

43
21



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Estudios Superiores
CUAUTITLAN

DISEÑO DE ENLACE PARA TELECOMUNICACION
MEDIANTE CONDUCTORES DE FIBRA OPTICA

T E S I S
Que para obtener el Título de:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P r e s e n t a:

ISRAEL CRUZ LOPEZ

Asesor: Ing. Jaime Rodríguez Martínez

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx.

1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

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

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



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Diseño de Enlace para Telecomunicación Mediante
Conductores de Fibra Óptica"

que presenta el pasante: Isael Cruz López
con número de cuenta: 8527877-2 para obtener el TÍTULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuahtitlan Izcalli, Edo. de Méx., a 13 de mayo de 1997

PRESIDENTE Ing. Jaime Rodríguez Martínez
VOCAL Ing. Francisco Rodríguez López
SECRETARIO Ing. Oscar Cervantes Torres
PRIMER SUPLENTE Ing. Juan González Vega
SEGUNDO SUPLENTE Ing. Juan Manuel Torres Herino

[Handwritten signatures and initials over the list of names]

*Cuando se desea alcanzar una meta
el obstáculo más grande que se ha
de vencer es a uno mismo.*

*Porque no hay meta ni tiempo
en que no se cumplan.*

*Por eso camina siempre adelante
y entrega a la vida lo mejor de ti
que ella te sabrá recompensar.*

¡ GRACIAS !

A Dios :

*Por estar siempre en mi camino.
Por permitirme emprender el vuelo y alcanzar la victoria.*

A mi hermana :

** Consuelo Díaz Cruz **

Mi más eterno agradecimiento por tu apoyo moral y económico, por tu sacrificio callado y desinteresado y por hacer de mí un hombre de provecho.

Nunca podré pagarte lo que has hecho por mí, por eso te dedico con mucho cariño esta tesis que para nosotros representa la conclusión de una etapa de nuestras vidas llena de sueños, sacrificios y cuyos objetivos que nos trazamos quedarán plasmados para siempre en este trabajo, como fiel testimonio de nuestro arduo esfuerzo.

Espero que esto sirva de estímulo para las demás generaciones que nos precedan en nuestra familia y luchen siempre por alcanzar sus metas sin importar los obstáculos que tengan que librar ni las penurias que puedan pasar.

¿Y porqué no ? como un testimonio para aquellas personas que no creyeron en nosotros y que siempre trataron de impedir nuestro avance, para los que pensaron que sólo era un sueño y relan de nosotros, aquí está con hechos el esfuerzo y sacrificio de los hijos de hierba.

Ing. Israel Cruz López

A mi madre:

DOLORÉS CRUZ LOPEZ

Que aunque no estuviste a mi lado físicamente sé que donde te encuentres estarás orgullosa de que haya concluido la carrera, pero lo estaras aún más de mi hermana porque supo ser madre para nosotros y porque sus objetivos que se trazo se han cumplido, así quedá saldada la promesa que te hizo de sacarnos adelante.

In Memoriam

A mi tía:

LUZ PEREZ LOPEZ

Por su apoyo moral y económico.

*A las personas e instituciones que de alguna manera participaron en mi formación profesional,
mi más eterno agradecimiento.*

Ing. Israel Cruz López

INDICE

CAPITULO 1

INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE COMUNICACION POR FIBRA OPTICA

1.1 Breve historia de la comunicación óptica	1
1.2 Estructura de la fibra óptica	2
1.3 Ventajas de la fibra óptica	5
1.4 Sistema básico de comunicación por fibra óptica	10

CAPITULO 2

PROPAGACION EN LA FIBRA

2.1 Propagación de luz en la fibra	12
2.2 Angulo de aceptación y apertura numérica (N.A.)	13
2.3 Rayos Oblicuos	15
2.4 Propagación en una fibra de índice gradual	15
2.5 Modos en una guía dieléctrica plana	17
2.6 Modos en una guía onda circular	17

CAPITULO 3

PROPIEDADES DE TRANSMISION DE LA SEÑAL ÓPTICA EN LA FIBRA

Introducción	20
3.1 Distorsión de la señal	21
3.2 Tipos de dispersión	21
3.3 Atenuación	24
3.4 Pérdidas por esparcimiento	26
3.5 Pérdidas por absorción del material	28
3.6 Pérdidas por imperfecciones geométricas	32

CAPITULO 4

FUENTES EMISORAS DE LUZ

Introducción	38
4.1 Tipos de láser	39
4.2 Diodo láser	42
4.3 Características del diodo láser	42
4.4 Características típicas de diodos emisores de luz	47

CAPITULO 5

FOTODETECTOR Y RECEPTOR OPTICO

Introducción	50
5.1 Fotodetector	51
5.2 Efectos de la temperatura en los fotodetectores	52
5.3 Receptor óptico.	52

CAPITULO 6

CABLE DE FIBRA OPTICA

6.1 Tipos de cables	55
6.2 Configuración del cable	60
6.3 Recubrimiento de la fibra óptica	62
6.4 Características del cable óptico	65
6.5 Cables para diferentes aplicaciones	66

CAPITULO 7

EMPALMES Y MEDICIONES

Introducción	74
7.1 Procedimiento de empalme	75
7.2 Medición de atenuación en fibras ópticas	81
7.3 Medición manual de atenuación	84
7.4 Medición de atenuación en forma automática	90
7.5 Medición de atenuación por medio de reflectometría	90

CAPITULO 8

DISEÑO DE ENLACE DE FIBRA OPTICA

Introducción	94
8.1 Consideraciones del enlace	96
8.2 Análisis de pérdidas en el enlace	96
8.3 Algoritmo de diseño por pérdidas del enlace	96
8.4 Análisis de ancho de banda	96
Conclusiones	109
Referencias	111

OBJETIVO

Desde su origen, los medios de comunicación han sido y serán uno de los aspectos básicos del desarrollo humano.

La comunicación a gran distancia a modificado el concepto del tiempo que separaba a los pueblos y a las mentes, y ha multiplicado las ideas dirigiendolas hacia cualquier camino capaz de ser creado por la imaginación del hombre .

La comunicación internacional constituye a la fecha uno de los pilares importantes para que un país facilite su camino hacia el desarrollo .

Varios han sido los medios que se han empleado para canalizar los servicios de telecomunicación entre países separados por grandes extensiones de agua o barreras naturales infranqueables, así aparecen el telegráfo, la radio comunicación , el teléfono, las microondas hasta llegar a los satélites artificiales .

Toda esta gama de descubrimientos han llevado al hombre al desarrollo de diferentes componentes e investigación de variados materiales con el fin de alcanzar una alta eficiencia en la transmisión de sus señales de información .

Así surge la comunicación por medio de conductores de fibra óptica, capaces de transmitir información más rápido que las ondas electromagnéticas.

Dentro de todo este marco tecnológico, esta tesis que aquí presento tiene los siguientes objetivos:

- 1.- Dar a conocer la importancia de los conductores de fibra óptica en la transmisión de señales de información .
- 2.- Conocer las partes que integran un enlace de transmisión.
- 3.- Mostrar el desarrollo tecnológico alcanzado, y los usos prácticos que se le pueden dar.
- 4.- Finalmente conocer como se lleva acabo el diseño de los enlaces de telecomunicación, que es el objetivo final de este trabajo.

Esta investigación que he realizado nos permitira conocer de una manera profunda y precisa la funcion de estos sistemas así como la forma en que se realizan los enlaces y los diferentes equipos que lo constituyen.

Para ello he dividido la tesis de la siguiente forma, del capitulo uno al capitulo siete conoceremos todos los equipos, componentes ,tipos de medición, tipos de conductores, teorías y criterios en los que se basan los enlaces. En el capitulo ocho conoceremos la conjunción de todos esos componentes ya en lo que es un enlace real y los parámetros que se deben tomar en cuenta para lograr una alta eficiencia en la transmisión de señales de información .

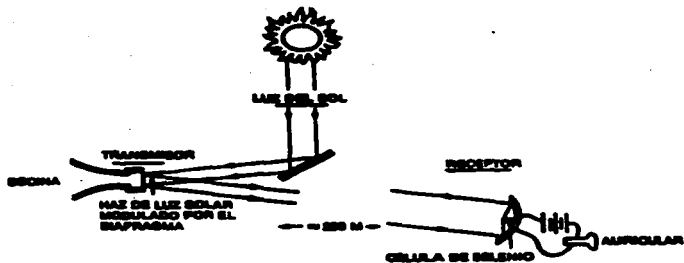
CAPITULO 1

INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE COMUNICACION POR FIBRA OPTICA .

1.1 BREVE HISTORIA DE LA COMUNICACION OPTICA

La historia de la comunicación óptica se remonta al hombre primitivo que usó comunicación visual por medio de señales manuales y de fuego. En 1084 A.C. Se usaron señales de fuego a lo largo de 800 Km para anunciar la caída de Troya. En 1609 Galileo en Italia, inventa el telescopio y en Holanda en 1626 Sneell establece la ley que lleva su nombre y que es uno de los fundamentos de la óptica moderna. En el Reino Unido Maxwell predice la existencia de las ondas electromagnéticas y 15 años después Hertz en Alemania confirma la existencia de tales onda, así como su unicidad con la luz .

La idea de transmitir información usando la luz como portadora se debe a Alexander G. Bell, quien en 1880 desarrollo en Estados Unidos el fotófono que funcionaba como teléfono óptico (ver fig. 1.1) . Como se muestra la fuente de luz empleada era el sol , con la ayuda de un espejo montado sobre un diafragma, se realizaba la modulación directamente con la voz humana. Posteriormente la señal modulada era guiada por medio de los espejos hasta el detector que se encontraba a 200 metros. El experimento de Bell demostró la posibilidad de comunicación por medio de ondas luminosas. Sin embargo, no fué posible encontrar aplicaciones prácticas debido a la falta de fuentes de luz adecuadas y de un medio de propagación estable .



***Fig. 1.1** Fotófono de Alexander Graham Bell, que usaba la luz del sol modulada por un diafragma, para transmitir palabras a un receptor ubicado a unos 200 m.

Para 1960 la aparición del primer láser hizo realidad una fuente coherente y mono cromática . Así volvió a tomar fuerza la idea de usar la luz para enviar información de un punto a otro, y se ensayaron los diferentes medios de propagación como lentes ,espejos, gas, etc. El empleo del guíaondas de vidrio parecía prometedor , sin embargo, las pérdidas de varios miles de decibels por kilómetro era una seria dificultad .

En 1966 Kao y Hockman del Reino Unido publican un artículo en el que indican que las pérdidas excesivas de las fibras de vidrio se debía a impurezas introducidas en el proceso de fabricación , por lo que la perfección de estos procesos permitiría el uso de las fibras de vidrio para transmisión a grandes distancias .

Los trabajos de Kao y sus compañeros alentaron los esfuerzos de diversos fabricantes y de este modo en 1968 Uchida de la Nippon Sheet Glass presentó la primera fibra de tipo comercial. En 1970 , Kapron de Corning Glass Company de E. U. , obtiene una fibra de silicio dopado con atenuación < 20 dB /km .

Los progresos alcanzados en la fibra, estimularon la investigación de fuentes y detectores ópticos con materiales semiconductores, por lo que en 1970 se construyó el primer láser de inyección compuesto con semiconductores AlGaAs operando en forma continua y temperatura ambiente . En 1971 , C.A. Burros da un paso importante obteniendo una fuente incoherente tipo led .

1. El año de 1976 fué pródigo en adelantos, en Japón se obtiene una fibra con atenuación de 0.5 dB/km operando en 1.3 y 1.55 μm . Se demuestran empalmes por fusión de arco eléctrico. Las fibras SiO₂ fabricadas con atenuación muy reducida, como también la predicción de mínima dispersión en 1.3 μm , ofrecían la posibilidad de lograr enlaces muy largos y con gran ancho de banda .

Por esta razón la investigación se orientó hacia la operación en la segunda y tercer ventana es decir 1.3 y 1.6 μm respectivamente. Así que en el mismo año se desarrollo el diodo láser hecho de InGaAsP/InP operando en longitudes de onda grandes y de modo continuo.

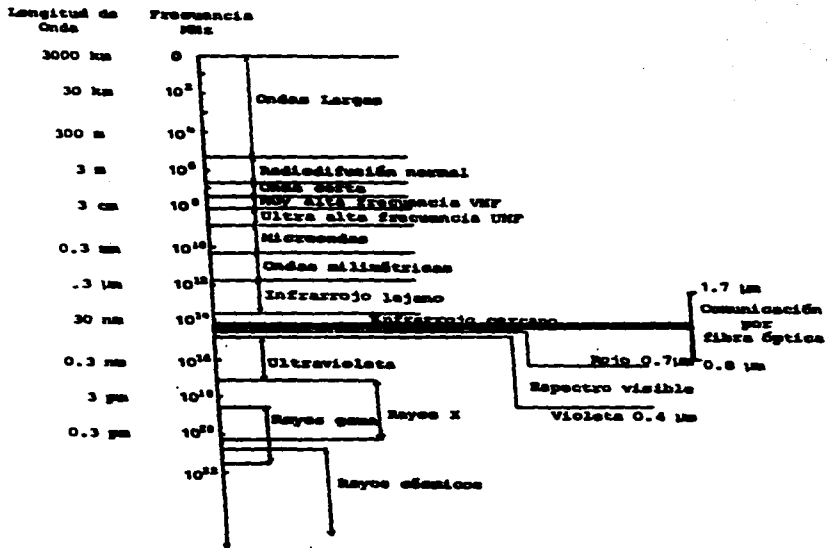


Figura 1.2 Región usada por la fibra óptica dentro del espectro radioeléctrico.

A partir del primer sistema comercial de fibra óptica instalada en Chicago E. U. , en 1977, se empezaron a desarrollar diversos sistemas y desde 1980 se incrementaron rápidamente las instalaciones , que en su mayoría usaron fibra multimodo para enlazar centrales telefónicas . Para los enlaces de gran distancia y velocidad de transmisión elevada , desde 1983 se han instalado sistemas de fibra unimodo por vía terrestre y submarina . El uso de la fibra unimodo es la tendencia reciente , y su aplicación entre centrales telefónicas es la mas común . Sin embargo, su uso en otras áreas de telecomunicaciones aún está bajo investigación .

1.2 ESTRUCTURA DE LA FIBRA OPTICA .

La fibra óptica es una guía dieléctrica circular hecha de plástico o vidrio de alta pureza (óxido de silicio con concentraciones de boro , fósforo , etc.) . La mayoría de las veces, esta formada fundamentalmente por un núcleo y un revestimiento; su diámetro es aproximado al grueso de un cabello humano, actualmente opera en longitudes de onda del infrarrojo localizadas de 0.8 a 1.7 μm . En la fig. 1.3 se muestra un cable de una sola fibra; el núcleo y revestimiento son los elementos ópticos básicos por medio de los cuales se propaga la luz ; los recubrimientos y cubierta sirven para proteger a la fibra de esfuerzos mecánicos y condiciones ambientales .

