta 2.5 Gbit/s, por encima de los 155 Mbit/s es equivalente a la JDS.

Testigo. (token) Paquetes de datos que circula a través de una red local y que determina que nodo puede iniciar una transmisión. Se emplea en las redes Token ring y FDDI, entre otras.

BIBLIOGRAFÍA

Comunicaciones ópticas, José Martín Sanz

ED. Paraninfo

Fiber optics communications. Lynned D. Green

ED. CRC Pres

Instalaciones de fibra óptica. Bob Chomyez

ED. Mc Graw Hill.

Sistemas de comunicaciones por fibras ópticas, Hidelberto Jardón Aguilar

ED. Alfaomega.

Todo sobre las fibras ópticas. Juan Tur

ED. Marcombo

Introducción a las fibras ópticas y el laser. Edwar L. Sanfford

ED. Paraninfo

Telecomunicación digital. Siemens

ED. Marcombo