Existe una amplia variedad de cables de fibra óptica, pudiendo tener unas cuantas fibras y diámetro de 1.5 cm , como en la fig. 1.3 (b) ó hasta varios cientos de fibras y diámetro de 4 cm .

Para entender la forma como se propaga la luz dentro de la fibra, por simplicidad consideremos a ésta como una estructura plana (fig. 1.4 (c)), compuesta de núcleo con un índice de refracción n_1 y un revestimiento con un índice n_2 ligeramente menor que n_1 . No obstante que la fibra óptica está hecha de un material transparente a la luz , en la práctica se consigue que la frontera núcleo - revestimiento funcione como un espejo, reflejando los rayos de luz que son confinados a propagarse dentro del núcleo .

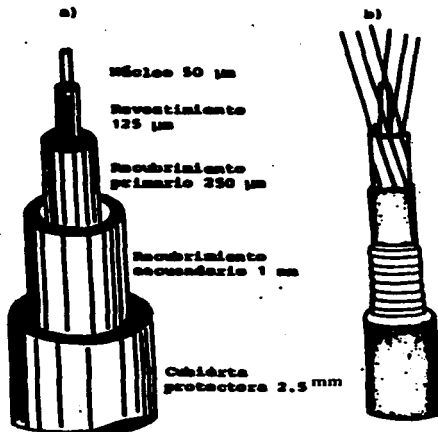


Figura 1.3 Cables de fibra óptica : a) con una fibra para planta exterior ; b) con seis fibras para planta externa.

En la fig. 1.4 se presentan los tres tipos de fibras más comunes :

- 1) índice de refracción de escalón multimodo; 2) índice de refracción de escalón unimodo ;
- 3) índice de refracción gradual multimodo .

En las fibras de índice de escalón, el núcleo es de un mismo material y su índice de refracción es constante en todo el núcleo. En la multimodo se propagan gran cantidad de modos o rayos siguiendo trayectorias en zig-zag. En la fibra unimodo, debido a sus dimensiones pequeñas teóricamente se propaga un solo modo, aunque siendo rigurosos se propagan dos modos con polarización ortogonal .

La fibra de índice gradual está constituida de un núcleo compuesto de un cierto número de capas concéntricas, cuya composición de material e índice de refracción es diferente en cada una de ellas. El índice mayor se encuentra en el centro del núcleo, disminuyendo gradualmente hacia el revestimiento y se propagan una enorme cantidad de modos en trayectorias parabólicas .

Paralelamente a la fibra se han tenido que desarrollar los elementos optoelectrónicos terminales (foto emisores y foto detectores), así como las formas de interconexión ópticas (conectores y empalmes). Esto ha permitido integrar sistemas de comunicación ópticos, obteniendo así enlaces con distancias y volúmenes de información cada vez mayores .

1.3 VENTAJAS DE LA FIBRA OPTICA .

La telecomunicación por medio de corriente eléctrica y ondas electromagnéticas, ha sustentado mucho de su desarrollo en la tecnología de líneas y guías metálicas, cuya operación ha sido hasta las frecuencias de microondas. Sin embargo, esta tecnología enfrenta algunos inconvenientes como son : saturación del espectro radio eléctrico usado, encontrando cada vez mayor dificultad con la aparición de nuevos servicios de banda ancha, el costo de las líneas metálicas tiende a incrementarse debido a la escasez de cobre su material básico , etc.

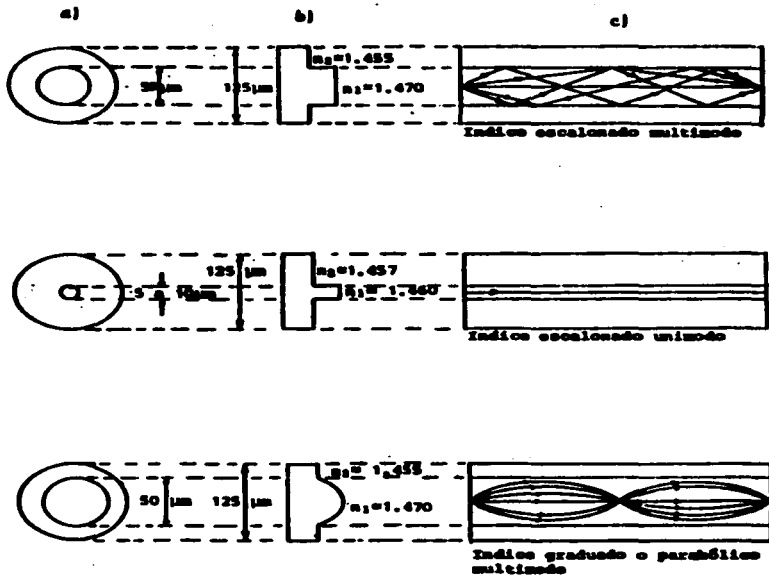


Figura 1.4 Tipos de fibras más comunes usadas en telecomunicaciones mostrando : a) Núcleo y revestimiento ; b) Perfil del índice de refracción ; c) Propagación en la fibra .

La fibra óptica ha surgido como la mejor alternativa en muchos casos de telecomunicación. Su estructura física y grado de refinamiento tecnológico, están produciendo sistemas de telecomunicación ópticos , que ofrecen la explotación de una parte del espectro menos saturado y con ventajas considerables .

La fibra óptica tiene un conjunto de características atractivas que mencionaremos a continuación :

- Pérdidas reducidas y gran ancho de banda . Esto permite disminuir el número de repetidores y también el costo por canal .
- Dimensiones pequeñas y buena flexibilidad. El transporte e instalación se pueden realizar fácilmente y a un menor costo .
- Libre de interferencias electromagnéticas (no recibe ni emite). La fibra está hecha de un material dieléctrico, por lo que se puede instalar en lugares de inducciones severas y donde se requiere seguridad como aplicaciones militares.
- Gran estabilidad con la temperatura . Puede operar satisfactoriamente en rangos de -60°C a $+60^{\circ}\text{C}$.
- Materia prima abundante . El SiO_2 que básicamente compone a la fibra , es muy abundante en la naturaleza , se puede obtener a partir de la arena de mar.
- Resistente a la radiación . Las fibras de óxido de silicio puro han demostrado esta propiedad, su principal aplicación es en centrales nucleares .
- Potencialmente bajo costo. Actualmente el cable de fibra óptica es competitivo con el cable coaxial , pero no con simples pares de cobre. Se espera que a futuro la fibra represente una solución más barata y mejor que cualquier tipo de conductor metálico .

1.4 SISTEMA BASICO DE COMUNICACION POR FIBRA OPTICA .

Los elementos fundamentales que lo integran se muestra en la fig. 1.5. El sistema esta compuesto de un transmisor terminal o fuente óptica , del medio de transmisión que es la fibra óptica y el receptor óptico terminal . La información que se propaga como señal óptica en la fibra , se degrada en función directa de la distancia que recorre. Llegando a ciertas distancias la degradación se vuelve intolerable y es necesario entonces usar repetidores que restituyen a la señal sus características adecuadas.

En el caso de transmisión analógica a través de un excitador de señal eléctrica, se modula la portadora luminosa del foto emisor donde se realiza la conversión de señal eléctrica a óptica. Los foto emisores empleados son semiconductores pudiendo ser el diodo emisor de luz (led) o el diodo láser de inyección (ILD) . El receptor terminal está formado del foto detector que transforma la señal óptica en eléctrica , por medio de foto diodos semiconductores ya sea uno de tipo PIN o de avalancha APD. La señal eléctrica que sale del foto detector se amplifica y se lleva a las etapas complementarias en la electrónica de recepción. El repetidor óptico, consiste de un receptor óptico acoplado a una fuente óptica cuya salida se inyecta a la fibra .

La interconexión óptica que se requiere, se obtiene primordialmente de conectores y empalmes . El conector produce una unión móvil a diferencia del empalme cuya unión es permanente.

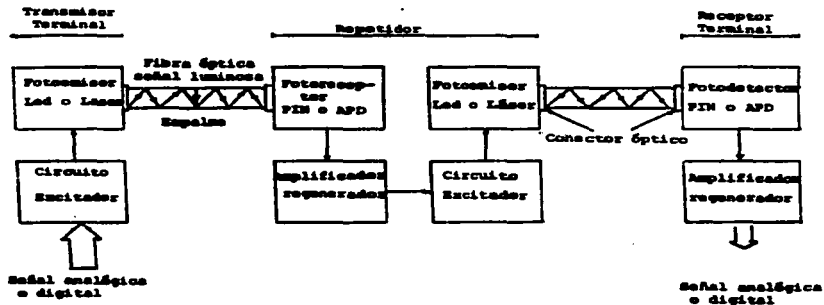


Figura 1.5 Diagrama básico de un sistema de telecomunicación por fibra óptica.

CAPITULO 2

PROPAGACION EN LA FIBRA

2.1 PROPAGACION DE LA LUZ EN LA FIBRA.

La propagación de luz en la fibra , es uno de los aspectos más relevantes en la comunicación por fibra óptica . El proceso de transmisión en la fibra es por medio de reflexiones en la frontera núcleo - revestimiento , asemejándose a la reflexión de ondas electromagnéticas dentro de las paredes de una guía de onda metálica . En el caso de la guía metálica a través de las ecuaciones de Maxwell y condiciones de frontera resulta sencillo comprender el mecanismo de propagación . Sin embargo , para la fibra óptica que funciona como una guía dieléctrica tal vez no sea tan sencillo comprender la forma como se propaga la luz dentro de la fibra , siendo ésta de un material transparente a la luz .

Para entender el mecanismo de propagación en la fibra , uno de los métodos que se pueden usar es el que está basado en la óptica del rayo , que se obtiene a partir de las ecuaciones de Maxwell . En este método destaca por su importancia la ecuación del rayo , que junto con la ley de Snell sirven para explicar la propagación tanto en una guía de índice de escalón como en una de índice gradual . El análisis se realiza considerando un rayo meridional, y a la fibra como una guía plana , esto simplifica el procedimiento y permite entender fácilmente el fenómeno físico de propagación .

La óptica del rayo tiene validez solamente cuando el ancho del haz de luz es mucho más grande que la longitud de onda empleada . Si el ancho del haz es comparable a la longitud de onda , la difracción produce una cierta divergencia y el haz de luz ya no puede ser tratado como rayo.

También es conveniente considerar que en la fibra multimodo de índice gradual, existen diminutas variaciones del índice de refracción que puede aumentar el error de la óptica del rayo. Por lo tanto el análisis por rayos de la óptica geométrica, se puede utilizar con buena precisión en fibras multimodo de núcleo homogéneo en las fibras multimodo de índice gradual el error puede ser considerable, y en las fibras de modo único el error es intolerable.

Debido a las limitaciones del análisis por rayos, se recurre al análisis por onda electromagnética, que aunque más complejo se aplica a cualquier forma de índice de refracción y de tipo de fibra.

La propagación de luz es sencilla explicarla a partir de la óptica del rayo. Esto se puede ejemplificar considerando un popote sumergido en el agua de un vaso; para el observador el popote aparentemente se dobla en la frontera aire - agua.

Sin embargo, al sacar el popote del agua se vea que este se mantiene recto. Lo que sucede es que la luz al propagarse en el aire tiene una determinada velocidad de fase, y al pasar al agua que es un medio más denso (con índice de refracción mayor), su velocidad de fase disminuye. El cambio en la velocidad se manifiesta con una variación en la dirección de propagación del rayo, fenómeno conocido como refracción que es lo que el observador aprecia.

2.2 ANGULO DE ACEPTACION Y APERTURA NUMERICA (N.A.)

Con objeto de tener reflexión interna total en la frontera núcleo - revestimiento, dentro del marco de la óptica geométrica, el ángulo del rayo incidente debe ser mayor al ángulo crítico, es decir, $\theta_i > \theta_c$. En la fig. 2.1 se observa que θ_i depende de α , el cual a su vez es función de α conocido como ángulo de aceptación y que define el ángulo cónico máximo con respecto al eje de la fibra, dentro del cual tiene que entrar la luz para que se propague a través del núcleo.

La apertura numérica N.A. es la eficiencia que tiene una fibra para aceptar o recolectar la distribución angular de la luz.

$$\theta_i > \theta_c$$



Propagación de luz en la fibra de índice de escalón para los modos de orden alto (a), de orden bajo (b).

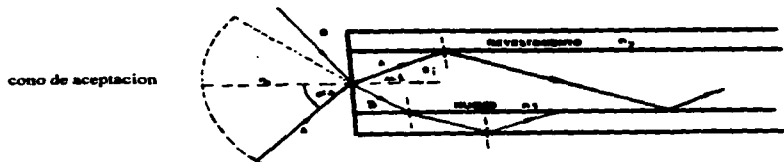


Figura 2.1 Reflexión externa total de acuerdo al ángulo de inyección de luz en una fibra de índice de escalón

La apertura numérica está relacionada con el perfil del índice de refracción, es función del tipo y concentración de impurezas dentro de la fibra . Valores pequeños de (N.A.) reducen la dispersión modal (aumenta el ancho de banda), pero aumentan las pérdidas por micro curvatura, también afecta las pérdidas por dispersión y por unión entre fibras .

Por consiguiente la A.N. es un compromiso, encontrando valores típicos entre 0.2 y 0.3 para fibras multimodo de índice gradual, para las multimodo de índice de escalón está de 0.3 a 0.6 y en el caso de las unimodo es alrededor de 0.1 .

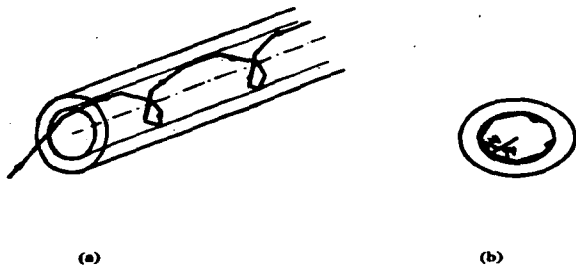
2.3 RAYOS OBLICUOS

Los rayos oblicuos son aquellos que se propagan en la fibra , siguiendo trayectorias helicoidales que no pasan por el eje de la fibra , tal como se muestra en la fig. 2.2 . La trayectoria helicoidal que toma la luz, en cada punto de reflexión cambia la dirección en un ángulo 2ψ , donde ψ es el ángulo en el punto de reflexión formado por la proyección del rayo en dos dimensiones y el radio del núcleo de la fibra . Por lo tanto , a diferencia de los rayos meridionales, el punto de salida de los rayos oblicuos de una fibra en el aire, depende fundamentalmente del número de reflexiones que ocurran en el recorrido, ya que las condiciones de inyección de luz tienen poco efecto .

2.4 PROPAGACION EN UNA FIBRA DE INDICE GRADUAL

Para conocer de la forma más simple la trayectoria que sigue la luz en una fibra multimodo de índice gradual , se recurre a la óptica geométrica . Se supone que el núcleo es un medio estratificado , es decir, está compuesto de una serie de capas hechas con material de diferente composición y por consiguiente el índice de refracción varía como se observa en la fig. 2.3 .

La aplicación sucesiva de la ley de Snell a cada una de las fronteras diferentes entre capas de la trayectoria del rayo como se aprecia es casi parabólica .



Trayectoria helicoidal de un rayo oblicuo en la fibra en su sección transversal y longitudinal.

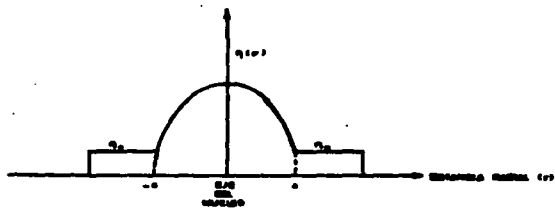


Figura 2.2 Índice de refracción parabólico

Si el índice de refracción depende sólo de la dirección y , aparece una refracción distribuida que produce ángulos de refracción α cada vez menores, llegando a un punto en el que el ángulo de incidencia θ es mayor al ángulo crítico, obteniéndose reflexión interna total que obliga al rayo a bajar en la misma forma que como sube. La reflexión total ocurre en una capa conocida como cáustica.

2.5 MODOS EN UNA GUIA DIELECTRICA PLANA

La transmisión de luz en una fibra óptica, se puede entender por medio del análisis de los modos en el guíaondas. El modo es una configuración transversal de energía óptica en la que los campos electromagnéticos forman un patrón que se propaga a una velocidad específica. Para el estudio cualitativo de propagación de modos en una fibra, el modelo más sencillo es el de un guíaondas plano como se muestra en la fig. 2.4.

2.6 MODOS EN UN GUIA ONDA CIRCULAR

El estudio de la propagación de modos en un guía ondas dieléctrico cilíndrico con núcleo homogéneo (fibra multimodo de índice de escalón), requiere la solución de las ecuaciones de Maxwell en coordenadas cilíndricas, lo cual involucra el uso de matemáticas un tanto complicadas. Ya que esto es más allá del objetivo de este trabajo, se hace solamente una breve descripción de los modos en una fibra de índice de escalón.

Los modos se pueden clasificar en :

- 1.- Modos guiados que se conocen como confinados o atrapados .
- 2.- Modos refractados denominados radiados o no guiados .
- 3.- Modos fugados .

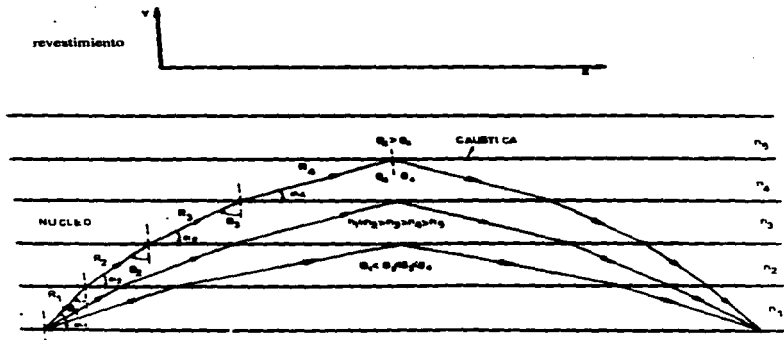


Figura 2.3 Propagación de luz en un medio estratificado que produce trayectorias curvas.

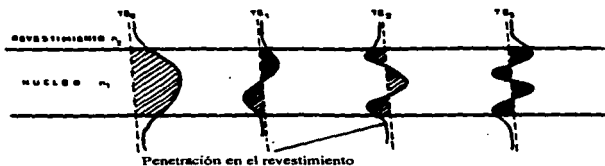


Figura 2.4 Distribución del patrón transversal eléctrico para los cuatro modos de orden más bajo en un guía ondas dieléctrico plano.

Los modos guiados son un patrón de las líneas del campo electromagnético que se repiten cada longitud de onda a lo largo de toda la fibra, estos modos están representados por aquellas ondas electromagnéticas que satisfacen la ecuación de onda y las condiciones de frontera de la fibra , por lo tanto , los modos guiados existen en un número finito y son capaces de propagarse a través de la longitud de la fibra confinados o atrapados en el núcleo , por medio de las reflexiones o rebotes en la frontera núcleo- revestimiento.

La inyección de luz en la fibra con ángulos fuera del cono de aceptación produce que la energía óptica incida en la interfase núcleo- revestimiento con ángulos menores a θ_c . En esta forma se obtiene un rayo refractado o radiado hacia el revestimiento , parte de la potencia radiada queda atrapada en el revestimiento y se conoce como modo de revestimiento.

Los modos fugados propagan la potencia óptica parcialmente a través del núcleo, la potencia restante se atenúa por efectos de radiación hacia afuera del núcleo.

PROPIEDADES DE TRANSMISION DE LA SEÑAL OPTICA EN LA FIBRA

INTRODUCCION

La señal luminosa que se propaga a través de la fibra óptica , experimenta a medida que se aleja de la fuente óptica cierta degradación en la calidad de transmisión . Esta degradación , se debe a dos características mas sobresalientes en la transmisión que son la atenuación (pérdida de potencia de la señal) y la dispersión (ensanchamiento temporal de los pulsos) , las cuales dependen de la longitud de onda empleada y aumentan en función directa a la distancia . El ensanchamiento de los pulsos restringe la tasa de transmisión y también el ancho de banda , por lo tanto ,estas dos características limitan la separación entre transmisor y receptor , la longitud máxima del enlace depende de la limitante que primero ocurra . Es deseable que la atenuación y dispersión tengan valores pequeños , lo que puede evitar el uso de repetidores con la disminución de costos correspondiente .

La atenuación y dispersión también están condicionadas por el material y proceso de fabricación . Actualmente las fibras se pueden fabricar con varios procesos , deposición de vapor externa (OVD), deposición de vapor química modificada (MCVD) , deposición axial de fases de vapor (VAD) y deposición de vapor químico por plasma (PCVD) . El refinamiento en los procesos de manufactura de la fibra , combinado con la operación en longitudes de onda determinadas , han producido fibras comerciales cuya atenuación y dispersión en algunos casos , se ha reducido a los valores mínimos que predicen los cálculos teóricos .

3.1 DISTORSION DE LA SEÑAL

La señal óptica que se propaga en la fibra , es afectada por diferentes tipos de dispersión que hacen que la señal óptica de entrada se distorsione . Esta dispersión aparece en transmisión analógica y digital , sin embargo , dado que en la práctica se ha encontrado una aplicación dominante de señales digitales , es en base a ellas que se realiza el estudio .

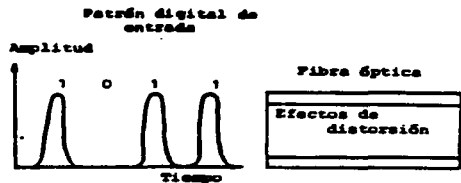
En la fig. 3.1 se observa que los pulsos digitales a la entrada de la fibra, al propagarse experimentan un ensanchamiento temporal en función directa a la longitud del guíaondas. El ensanchamiento produce traslape entre los pulsos adyacentes , lo cual en algunas ocasiones es tan acentuado que se presenta un traslape resultando pulsos indistinguibles para el receptor , así aparece la interferencia intersímbolo que puede aumentar la tasa de transmisión de error en el sistema . La dispersión limita la velocidad de transmisión y también el ancho de banda del canal de información.

3.2 TIPOS DE DISPERSION

Los mecanismos de dispersión que afectan a la señal óptica , es posible clasificarlos básicamente en dos tipos :

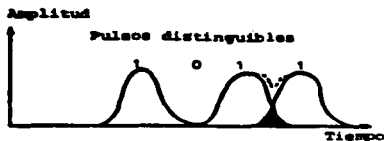
- 1) Dispersión cromática (intramodal) .
- 2) Dispersión intermodal .

Ambos tipos de dispersión se analizan a partir de la velocidad de grupo de los modos guiados , la velocidad de grupo es la rapidez con la cual la energía de un modo dado se desplaza a lo largo de la fibra .



Patrón digital de salida

a) Longitud L_1



- b) Longitud L_2 ($L_2 > L_1$)

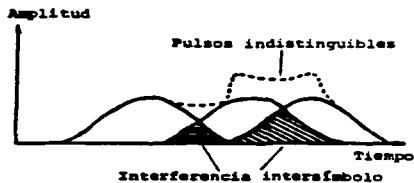


Figura 3.1 Ensanchamiento temporal de pulsos ópticos transmitidos en fibras de diferente longitud

La dispersión cromática se produce porque la velocidad de grupo de los modos guiados , depende de la longitud de onda λ . Esta dispersión aumenta con el ancho espectral $\Delta\lambda$ en que la fuente óptica emite la luz (el diodo emisor de luz tiene típicamente un ancho espectral de 40 nm, mientras que en un diodo láser es de 1 - 2 nm) . Dado que las fuentes ópticas prácticas emiten un ancho espectral determinado existen retardos de propagación diferentes entre las diversas componentes espectrales de la señal que se transmite , resultando un ensanchamiento del pulso que se transmite y la correspondiente dispersión cromática .

Esta dispersión se manifiesta en fibras multimodo y unimodo , y se origina fundamentalmente por dos causas :

- 1) Dispersión material .
- 2) Dispersión de guía de onda .

La dispersión material , se debe a que la fibra está hecha de un material dispersivo , es decir , el índice de refracción del núcleo varía en función a la longitud de onda , por lo tanto , la velocidad de grupo de cada modo es función de la longitud de onda .

La dispersión de guía de onda , se origina porque la propagación en la fibra es afectada por la variación estructural del guíaondas . Es decir , la constante de propagación modal β depende de la relación a / λ donde (a) es el radio del núcleo . La dispersión por el guíaondas puede ser importante en las fibras unimodo , sin embargo en las multimodo es despreciable .

3.3 ATENUACION

La atenuación de la señal óptica en la fibra , ha sido uno de los factores mas importantes que han hecho posible su aplicación ventajosa en telecomunicaciones . La atenuación en la fibra se debe a diferentes mecanismos de pérdida , los cuales dependen de la composición del material , del método de fabricación y de la estructura de la guía de onda , estos mecanismos de pérdida son :

- 1) Absorción del material.
- 2) Dispersión del material.
- 3) Pérdidas por radiación de la señal óptica (producidas por : curvas y micro curvaturas , acoplamiento de modos , y modos fugaces) .

También existen pérdidas en conectores y empalmes .

La tecnología de fabricación de la fibra , ha tenido uno de sus avances más notables en la reducción del contenido de impurezas en la fibra de vidrio, lo cual ha disminuido en forma extraordinaria las pérdidas por absorción . Antes de 1968 , las pérdidas por absorción de impurezas llegaba arriba de 1000 db /km , a la fecha , éstas pérdidas estan entre 0.1 y 0.2 db/ km para las longitudes de onda de 0.85 , 1.3 y 1.55 μm . El progreso en la disminución de la atenuación total de la fibra de vidrio ha sido muy notable tal como se aprecia en la fig. 3.2 . Con los métodos de fabricación mencionados , en la actualidad se tienen fibras comerciales con atenuación total de 2.2 a 3.5 db/km en 0.82 μm y 0.2 a 1.0 db/km en 1.3 y 1.55 μm .

En el cable metálico la señal de información , tiene diferentes atenuaciones de acuerdo a cada una de sus componentes espectrales ; en la guía de vidrio puede aceptarse que todas las componentes espectrales de la señal de información tienen la misma atenuación , la cual depende de la longitud de onda empleada .

La atenuación en la fibra óptica , se dá en decibels por unidad de longitud para una onda de longitud determinada. La atenuación aumenta directamente con la distancia , así que para una fibra de longitud L(km) , la atenuación total a (db km⁻¹) usando la definición de decibel está dada por :

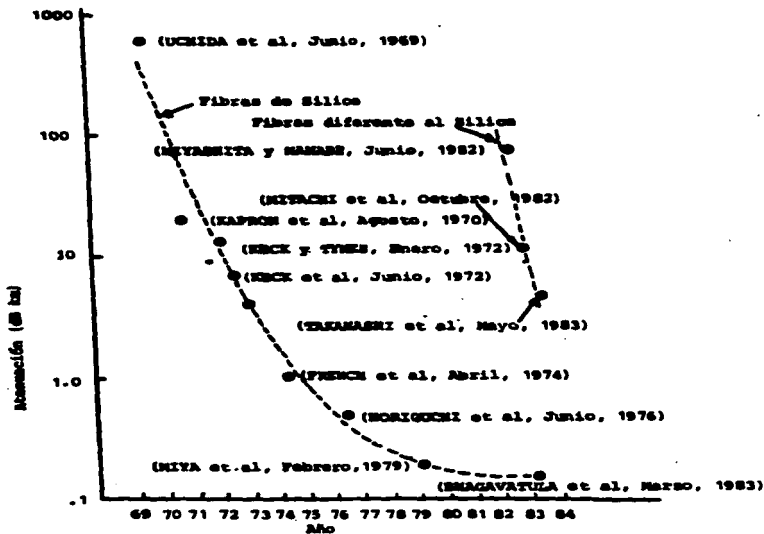


Figura 3.2 Reducción en pérdidas de fibras de óxido de silicio operando en longitudes de onda $0.63 < \lambda < 1.55 \mu\text{m}$ y fibras diferentes al óxido de silicio operando en $2.0 < \lambda < 10.0 \mu\text{m}$ (región infrarroja).

$$\alpha L = 10 \log_{10} P_e / P_s$$

..... (3.1)

donde P_e es la potencia de entrada a la fibra y P_s la de salida .

3.4 PERDIDAS POR ESPARCIMIENTO

Las pérdidas por esparcimiento se manifiestan como una transferencia de potencia de un modo que se propaga a otro modo diferente ; esto resulta en un incremento de atenuación de la señal que se transmite . Las pérdidas por esparcimiento pueden dividirse en :

- 1) lineales .
- 2) no lineales .

PERDIDAS POR ESPARCIMIENTO LINEAL

En este tipo de esparcimiento la potencia de un modo propagante se transfiere linealmente en forma total o parcial a otro modo . Como el principio es lineal , la transferencia de potencia es proporcional al modo , y también se mantiene la misma frecuencia . La potencia puede transferirse hacia un modo no propagante (fugaz o de radiación) lo cual aumenta la atenuación en la fibra . el esparcimiento lineal puede clasificarse en dos tipos :

a) **Rayleigh**

b) **Mie**

El esparsimiento de Rayleigh se debe a tres causas :

- 1) Inhomogeneidades estructurales o defecto que ocurren durante la fabricación de la fibra , se presentan como burbujas de gas atrapadas , materiales de inicio sin reaccionar y regiones cristalizadas en el vidrio .**
- 2) Variaciones en la composición del vidrio , que se origina por los cambios en la composición de los diferentes óxidos (SiO_2 , GeO_2 , P_2O_5) que forman la fibra .**
- 3) Fluctuaciones microscópicas en la densidad del material. Esto se produce porque el óxido de silicio esta compuesto de redes de moléculas conectadas caóticamente , originando regiones con diferente densidad molecular .**

La primer causa se puede disminuir mejorando los métodos de fabricación . Sin embargo , la segunda y tercer causa no se pueden evitar , provocando que el índice de refracción del vidrio varíe a lo largo de distancias pequeñas comparadas con la longitud de onda ; éstas variaciones del índice de refracción son la fuente del esparsimiento de Rayleigh que se manifiesta en casi todas las direcciones .

El esparsimiento de Mie lo producen inhomogeneidades o defectos cuyas dimensiones son comparables a la longitud de onda empleada . Lo anterior se debe a causas como : imperfecciones en la geometría de la fibra (su estructura cilíndrica , en la interfase núcleo revestimiento , variaciones de diámetro , etc.) , diferencias en el índice de refracción entre núcleo y revestimiento a lo largo de la fibra , presencia de esfuerzos mecánicos y burbujas . Las inhomogeneidades mencionadas producen el esparsimiento principalmente en dirección al receptor , cuando su tamaño es mayor a $\lambda/10$, la intensidad del esparsimiento puede ser muy grande .

El esparsimiento de Mie se puede reducir a niveles mínimos por medio del perfeccionamiento en el proceso de fabricación y cableado , como también aumentando la diferencia relativa de los índices de refracción para obtener una fibra de menor guianza .

PERDIDA POR ESPARCIMIENTO NO LINEAL

En este tipo de pérdida la potencia óptica de un modo es cedida a otros modos, la transferencia puede ser en dirección directa (receptor) o inversa (fuente). Como el fenómeno es no lineal, introduce un defasamiento en la frecuencia que resulta en un incremento de pérdidas a la longitud de onda de transmisión. El esparcimiento no lineal, generalmente se presenta en fibras unimodo largas que operan arriba de cierto umbral de potencia elevado, este esparcimiento, se puede clasificar en dos tipos principales que son el esparcimiento estimulado de Brillouin y el de Raman.

Cuando la vibración molecular térmica dentro de la fibra modula la señal óptica, se obtiene el esparcimiento estimulado de Brillouin, en el cual un fotón incidente produce un fonón de frecuencia baja y también un fotón de esparcimiento. Esto causa un defasamiento de la frecuencia que varía con el ángulo de esparcimiento, el defasamiento es máximo en la dirección inversa y cero en la dirección directa. La luz de esparcimiento se manifiesta como bandas laterales (superior e inferior), las cuales están separadas de la luz incidente por la frecuencia de modulación.

El esparcimiento estimulado de Raman es semejante al de Brillouin, la diferencia es que el primer fotón incidente produce un fonón de frecuencia alta y en el de Brillouin el fonón es de frecuencia acústica. Para una determinada fibra, el esparcimiento de Raman tiene un umbral de potencia que es aproximadamente tres órdenes de magnitud mayor al de Brillouin.

3.5 PERDIDAS POR ABSORCION DEL MATERIAL

Alguna parte de la potencia óptica que se transmite, se disipa como calor en el guiaoondas. Esto es lo que se conoce como pérdidas por absorción del material, las cuales dependen de la composición del material y del método usado en la fabricación de la fibra. La absorción se puede clasificar en cuatro tipos:

- 1) Absorción intrínseca.
- 2) Absorción extrínseca.
- 3) Absorción por hidrógeno.
- 4) Absorción por radiación.

La absorción intrínseca es originada por dos causas 1) bandas electrónicas de absorción en la región ultravioleta , y 2) bandas atómicas de vibración en la región del infrarrojo cercano . La absorción ultravioleta está relacionada con los espacios de las bandas en el material amorfo del vidrio . Esta absorción se presenta cuando un fotón interactúa con un electrón en la banda de valencia y lo excita a niveles de energía superiores .

La absorción extrínseca se produce por la presencia de impurezas en el vidrio de la fibra , este mecanismo de pérdida , es una de las causas principales de atenuación en las fibras hechas por el método de fundición directa . Las impurezas que producen la absorción son básicamente de dos tipos : iones metálicos en transición (cobre , fierro; cobalto , níquel , cromo , etc.) y iones OH o hidroxilo . En la tabla 3.3 se muestran algunos de estos iones más comunes , indicando la pérdida que tienen asociada cada uno .

Las pérdidas por hidrógeno ocurren por la filtración del hidrógeno desde la parte externa de la fibra hasta su núcleo . El cable de fibra óptica esta hecho de un material plástico que contiene átomos de hidrógeno, los cuales con el paso del tiempo y aún a temperatura ambiente , pueden descomponerse produciendo moléculas de hidrógeno , que se difunden en el interior de la fibra óptica causando un aumento en las pérdidas .

La fibra óptica hecha de óxido de silicio (puro o con óxido de germanio) cuando se somete a radiación de rayos γ , dá lugar a un defecto de absorción de luz que se traduce en un aumento en la pérdida de transmisión . Esto se presenta en la fig. 3.4 , donde también se observa la propiedad de recuperación de las fibras posterior a la radiación . La pérdida por absorción se presenta cuando la fibra se somete a radiaciones intensas como sucede dentro un reactor nuclear , durante explosiones nucleares o dentro de los cinturones terrestres de Van Allen .

	Longitud de onda pico (nm)	Una parte en 10^9 (dB km^{-1})
Cr^{3+}	625	1.6
Co^{2+}	685	0.1
Cu^{2+}	850	1.1
Fe^{2+}	1100	0.68
Fe^{3+}	400	0.15
Ni^{2+}	650	0.1
Mn^{2+}	460	0.2
V^{5+}	725	2.7

Tabla 3.3 Pérdidas por absorción causadas por algunos de los iones metálicos más comunes en vidrio

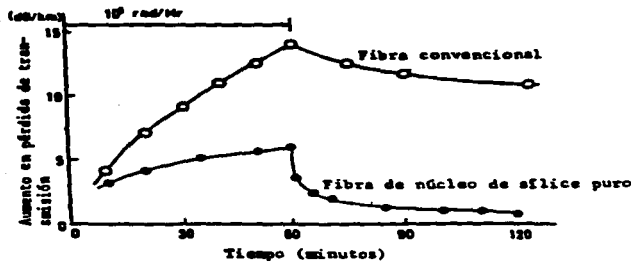


Figura 3.4 Incremento en la pérdida de transmisión por radiación de rayos γ .

La pérdida en la fibra radiada se debe a defectos o imperfecciones en la estructura atómica del vidrio de la fibra ; éstos defectos son causados por moléculas faltantes , conjuntos de alta densidad en los grupos de átomos o defectos por oxígeno . Sin embargo , estos defectos atómicos libres de radiación producen una pérdida por absorción que es despreciable comparada con las pérdidas por absorción intrínseca y extrínseca .

3.6 PERDIDAS POR IMPERFECCIONES GEOMETRICAS

Este tipo de pérdidas se producen por las imperfecciones en el material básico y en el proceso de fabricación , así como también durante la instalación del cable de fibra óptica . Esto origina que a lo largo de la fibra , aparezcan puntos de esparcimiento y fluctuación en las dimensiones, lo cual se traduce en una conversión de modos que aumentan las pérdidas y afecta el ancho de banda .

PERDIDAS POR LAS VARIACIONES EN LAS DIMENSIONES

Las imperfecciones en el proceso de fabricación de la fibra causan variación en sus dimensiones , que se manifiesta como : alteración en el diámetro , elipticidad , excentricidad , birrefringencia y micro curvaturas .

El trabajo práctico requiere que el cable de fibra óptica se empaque e instale , pudiendo resultar micro curvaturas y curvaturas. Todas las características señaladas , disminuyen la potencia óptica transmitida y tienden a modificar el ancho de banda .

Las variaciones en el diámetro generalmente se presentan simultáneamente en núcleo y revestimiento . Se producen por causas como : falta de uniformidad en las dimensiones de la varilla de inicio , insuficiente precisión mecánica del equipo de fabricación y variación en las condiciones del calentamiento . La existencia de diámetros diferentes provocan pérdidas adicionales que se deben a la conversión de potencia a modos de radiación ; también se produce acoplamiento entre modos , resultando un aumento del ancho de banda efectivo .

La elipticidad de la fibra tiene origen durante el proceso de fabricación de la preforma , aunque en algunas ocasiones también en la etapa de extrucción . La elipticidad hace que en la fibra unimodo , aparezcan dos modos ortogonales con velocidades de grupo diferentes y por lo tanto se reduce el ancho de banda . El efecto de la elipticidad en la fibra multimodo es menor , ya que el conjunto de los modos elípticos tiene un comportamiento semejante al conjunto de modos circulares .

El proceso de fabricación de la preforma la mayoría de las veces es responsable de la excentricidad de la fibra . Esta característica afecta principalmente cuando las fibras se tienen que unir y el alineamiento deficiente aumenta las pérdidas de la unión . La excentricidad del núcleo no produce cambios en la transmisión de la señal óptica .

La birrefringencia es un fenómeno que origina variaciones en la polarización y de igual manera que la elipticidad en la fibra unimodo reduce el ancho de banda . Fundamentalmente, la birrefringencia nace por la diferencia en los coeficientes de expansión térmica entre núcleo y revestimiento , aunque la inhomogeneidad del material también puede dar lugar a este fenómeno .

PERDIDAS POR CURVATURA

Las curvas en el cable de fibra óptica producen efectos de radiación que aumentan las pérdidas . Las curvaturas se localizan cuando el cable se pone en bobina y a lo largo de las trayectorias de instalación .

En este tipo de pérdidas el radio de curvatura es grande comparado con el diámetro de la fibra , y se puede entender desde dos puntos de vista .

- 1.- El rayo en la sección recta de la fibra (fig. 3.5. a) , se propaga con un ángulo θ , sin embargo , cuando entra a la curva el ángulo aumenta a θ' . Si θ' es mayor al ángulo crítico θ_c , este rayo pasa al revestimiento y se radia , lo cual implica pérdida de energía óptica . Es decir , la fibra doblada causa una conversión hacia los modos de orden alto aumentando las pérdidas de transmisión .

2.- Considere la distribución de campo eléctrico modal de la (fig. 3.5.b) , como se observa los modos reflejados en el núcleo , tienen un campo eléctrico con una cola que se desvanece en el revestimiento , el campo disminuye exponencialmente dependiendo de la distancia desde el núcleo.

Esta distribución de energía se desplaza sobre núcleo y revestimiento , así que cuando se realiza a lo largo de una curva , y con objeto de mantener un frente de onda plano , se requiere que la energía fuera del núcleo viaje con una velocidad superior a la de adentro . Por lo tanto , el extremo de la cola en la energía de revestimiento , necesita moverse con una velocidad mayor a la de la luz en ese medio . Como esto no es posible la parte de energía correspondiente al extremo mencionado se pierde por radiación produciendo una pérdida .

PERDIDAS POR MICRO CURVATURA

Cuando la fibra óptica se somete externamente a esfuerzos mecánicos , pueden aparecer en la fibra desplazamientos axiales de unas pocas micras que se conocen como micro curvaturas . Estas deformaciones suelen producirse cuando se ponen las cubiertas y cableando la fibra , al empaclarla y en la instalación .

Si la frontera entre núcleo y revestimiento no esta perfectamente recta , sino contiene algunas deformaciones , los rayos que se propagan en el núcleo se reflejan irregularmente , fig. 3.6. Como se observa algunos rayos se reflejan en ángulo diferente , dando lugar a conversión de modos . Otros rayos que inciden con ángulo mayor al crítico , se radian hacia el revestimiento . Así, el efecto de las micro curvaturas es aumentar las pérdidas y modificar el ancho de banda . Si la fibra tiene una cubierta con un material cuyo índice de refracción sea menor al del revestimiento , la potencia que se radia hacia el revestimiento es posible que se propague como modo en el revestimiento . Sin embargo , estos modos al encontrar discontinuidad a lo largo de la fibra , pueden acoplarse a los modos guiados causando una redistribución de modos.

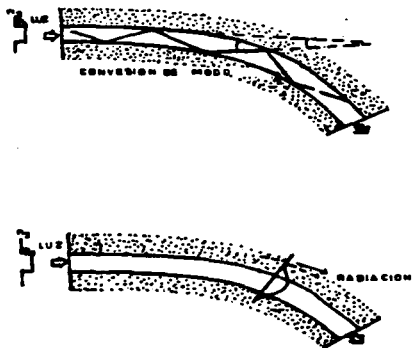


Figura 3.5 Modelos de propagación de la señal óptica en una curva de una fibra de índice de escalón . a) Conversión de modos , b) radiación

Experimentalmente se ha encontrado que las pérdidas por micro curvatura se dan por la relación :

Pérdidas por

$$\text{micro curvatura} = [\text{radio del núcleo}/\text{radio de la fibra}]^2 [1/n_a]^4 \dots\dots\dots 3.7$$

El efecto de las micro curvaturas puede ser muy importante para disminuirlo suelen tomarse una o varias de las sig. medidas :

1.- La apertura numérica tiene una influencia dominante por lo que se sugiere aumentar la diferencia entre índices de refracción de núcleo revestimiento .

2.- Aumentar la sección de la fibra .

3.- Proteger la fibra con material plástico blando (de constante de ba young) y posteriormente recubrirla con material de constante elevada de young .

La medida 3 ha resultado del estudio de protección y cableado de la fibra . Para esto se ha desarrollado una teoría en base a la viga elástica delgada . Cuando se ejerce una fuerza por unidad de longitud $f(z)$ sobre una fibra óptica , y ésta presiona una superficie plana elástica que contiene cierto grado de asperezas , (fig. 3.7) , se obtiene entre la fibra y la superficie fuerzas de contacto que no son uniformes . Por lo tanto , la fibra se dobla produciendo un desplazamiento lateral $x(z)$ en el eje de la fibra ,el desplazamiento se relaciona con la fuerza aplicada por medio de :

$$d^2 x / dz^2 = f(z) / H \dots\dots\dots 3.8$$

donde $H = EI$ es la rigidez flexional , E es el modulo de young , I es el momento de inercia .

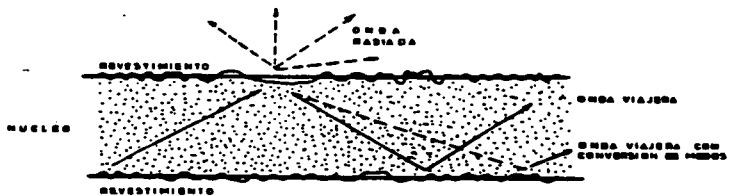


Figura 3.6 Reflexión de luz en microcurvaturas .

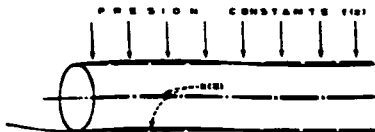


Figura 3.7 Microcurvaturas en una fibra producida por una presión

CAPITULO 4

FUENTES EMISORAS DE LUZ

INTRODUCCION

Como mencionamos anteriormente en los extremos de la fibra se necesitan dispositivos de emisión y recepción de las señales luminicas, los cuales funcionan como convertidores de la señal eléctrica en óptica (foto emisor) y de óptica a eléctrica (foto detector) . En la mayoría de los sistemas la información que se transmite por medio de la luz , se obtiene de una señal eléctrica que modula la intensidad de la fuente óptica .

Las fuentes de luz más comunes son el diodo emisor de luz led y el diodo láser . Los dos tipos de fuentes cumplen en menor o mayor grado los requisitos siguientes : tamaño reducido que permite adecuación a las dimensiones de la fibra óptica, la potencia requerida es baja , la conversión de la potencia eléctrica de entrada a la potencia óptica acoplada a la entrada de la fibra tiene una eficiencia alta ; esquema de modulación sencilla y costos razonables .

El led y el láser presentan ventajas y desventajas para una aplicación particular. Puede decirse en general que los diodos leds se usan con tasas de transmisión bajas y/o enlaces cortos y los diodos láser con tasas de transmisión altas y/o enlaces largos .

Los convertidores electro- ópticos se hacen por medio de compuestos formados de la combinación de elementos químicos del tercer , cuarto y quinto grupo de la tabla periódica. Para la emisión de luz en la ventana de 850 nm se emplean el Ga , Al y As (galio , aluminio y arsénico) , la emisión en las ventanas de 1300 nm y 1500 nm requiere adicionar In y P (indio y fósforo) . De este modo se forman compuestos como GaAs , AlGaAs y InGaAsP, la longitud de onda de emisión se puede variar por medio de las proporciones de los átomos constituyentes . En base a estos elementos químicos se forma la usual heterounión (unión compuesta de semiconductores diferentes) , a partir de la cual se hacen los diversos tipos de diodos emisores de luz .

4.1 TIPOS DE LEDS

Los dos tipos básicos de leds utilizados son de emisión de superficie y de emisión de borde (**ELED**). Los primeros se han estado fabricando desde inicios de 1970, el tipo mas eficiente se conoce como Burrus y se muestra en la fig. 4.1. Su patrón de radiación es lambertiano, es decir, la potencia disminuye de acuerdo a $\cos \theta$, donde θ es el ángulo entre la normal a la superficie y la dirección de observación. Para un emisor lambertiano el ancho total del haz para la mitad de potencia es de 120° ($\theta = 60^\circ$). Suponiendo una fibra con una $A.N. = 0.24$, tendrá un cono de aceptación con un ángulo total de 28° , por lo tanto, el acoplamiento de un emisor de superficie a la fibra óptica es muy deficiente.

El led de emisión de borde debido a su geometría de cinta tiene una emisión de tipo lambertiano en el plano paralelo θ a la unión, en el plano perpendicular θ a la radiación es mas concentrada, en la fig. 4.2 se presenta su patrón de radiación típico, este patrón permite acoplar a la fibra mayor potencia que el emisor de superficie. El **ELED** tiene potencia de salida considerable y velocidades de modulación que se aproximan al láser. Estas características hacen que los **ELED** tengan un alcance y ancho de banda mayor que el emisor de superficie. Por lo tanto, se pueden usar en enlaces de longitud y capacidad regulares, tanto en modulación digital como analógica.

Los leds que se fabrican actualmente en comparación con el diodo láser generalmente acoplan a la fibra menor potencia, siendo ésta del orden de microwatts (el acoplamiento con la fibra unimodo es tan bajo que resulta impráctico). El ancho de banda de modulación es relativamente pequeño, comúnmente menor a 50 Mhz otra desventaja es que la distorsión armónica es acentuada. Por otro lado los leds tienen características que los hacen atractivos. Si se operan de acuerdo a las especificaciones del fabricante, son muy confiables con tiempo de vida de 10^5 horas (el tiempo de vida es el lapso de tiempo que se requiere para que la potencia inicial disminuya a la mitad de su valor inicial). Es poco afectado por los cambios de temperatura, puede tolerar rangos de -30° a 85° C. Cuando aumenta la temperatura de la unión, la potencia disminuye a razón de 1% por cada grado centígrado. Su linealidad es muy buena, ideal para la aplicación de modulación analógica. La fabricación de los leds es sencilla al igual que la circuitería de alimentación, esto naturalmente hace que los costos del led sean bajos en comparación al láser.

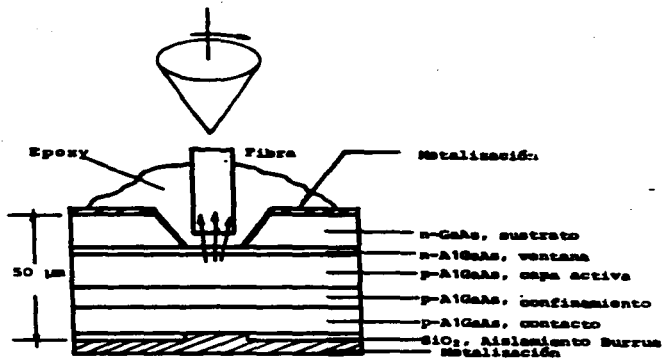


Figura 4.1 Led emisor de superficie tipo Burrus.

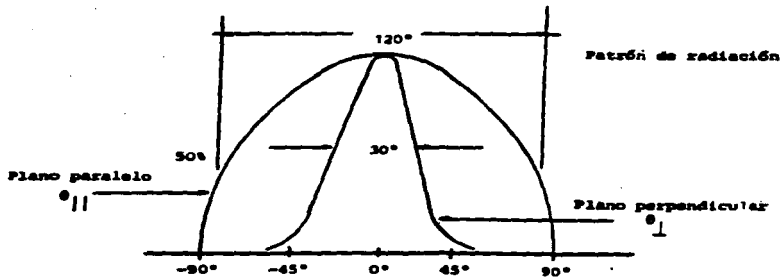
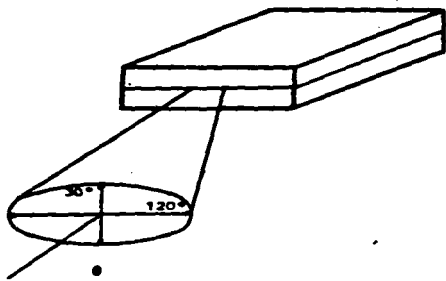


Figura 4.2 Planos de radiación de un diodo emisor de borde.

4.2 DIODO LASER

La emisión estimulada es el principio fundamental de la operación del diodo láser , el cual es una unión p-n que al polarizar directamente se inyectan cargas dentro de la región activa donde ocurre una emisión espontánea de fotones . Algunas de las cargas inyectadas son estimuladas para emitir por otros fotones , en estas condiciones si la densidad de corriente es suficientemente alta , la producción de fotones es grande y al alcanzar la corriente de umbral se inicia el efecto de oscilación láser .

La luz que emite el diodo láser es de tipo coherente , se obtiene por medio de una cavidad óptica resonante . La luz coherente significa coherencia espacial y temporal , es decir la luz es altamente monocromática y su patrón de emisión es muy direccional . Esto contrasta con la emisión incoherente del diodo láser .

El diodo láser o diodo de inyección emplea comúnmente una doble heterounión (DH) con geometría de cinta . En la fig. 4.3 se observa este tipo de estructura para emisión en la región de $0.85 \mu\text{m}$. Para operar en longitudes de onda de 1.1 a $1.6 \mu\text{m}$ se han desarrollado compuestos a base de $\text{InGaAsP} / \text{InP}$ y AlGaAsSb .

4.3 CARACTERISTICAS DEL DIODO LASER

El diodo láser es un dispositivo que opera con corriente de umbral , esta corriente esta en el rango de 30 a 250 mA para la mayoría de los diodos la corriente de operación generalmente es de $20 - 40 \text{ mA}$ arriba del umbral . En la fig. 4.4 se presentan las características de respuesta (potencia óptica de salida en función a la corriente directa de entrada) para un diodo láser típico .

Como se aprecia abajo de la corriente de umbral el láser funciona como un led (con emisión espontánea) , arriba del umbral la potencia de salida se incrementa notoriamente con la radiación estimulada del efecto láser . La potencia de salida para láseres de onda continua (C.W.) está en el orden de 1 a 10 mw , estos dispositivos se pueden conmutar (encender o apagar) a velocidades altas lo que permite gran aplicación en transmisión digital . Los láseres de pulsos que operan con ciclos de trabajo pequeños , pueden emitir picos de potencia mayores como los requeridos en un reflectómetro óptico .

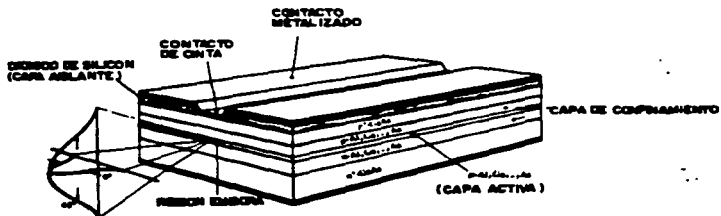


Figura 4.3 Láser de geometría de cinta DH AlGaAs.

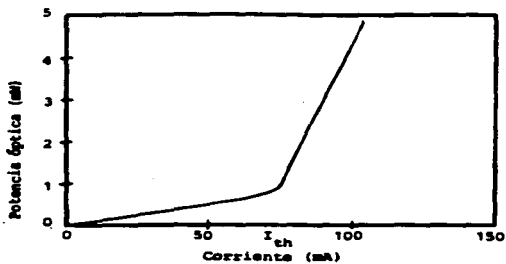


Figura 4.4 Respuesta potencia - corriente de un diodo láser.

La modulación digital de un láser , requiere polarizarlo con una corriente directa I con objeto de que la corriente este en el umbral aún cuando la corriente de señal i_s sea cero. Como se muestra en la fig. 4.5 un pulso binario de corriente de entrada produce un pulso óptico de salida , lo mismo sucede con un no pulso (cero) . Para la modulación analógica , la polarización de corriente directa I tiene que ser mayor al umbral , esto es con objeto de garantizar que la operación sea en la parte lineal de la curva característica de respuesta del láser (ver fig. 4.6) . La salida de potencia óptica varía linealmente hasta un valor de corriente que produce un rizo la respuesta potencia - corriente .

Los diodos láser son más sensibles a los cambios de temperatura que los diodos leds . Cuando la temperatura aumenta la corriente de umbral se hace mayor, aproximadamente 1.5% por grado centígrado fig. 4.7 .Por lo tanto, para una corriente constante, cuando la temperatura aumenta la potencia de salida disminuye , aumentando la posibilidad de errores en la recepción . Este problema se resuelve por medio de controladores de temperatura que por supuesto complican la circuitería y elevan el costo del dispositivo .

El tiempo de respuesta de un diodo láser es mucho mayor que un led, para un buen láser esta en el orden de 0.1 a 1 ns . La modulación analógica de un buen láser alcanza frecuencias de varios cientos de Mhz . El diodo láser representativo tiene un ancho espectral entre 1 y 5 nm , el cual es mucho menor que el de un led (40nm). Cuando la corriente de alimentación está un poco arriba del umbral, el láser produce un espectro multimodo según se aprecia en la (figura 4.8 a), los diversos picos se deben a los modos longitudinales del diodo. Cuando la corriente se aumenta el espectro al igual que los modos se reducen. Si la corriente llega a cierto nivel, el espectro tendrá solamente un modo longitudinal (ver figura 4.8 b), el ancho espectral en este caso es cercano a 0.2 nm. El diodo láser que opera en un solo modo longitudinal, es el que reduce más la dispersión cromática de la fibra, haciendo posible aumentar el ancho de banda.

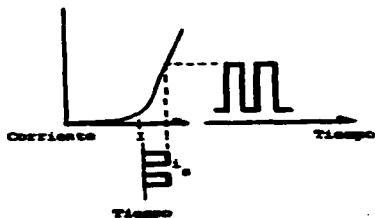


Figura 4.5 Modulación de un diodo láser

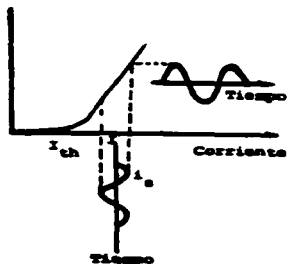


Figura 4.6 Modulación analógica de un diodo láser.

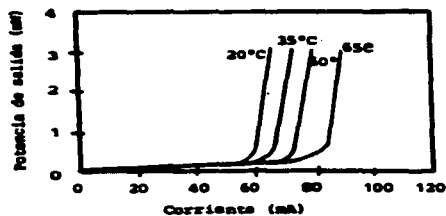


Figura 4.7 Dependencia de la corriente de umbral con la temperatura para un diodo láser.

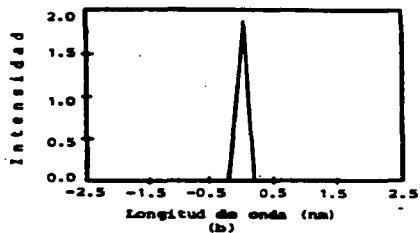
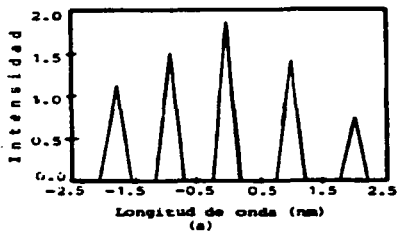


Figura 4.8 Salida espectral de un diodo láser .Operación multimodo (a) y operación de un solo modo longitudinal (b) .

La emisión óptica de un diodo láser es más direccional que la de un led (ya sea emisor de superficie o de borde). Esto permite acoplar mayor potencia a la fibra, la inyección de luz se puede realizar con fibras multimodo o unimodo. En la figura 4.9 se presenta el patrón de radiación para el láser DH - de geometría de cinta, como se muestra en el plano paralelo θ a la unión es más cerrado que el plano perpendicular θ .

El diodo láser de AlGaAs operando en onda continua tienen tiempos de vida cercanos 10^5 horas (11.4 años). Sin embargo, debe considerarse que a temperaturas elevadas la vida del diodo se reduce. Los mecanismos de degradación se pueden presentar por daño en las paredes del diodo o por deterioro gradual interno.

4.4 CARACTERISTICAS TIPICAS DE DIODOS EMISORES DE LUZ

(ver cuadro de características)

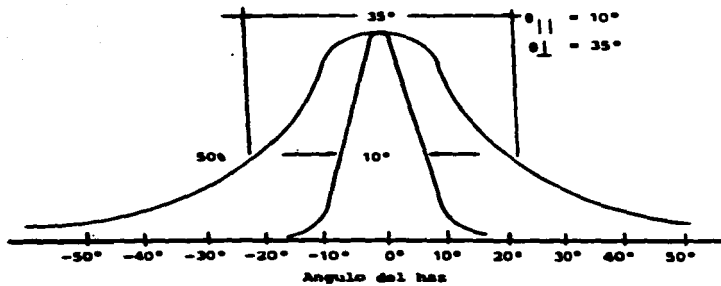


Figura 4.9 Patrón de radiación para un diodo láser típico.

CARACTERISTICAS TÍPICAS DE DIODOS EMISORES DE LUZ

PROPIEDAD	LED	DIODO LASER	DIODO LASER MODO ÚNICO
Ancho espectral (nm)	20-100	1-5	< 0.2
Tiempo de subida (ns)	2-250	0.1-1	0.1-1
Ancho de banda de modulación (MHz).	< 300	< 2000	=2000
EFiciencia de acoplamiento	Muy baja	Moderada	Moderada
Compatibilidad con la fibra	Multimodo SI ² Multimodo GRIN ³	Multimodo GRIN Modo único	Modo único
Sensibilidad a la temperatura	Baja	Alta	Alta
Complejidad de circuitaría	Simple	Compleja	Compleja
Tiempo de vida (horas)	10 ⁵	10 ⁶ - 10 ⁸	10 ⁶ - 10 ⁸
Costos	Bajos	Altos	el más alto
Uso primario	Trazos moderados tasa de datos moderada	Trazos largos, tasa de datos elevada	Trazos muy largos, tasa de datos muy elevada.
² Primera ventana de operación ³ Segunda ventana de operación.			

CAPITULO 5

FOTODETECTOR Y RECEPTOR OPTICO

INTRODUCCION

El fotodetector es un dispositivo que convierte fotones en electrones , un receptor de luz se compone de un detector óptico y de los circuitos electrónicos asociados que lo capacitan para funcionar en un sistema de comunicaciones ópticas transformando señales de frecuencias ópticas a frecuencias inferiores , con la mínima adición de ruidos indeseable y con el ancho de banda suficiente para no distorsionar la información contenida en la señal (ya sea analógica o digital) . En los sistemas de comunicación por fibra óptica , el fotoemisor realiza una función primordial , su utilización adecuada permiten optimizar la longitud y capacidad del enlace .

Comúnmente en telecomunicaciones , la detección de la señal óptica se efectúa por medio de un diodo PIN y del fotodiodo de avalancha APD. Para las comunicaciones a distancia corta y operación en longitudes de onda cercanas a $0.8 \mu\text{m}$, se recurrió fundamentalmente a los diodos pin de silicio . Sin embargo , para la comunicación de gran alcance operando en longitudes de onda próximas a $1.3 \mu\text{m}$ dá mejores resultados el fotodiodo de avalancha hecho de arseniuro de galio e indio .

La elección del fotodetector más adecuado , se basa en el tipo de aplicación y en propiedades del detector tales como sensibilidad , velocidad de respuesta , ancho de banda , ganancia , etc. El diodo PIN no tiene ganancia , el APD debido a su mecanismo de multiplicación interna si tiene ganancia .

5.1 FOTODETECTOR

Los fotodiodos de unión p-n forman uno de los grupos más importantes de sensores de luz . Esta familia incluye tanto a los dispositivos fotovoltaicos como a los sensores foto conductivos . Su funcionamiento se basa en una característica intrínseca de cualquier semiconductor , cuya unión al ser iluminada produce una pequeña corriente . La fuente de iluminación puede ser de luz visible o de luz infrarroja , sin embargo los semiconductores más comunes (germanio y silicio) tienen su máxima respuesta cerca del infrarrojo .

Cuando un haz de luz actúa sobre un semiconductor , la unión p-n siendo bombardeada por fotones cuya acción da por resultado la formación de pares electrón -hueco a ambos lados de la unión . La energía contenida en los fotones produce el desplazamiento de electrones de la banda de valencia a la banda de conducción , mientras que los huecos permanecen en estado de reposo en la banda de valencia .

Si interconectamos los dos lados de la unión a través de una carga , los electrones regresan a su estado de equilibrio recombinándose con los huecos que se encuentran al otro lado de la unión .

La descripción anterior corresponde al detector fotovoltaico en el cual se genera una corriente por una unión p-n teniendo únicamente luz como fuente de potencia externa .

Se puede lograr que el flujo de corriente aumente en gran medida conectando la unión a un voltaje externo . Si la unión es conectada a la fuente de voltaje en la posición normal , esto es, directamente el aumento en la intensidad de la corriente no es muy grande ; pero si la unión se conecta en forma inversa , la unión p-n producirá un gran flujo de corriente al percibir el haz de luz .

Debido a que en esta forma de detección la resistencia del fotodiodo decrece con la luz , a la forma de operación con polarización inversa se le conoce como modo foto conductivo y es la que se emplea en los sistemas de comunicación por fibra óptica .

Entre los diodos foto conductivos más populares se encuentran aquellos que emplean diversas clases de unión PIN . La estructura de estos fotodiodos consiste en una región con impurezas tipo P y otra región con impurezas tipo N , separadas con una región intrínseca ligeramente dopada con impurezas tipo N .

5.2 EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN LOS FOTODETECTORES

Una de las características principales de los foto detectores es que deben mantener un funcionamiento sin variaciones para condiciones extremas de temperatura .

Puesto que la razón de ionización de los electrones y huecos depende de la temperatura , el mecanismo de ganancia es también muy sensible a ésta . La dependencia se hace crítica cuando existen altos voltajes de polarización porque a pequeñas variaciones de temperatura corresponden grandes variaciones de ganancia .

Para un fotodetector de avalancha de silicio , cuando el voltaje de polarización se mantiene constante y la temperatura se decrementa , las razones de ionización se incrementarán así como la ganancia de avalancha .

Para mantener una ganancia constante sin importar los cambios de temperatura , se debe cambiar el valor del campo eléctrico en la región de multiplicación en la unión p-n . Por lo tanto , el receptor deberá poseer un circuito de compensación que ajuste el voltaje de polarización aplicado al fotodetector cuando la temperatura cambie .

5.3 RECEPTOR OPTICO

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 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 . 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 que 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 foto detectores tales como el rango de longitudes de onda de trabajo y el tipo de encapsulado deben ser considerados .

Los receptores ópticos actuales se basan en uno de los dos tipos de detectores del fotodiodo de avalancha APD y el diodo PIN , seguido de uno de los tres tipos de preamplificadores siguientes : FET (transistor de efecto de campo) , BJT (transistor de juntura bipolar) y transimpedancia . Para señales digitales binarias , el caso más común , basta con 22 db 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 30 y 65 db .

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

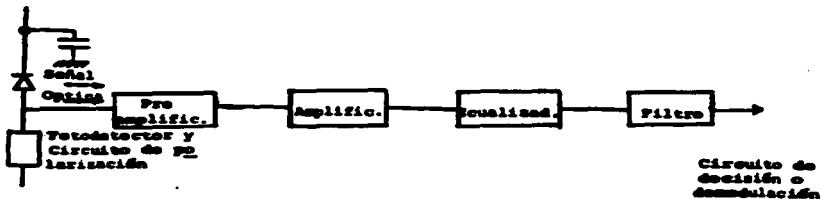
La capacidad de un receptor óptico para detectar señales de luz débiles , depende de su sensibilidad y en particular del ruido propio . Los agentes causantes del ruido son la señal óptica , el diodo en si y el circuito eléctrico que le sigue . El límite en cuanto a detección se da cuando la suma de todas las corrientes de ruido (cuántico , de la corriente de oscuridad , disparo , 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 de disparo en la corriente media de la señal .
- Exceso de ruido de disparo 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 de disparo 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 .

En la siguiente figura se muestra un esquema a bloques de las distintas partes que integran un receptor óptico .



CABLE DE FIBRA OPTICA

6.1 TIPOS DE CABLES

Para mantener funcionando satisfactoriamente un sistema de comunicación por fibra óptica , es necesario que tanto el equipo electrónico terminal como el cable óptico conserven sus características mínimas para el tiempo de vida previsto y las condiciones ambientales existentes . Así el cable óptico juega un papel primordial , por lo que su calidad y durabilidad se deben garantizar desde su fabricación , instalación y durante su operación . El cable de fibra óptica es un ensamble de una o muchas fibras , colocados dentro de materiales protectores , comúnmente las fibras forman un arreglo concéntrico o circular aunque también existen estructuras de cintas .

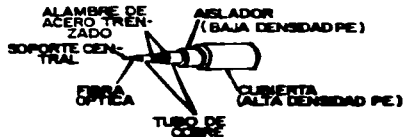
Las características fundamentales del cable son de diferentes tipos : ópticas o de transmisión , mecánicas , térmicas , químicas y de envejecimiento . Dentro de las propiedades mecánicas los esfuerzos de elongación en el cable pueden ocasionar micro curvaturas , los esfuerzos de compresión excesivos producen curvaturas . Ambos esfuerzos se traducen en pérdidas de la potencia óptica que se propaga y en caso severo se puede llegar a la ruptura total . De esta forma , los requisitos de diseño que debe llevar el cable de fibra óptica son : conservar las propiedades de transmisión durante el tiempo de vida esperado , evitar la ruptura de la fibra , configuraciones de cable pequeñas y livianas , facilidad para instalarlo e interconectarlo así como para operarlo y mantenerlo .

Si durante el proceso de fabricación aparecen fracturas en la fibra , se dificulta el cableado de la misma . Por esta razón la fibra se protege con una cubierta primaria y otra secundaria . A fin de amortiguar las fuerzas laterales , en muchas ocasiones se coloca una cubierta absorbente entre las cubiertas primaria y secundaria . En la figura 6.1. a se muestra la situación anterior donde se observa un cable mono fibra con las cubiertas plásticas comúnmente empleadas .



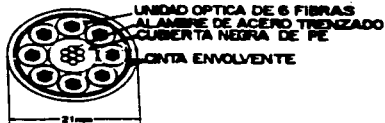
FIBRA OPTICA
 RECUBRIMIENTO PRIMARIO (GRUESO 1 a 10 μm), SILICON MODIFICADO
 CAPA AMORTIGUADORA (GRUESO 100 μm), RESINA DE SILICON
 RECUBRIMIENTO SECUNDARIO, NYLON

a) Fibra óptica recubierta.



FIBRA OPTICA RECUBIERTA
 ELEMENTO DE TENSION CENTRAL
 CINTA AMORTIGUADORA

b) Unidad óptica de 6 fibras .



c) Cable óptico de 48 fibras.

Figura 6.1 Estructuras típicas de cable optico.

En la figura 6.1 .b se tiene un cable de 6 fibras que es una configuración unitaria en capas de mucha aplicación . A partir de la configuración unitaria se obtiene el cable de 48 fibras de la fig. 6.1 .c , con una estructura en capas y por grupos .

Para disminuir las pérdidas por micro curvatura , el cable óptico debe absorber los esfuerzos laterales y también se debe optimizar en la fibra su diámetro e índice de refracción .

La elongación en el cable puede producir tensión en la fibra , esta tensión aún siendo pequeña pero aplicada durante períodos largos , ocasiona fatiga estática en la fibra que puede precipitar su rotura .

La elongación se recomienda que se evite o al menos se controle dentro de los límites permisibles durante la manufactura , instalación y operación del cable . Esto se logra colocando dentro del cable un elemento de resistencia o tensión construido de alambres metálicos y otros materiales dieléctricos resistentes (para el cable totalmente dieléctrico) .

En el caso del cable submarino de la fig. 6.1.d, los esfuerzos de tensión durante la instalación son mayores que en los cables de tierra , por lo que la estructura del cable submarino es mas resistente , previendo la enorme presión del agua así como el ataque de la salinidad entre otros factores .

A fin de reducir los efectos de la curvatura , se sugiere que los radios de curvatura del cable sean cuando menos 10 veces mayor que el diámetro exterior del cable .

El diseño y elección de un cable óptico es función de los requisitos del usuario , a partir de los cuales se determinan la estructura , las dimensiones , materiales de la fibra y recubrimientos protectores , así como materiales del cable . Estos factores deben producir las características esperadas de servicio y una optima relación costo /beneficio .

Atendiendo a la colocación de la fibra dentro del cable , existen dos estructuras de cable concéntrico :

- 1) holgada o libre
- 2) apretada pudiendo ser sólida o compacta .

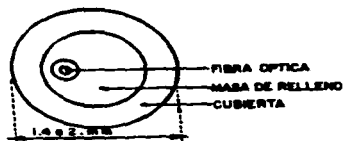
En el cable holgado la fibra se encuentra dentro de un tubo o ranura de plástico que le permite cierto movimiento radial fig. 6.2 . Con la holgura de la fibras de algunas décimas de micra se obtienen dos ventajas :

- 1) Los efectos de tracción y compresión que originan variaciones longitudinales en el cable , son absorbidos en buen grado .
- 2) Cuando se realiza un empalme o se coloca un conector al acceso de la fibra resulta sencillo. El cable holgado es una estructura básica , que sirve para obtener cables con gran capacidad de alojamientos de fibras.

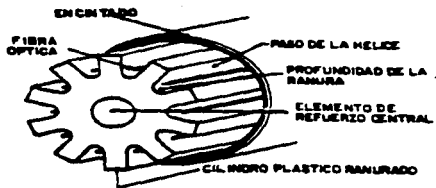
Cuando el cable óptico se encuentra en un ambiente de agua y se tiene algunas fisuras, puede haber penetración de agua hasta la fibra y con ayuda de la temperatura el agua eventualmente se congela. Esto produce un aumento de volumen que presiona longitudinalmente a la fibra y hace que aparezcan micro curvaturas con dos efectos negativos:

- 1) Aumenta la pérdida en la fibra.
- 2) Disminuye la resistencia de la fibra a esfuerzos mecánicos.

Para evitar estos efectos el cable holgado comúnmente se rellena con sustancias tixotrópicas conocidas como geles que trabajan en el rango de -30 a + 70 °C.



a) Concentrico



b) Ranurado

Figura 6.2 Cable optico holgado.

CABLE HOLGADO POR GRUPOS

El cable holgado sirve para formar estructuras de cables hasta de 14 fibras . Sin , embargo , a medida que aumenta el numero de fibras , se incrementa el diámetro exterior del cable y la complejidad del mismo . Estas inconveniencias se solucionan con la configuración por grupos fig. 6.3 , la cual consiste en una cubierta ligeramente mas grande en la que se pueden disponer de 2 a 12 fibras por grupo permitiendo esto configuraciones de cables con mucho mayor numero de fibras .

CABLE DE CONSTRUCCION SOLIDA Y COMPACTA

En la construcción sólida el recubrimiento primario de la fibra , se protege con una cubierta maciza de materiales plásticos fig. 6.4 .a .

El cable compacto fig. 6.4 b , es una combinación de los principios del cable sólido y del cable holgado con relleno . Como se observa la fibra óptica flota dentro de una cubierta deslizante con un huelgo radial de tan solo 50 - 100 μm que amortigua las deformaciones mecánicas del cable . En este cable también se reduce el diámetro externo con respecto al holgado .

6.2 CONFIGURACION DEL CABLE

El cable de fibra óptica requiere una gran confiabilidad durante el período de vida esperado , además debe cumplir las exigencias propias de cada una de las muchas aplicaciones que tiene . Por lo tanto en el cable óptico es fundamental su dimensionamiento y el uso de materiales adecuados , así como la configuración correcta . Dentro de la gran variedad de configuraciones de cables existentes , es conveniente poner atención en las características del alma del cable , del revestimiento , de la cubierta protectora y cuando se requiera de la armadura .

El elemento de refuerzo puede ser metálico o dieléctrico . En los cables ópticos con componentes metálicos , el elemento de refuerzo está hecho de acero . Cuando se requiere un cable totalmente dieléctrico se usa un elemento central de plástico reforzado con fibra de vidrio (GFK) o también hilos de aramida o kevlar .

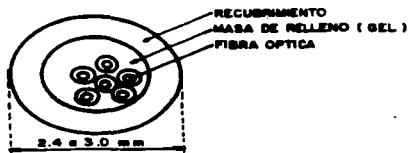


Figura 6.3 Conductor bologado por grupos

protege con una cubierta maciza de materiales plásticos figura 6.4.a.

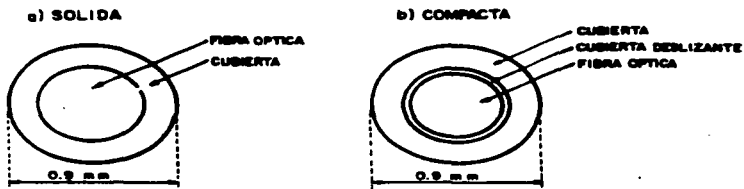


Figura 6.4 Estructuras de cable óptico.

A efecto de evitar que entre agua dentro del cable óptico , los intersticios libres del alma del cable se rellenan de petrolato . Los cables de exteriores comúnmente se rellenan en la forma mencionada, los cables interiores por lo general no requieren tal hermeticidad por lo que en vez de rellenarlos los elementos de trenzado se envuelven con capas delgadas de plástico para protegerlos y aislarlos .

En la mayoría de las configuraciones de cable óptico se emplea el trenzado por medio de capas , las cuales se colocan en torno del elemento de tensión fig. 6.5.a y b. El trenzado de las fibras es con el objeto de dar al cable flexibilidad y para proteger a las fibras de esfuerzos de tensión excesivos en las curvaturas .

En la fig. 6.5 .a , se muestra una construcción con capas en la cual varias fibras recubiertas se trenzan en torno al miembro de tensión , en esta estructura se pueden alojar hasta 10 fibras .

En (b) se muestra una configuración de una capa y por grupos que también se conoce como cable tipo unitario . La capacidad de este cable es de 10 a varios cientos de fibras , es de notarse el gran incremento en la capacidad de alojamiento que se logra con esta estructura . El cable tipo cinta se representa en (c) y tiene una alta densidad de alojamiento . Esta formado por una pila de cintas paralelas y equidistantes entre sí, cada cinta puede tener hasta 12 fibras , existiendo de 4 a un máximo de 12 cintas . Así que en el cable de cintas comúnmente se tiene una capacidad de 48 a 144 fibras . La pila de cintas forma un trenzado helicoidal que forma el alma del cable , para impedir que penetre el agua al cable se aplica petrolato en torno del alma . El cable ranurado se muestra en (d) , en lugar de trenzado , las fibras ópticas se colocan en ranuras hechas sobre el elemento central las cuales siguen una variación helicoidal en toda la longitud del cable .

6.3 RECUBRIMIENTO DE LA FIBRA OPTICA

Con objeto que a la fibra óptica (núcleo y revestimiento) se le proteja de fuerzas externas , variaciones de temperatura y sea así más confiable su manejo , se recubre con materiales plásticos . Inicialmente se pone un recubrimiento primario de silicon , uretano y epoxy . Posteriormente se coloca un recubrimiento secundario a base de resina de nylon , polietileno y poliéster elastomero .

En la práctica se ha encontrado que la fibra que da los mejores resultados es la de 3 recubrimientos . Es decir , entre el recubrimiento primario y el secundario se coloca una capa de material absorbente o separador .

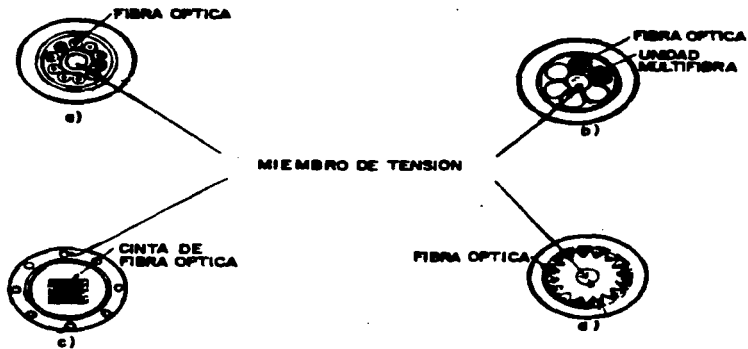


Figura 6.5 Configuraciones del cable optico. a) Con una capa , b) Con una capa y por grupos , c) cinta y d) Ranura

Las estructuras de recubrimiento se dividen en dos tipos : fibra individual y fibra múltiple . En el caso de la fibra individual la estructura de recubrimiento puede ser apretada u holgada . Para la fibra múltiple se emplean estructuras de cinta de extruccion individual . La elección del tipo de estructura depende de las ventajas que se obtengan en una aplicación particular .

CUBIERTA EXTERNA Y ARMADURA

La cubierta externa se usa fundamentalmente para proteger el alma del cable de esfuerzos mecánicos , variaciones térmicas , ataque químico y humedad externa . Eventualmente se ha de diseñar para proteger de roedores , mordidas de tiburón y grandes presiones hidráulicas en el mar , etc.

Para los cables interiores se emplea comúnmente el polivinilo de cloruro PVC . En los cables externos algunos de los materiales recomendados son el plástico fluorado propileno de perfluoretileno FEP , copolímero de perfluorralcoxl PFA , vinilacetato de etileno EVA , pocetileno aluminico laminado LAP , polietileno PE , etc.

El polietileno PE es un material termoplástico que se fabrica en 3 grados de densidad según la aplicación deseada , la cubierta de PE es de color negra .

Para alguna aplicación donde se requiere que la cubierta externa del cable sea inflamable y no contenga halógenos , es común emplear vinilacetato de trióxido de aluminio . Al incendiarse el cable , el calor de las llamas hace que el hidrato de trióxido de aluminio disocie agua . El agua y su evaporación reducen la concentración de gases inflamables y oxígeno , la temperatura desciende y se extinguen las llamas . Las cubiertas de EVA se identifican con color gris .

Cuando la aplicación del cable óptico requiere condiciones extremas de operación como protección contra roedores , cables submarinos y en minas , cables aéreos autoportantes o esfuerzos mecánicos excesivos es conveniente proteger la cubierta exterior y el alma del cable con armaduras .

La armadura se hace comúnmente de hilos de aramida (kevlar) o de acero . Los hilos de aramida se usan por lo general para mejorar la respuesta a la tracción y se colocan debajo de la cubierta .

El acero se puede usar de diferentes formas , en el caso de protección contra roedores la armadura es una envoltura de flejes de acero o bien una cubierta de capas de acero . En los cables aéreos autoportantes se usa armadura de alambre redondo a base de aluminio y acero . Para el cable submarino se emplean alambres redondos macizos de acero galvanizado .

8.4 CARACTERISTICAS DEL CABLE OPTICO

CARACTERISTICAS MECANICAS

Durante el proceso de cableado (incluyendo estirado , recubrimiento y trenzado) e instalación es dominante la fuerza de tensión . Mientras que en la operación y mantenimiento la fatiga estática y dinámica son los factores importantes .

De acuerdo con las aplicaciones , el cable óptico está sometido a diversos esfuerzos mecánicos siendo normalmente uno de ellos el más importante .

En el caso de cables aéreos , cables instalados en la cercanía de vías de ferrocarril o cables tendidos en puentes , son importantes las vibraciones mecánicas . Los esfuerzos de flexión y flexotorsión es común que se presenten en el cableado equipos móviles como sucede con los aparatos médicos . Cuando los cables son tendidos en ductos , además de los esfuerzos de tracción se pueden presentar esfuerzos transversales y ocasionalmente golpes .

Durante la instalación del cable óptico , se presentan situaciones que en cierto grado demeritan la integridad mecánica del cable , tales como : esfuerzo en la fibra debido al jalado del cable , esfuerzo en la fibra y pérdidas de señal óptica ocasionado por radios de curvatura , disminución de la resistencia de la fibra por empalmes , etc.

CARACTERISTICAS TERMICAS

El cable óptico especialmente el de uso externo está expuesto a una gran variedad de temperaturas . Las temperaturas habituales para transporte y almacenamiento es de -25°C a 70°C , durante la instalación de -5°C a 50°C y en la operación de -20°C a 60°C .

En la fibra óptica la resistencia a la tensión disminuye cuando la humedad aumenta . Por lo tanto , es deseable que el cable óptico se encuentre en ambiente seco .

CARACTERISTICAS QUIMICAS

Los agentes químicos que pueden afectar al cable óptico son comúnmente los aceites , ácidos y lejías . Estos efectos nocivos suelen aparecer en el medio ambiente de la planta externa .

6.5 CABLES PARA DIFERENTES APLICACIONES

Dentro de la amplia gama de aplicaciones del cable óptico ; se pueden distinguir 3 tipos :

- 1) Cables exteriores
- 2) Cables interiores
- 3) Cables especiales

CABLES EXTERIORES

El cable de planta externa se debe diseñar para soportar las condiciones mecánicas y ambientales extremas . Existen diferentes estructuras constructivas para satisfacer las condiciones requeridas según el tipo de norma empleada . Los cables se fabrican con una gran variedad de número de fibras , así por ejemplo existen cables con 2, 4, 6, 8, 10 y 12 fibras , otro tipo de cable puede tener 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 y 120 fibras . Un cable por grupos es posible que contenga 300 o 2000 fibras .

Una aplicación interesante del cable externo es cuando es necesario evitar el efecto de las descargas eléctricas de los rayos , de líneas de alta tensión , de potenciales eléctricos y la inconveniencia de aterrizar el cable . Estas exigencias las llena el cable óptico totalmente dieléctrico como el de la fig. 6.6 , que se usa en subestaciones de energía eléctrica y líneas de alta tensión .

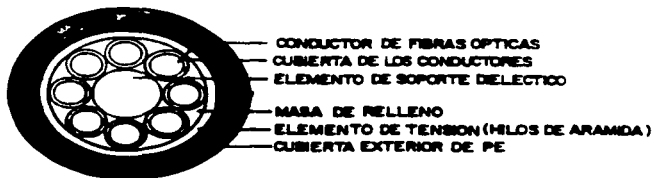


Figura 6.6 Cable totalmente dieléctrico con 8 fibras en forma de conductores huecos .

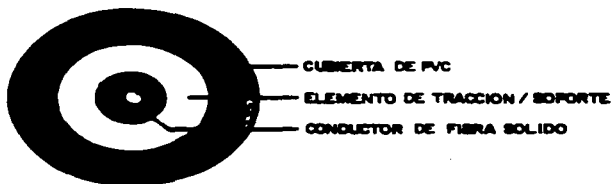


Figura 6.7 Cable interior con una fibra.

CABLES INTERIORES

Dentro de los edificios se usan cables interiores comúnmente con cubierta externa de PVC . El cable externo al llegar al edificio finaliza en una caja de empalmes distribuidora de fibras ópticas . A partir de la caja de empalmes se continua con el cable interno , el cual puede estar formado con uno o más fibras según se requiera . Se recomienda que sean iguales que las propiedades de transmisión del cable exterior e interior , de este modo se evitarán incremento de atenuación en los empalmes .

El cable de la fig. 6.7 es común encontrarlo en la caja de distribución y en el cableado de bastidores . El cable está formado por un elemento de tracción / soporte no metálico de hilos de aramida -vidrio (kevlar) la cubierta externa es de PVC de color gris y su diámetro es de 3.5 mm.

CABLES ESPECIALES

En los cables de aplicación especial se encuentra :

- 1) Cable óptico para naves marítimas y aéreas, donde es necesario que el cable sea liviano y mecánicamente estable para temperaturas extremas .
- 2) Cable para instalaciones submarinas y mineras .
- 3) Cable dieléctrico para operar en zonas de alta tensión .
- 4) Cable dieléctrico para uso militar a fin de evitar la extracción de la información por personas ajenas .

En base al área de aplicación el cable óptico tiene diferentes estructuras y propiedades específicas .
 Tabla 6.1.

TIPO DE CABLE	TIPO DE ESTRUCTURA	NUMERO DE FIBRAS	REQUISITOS
TRONCAL	CAPA UNITARIO	< 10 10 ~ 200	BAJA PERDIDA ANCHO DE BANDA GRANDE
SUBMARINO	CAPA	2 ~ 200	BAJA PERDIDA A PRESION DE PRESION HIDRAULICA A PRESION DE TENSION
ABONADO	UNITARIO CINTA	< 200 > 200	ALTA DENSIDAD , PERDIDAS MEDIAS - O BAJAS
OPICNA	CORDON CINTA UNITARIO	1 ~ 10 2 ~ 20	PESO LIVIANO DIAMETRO REDUCIDO

Tabla 6.1 Estructuras de cable óptico.

CABLE DE TRONCAL

En el cable de troncal se transmiten muchas señales multicanalizadas, por lo cual se requiere gran calidad y confiabilidad . Este cable se usa para enlaces urbanos e interurbanos y contiene desde unas pocas fibras hasta 200 fibras .Una de las aplicaciones más comunes ha sido para conectar centrales telefónicas .

En la fig. 6.8 se muestra un cable troncalero con capacidad pequeña/mediana usado en ciudades grandes o entre ciudades , el cable es de tipo unitario (por capas) con 48 fibras y 8 cuadretes de alambre metálico usados para el sistema de monitoreo y mantenimiento. Las cuerdas plásticas intersticiales sirven para llenar los espacios que no se ocupan en el cable. La estructura de este cable puede alojar fibras de índice graduado o unimodo. El diámetro externo es de 30 mm y su peso 0.75 Kg/m.

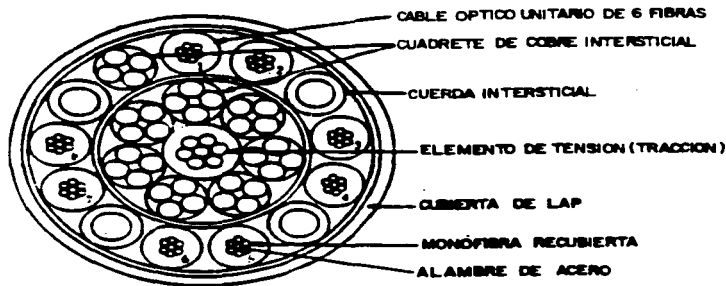


Figura 6.8 Cable óptico de troncal tipo unitario con 48 fibras.

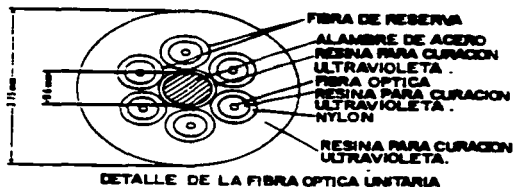
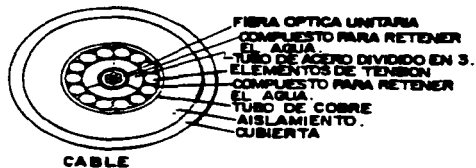


Figura 6.9 Cable óptico submarino.

CABLE OPTICO SUBMARINO

Las condiciones de instalación , recuperación y operación del cable óptico submarino, son más severas que la de los cables de tierra , por lo tanto , la estructura mecánica de los cables marinos debe ser más resistente. En la fig. 6.9 se tiene el corte transversal de un cable óptico submarino transpacífico usado en el proyecto japonés TPC- 3 . El cable es para operar a gran profundidad , por lo que los esfuerzos de tensión y presión del agua son altos , su protección adecuada se logra con una estructura multicapas formada por un tubo de acero dividido en 3 , el miembro de tensión y el tubo de cobre. El cable tiene un diámetro normal de 22 mm , su peso en el aire es de 0.9 ton/Km, la carga de ruptura mínima es 10 ton.fy su radio de curvatura mínimo es 1 m .

El cable de la fig. 6.9 tiene los parámetros siguientes : longitud máxima 8000 Km , profundidad máxima en el océano 8200 m , 3 pares de fibra unimodo operando en 1.31 μm y con un código de línea de 295.6 Mbps, la corriente de alimentación es de 1.6 A a C. D. , el tiempo de vida es de 25 años y la confiabilidad menor a 3 reparaciones . Para evitar el daño de mordeduras de animales marinos o de redes de pesca para fondo de mar , el cable de gran profundidad se protege con una cubierta de polietileno y armaduras metálicas adicionales .

CABLE OPTICO PARA ABONADO

La introducción del cable óptico en la red de abonado está condicionada a la solución de algunos inconvenientes como son : costo competitivo del cable óptico con los cables de cobre convencionales, desarrollo variado de cables para uso interno y externo , métodos de diseño y fabricación que garanticen las características de transmisión y mecánicas durante el tiempo esperado etc. El cable de abonado de una a dos fibras a más de 1000 fibras para los cables de alimentación .

En la fig. 6.10 se presentan 4 unidades de alta densidad , a partir de las cuales se forman superunidades . Con 1-3 superunidades y una estructura en capas , se obtiene un cable de 100-1500 fibras. También es posible construir un cable confiable que contenga hasta 3000 ó 4000 fibras .

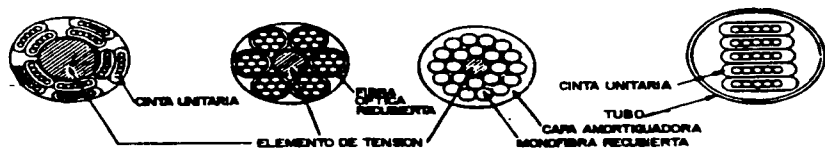


Figura 6.10 Unidades de alta densidad usadas en el cable de abonado.

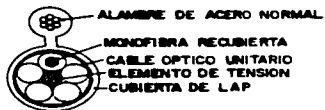


Figura 6.11 Cable óptico autooportado para abonado.

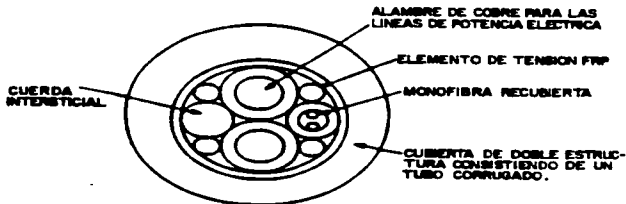


Figura 6.12 Cable compuesto de fibra óptica y líneas de potencia eléctrica.

Cuando el cable de abonado se instala en forma aérea , se usa una estructura autosoportada como se muestra en la fig. 6.11 . Este cable debe construirse para soportar curvaturas , vibraciones y cargas de tensión muy acentuadas.

CABLE DE INTERIORES Y DE LINEAS DE POTENCIA

El cable de interiores requiere propiedades especiales como permitir curvaturas pequeñas , y tener una buena respuesta a las cargas laterales y a la tensión . Es de uso común un cable monofibra tipo cordón , que consiste en una fibra recubierta que se protege con kevlar y posteriormente se aplica una cubierta externa de PVC resistente a la flama. Este cordón se diseña para soportar radio de curvatura mínimos de 4 cm , y para esfuerzos en la fibra menores al 0.5% para cargas de tensión de 10 Kgr.

Para la aplicación en carreteras o lugares de procesamiento del petróleo, se ha desarrollado un cable óptico que contine conductores de potencia eléctrica para el suministro de potencia . fig. 6.12.

CAPITULO 7

EMPALMES Y MEDICIONES

INTRODUCCION

La conexión de los elementos que integran un sistema de comunicación por fibra óptica, es una de las consideraciones importantes para una realización teórico-práctica del sistema de manera adecuada. Básicamente, la conexión se puede realizar entre fibras y entre dispositivos activos y fibras, pudiéndose realizar por medio de dos componentes pasivos: conectores ópticos y empalmes. El conector es una unión móvil que se usa cuando es necesario conectar y desconectar fibras más de una vez. Su aplicación principal es el equipo de oficina (transmisor, receptor). El empalme se usa en la planta externa, aunque también encuentra aplicación en el equipo de oficina.

El objetivo principal de acoplamiento del empalme es el alineamiento preciso de los núcleos de las fibras por unir, en tal forma, que la energía óptica se propague con un mínimo de pérdidas a través del empalme. Las pérdidas en el empalme, se pueden dividir en intrínsecas y extrínsecas. Las primeras se deben a la variación de las características propias de la fibra como: diámetro del núcleo, apertura numérica, índice de refracción, concentricidad, etc.; que dependen del proceso de fabricación. Para una fibra típica multimodo de índice graduado, el desacoplamiento entre la apertura numérica es lo que produce el mayor grado de pérdidas, seguido por el desacoplamiento entre núcleos y después el índice de refracción. Si la apertura numérica varía de 0.18 a 0.16, el peor caso de desacoplamiento (transmisión de una apertura numérica mayor a otra menor), puede producir pérdidas de 1 dB. Cuando se fabrican fibras para que tengan las mismas características, el hecho de pertenecer a lotes diferentes puede producir diferencias que suelen alcanzar 1 dB de pérdidas intrínsecas.

Las pérdidas extrínsecas se deben a la técnica de unión empleada. Se producen por terminaciones defectuosas en el extremo de la fibra , reflexiones de Fresnell , y por desalineamientos . Los desplazamientos entre núcleos de la fibra es lo que produce los desalineamientos , que pueden ser : longitudinal , transversal y angular .

Los tres tipos de desplazamiento y las reflexiones de Fresnell , introducen pérdidas que son acumulativas . Aunque estas fuentes de pérdida son algo interdependientes , sin embargo, para el mejor entendimiento de su efecto, se pueden considerar independientes . El desalineamiento transversal es más severo que el longitudinal, y el desalineamiento angular es menos crítico que los anteriores.

Para empalmar fibras individuales, se sugiere el procedimiento de la fig.7.1.

7.1 PROCEDIMIENTO DE EMPALME .

1.- DESCUBRIMIENTO DE LA FIBRA.

El descubrimiento de la fibra consiste en quitarle la cubierta plástica, dejando solo el núcleo y revestimiento. Se sugiere usar la pinza Miller 101-5 , fig.7.2 Quitar aproximadamente 40 mm de la cubierta a partir del extremo de la fibra . Debe quedar libre de los residuos de la cubierta plástica , para lo cual se puede limpiar con etanol desnaturalizado . En algún tipo de fibra el procedimiento anterior tal vez no sea efectivo . En tales circunstancias , el extremo de la fibra , se sumerge unos 40 mm en una solución de tetrametil guanidin durante 20 seg. aproximadamente, después se sumerge en agua y se agita por unos 20 seg. finalmente se quita la cubierta , cuidando que no existan residuos .

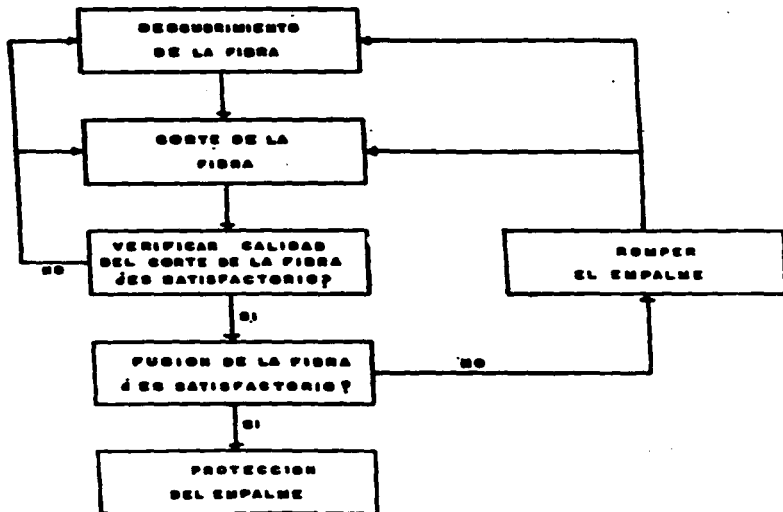


Figura 7.1 Procedimiento para empalmar fibras ópticas por fusión de arco.

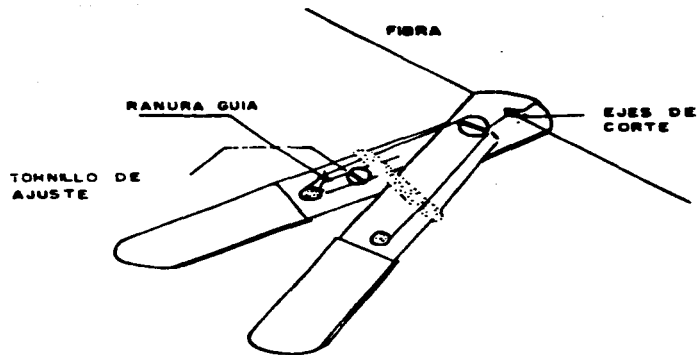


Figura 7.2 Pinzas para descubrir la fibra .

2.- CORTE DE LA FIBRA.

Antes de realizar el corte , se marca la fibra lo que se puede hacer con un rayador Fischer 11-347A, fig.7.3. Tiene un eje fino de 25 mm, de carburo de tungsteno anticorrosivo , soldado a un soporte de acero inoxidable que va unido a un mango de madero.

3.- VERIFICACION DE LA CALIDAD DE CORTE.

Colocar los dos extremos de las fibras por empalmar en la ranura en V de la máquina empalmadora , rotando la fibra, observar con el microscopio la calidad del corte fig.7.4.a.

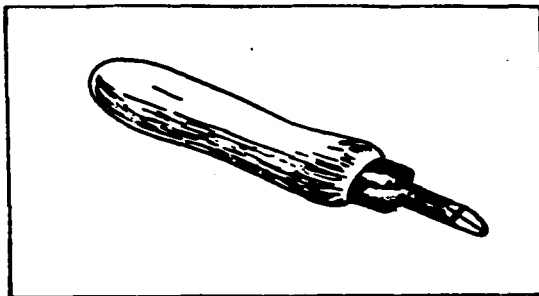
En la fig. 7.5 , se da una guía para el corte .

4.- FUSION DE LA FIBRA

Observando con el microscopio , se deslizan las fibras sobre la ranura en V hasta que sus extremos casi se toquen y queden alineados con los electrodos . Deslizandose se retira una de las fibras del área de los electrodos , fig. 7.4.b y se aplica prefusión (arco de duración corta) a la otra fibra. La prefusión sirve para prevenir el efecto dañino de la formación de burbujas de aire al realizar la fusión .

Sin embargo, la prefusión excesiva causara durante la fusión que la fibra tenga un cuello excesivo (estrangulamiento) . La fibra retirada , deslizarla hasta tocar la fibra prefusionada. Rotar las fibras para minimizar el espacio entre ellas fig.7.6.Finalmente se aplica la fusión (arco de duración mas grande) para ablandar los extremos de la fibra , la tensión superficial ara que la fibra fundida produzca una unión uniforme casi invisible .Con esto concluye el empalme que debe estar libre de cuello excesivo , burbujas de aire y fisuras . En la fig. 7.6 se da una guía para la calidad de fusión .

a)



b)

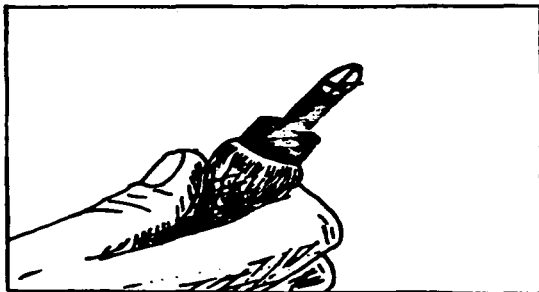
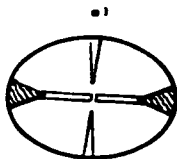
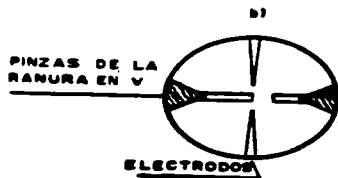


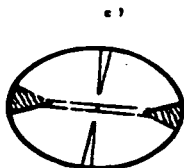
Figura 7.3 Rayador para marcar la fibra .



Alineación



Pre-fusión



Fusión

Figura 7.4 Empalme por fusión.

5.- PROTECCION DEL EMPALME

Después de la fusión , la resistencia de la fibra a la tensión disminuye . también la presencia de humedad puede provocar una disminución adicional .Para mantener la integridad mecánica del empalme y protegerlo del medio ambiente , se usa el protector de empalme, que es propiamente un encapsulado. Se han ensayado diversas formas de encapsulado, una que ha dado resultados satisfactorios, se muestra en la fig. 7.7 . Después de colocar la fibra como se indica, la mitad superior del protector se cierra y el empalme queda protegido en una estructura tipo emparedado.

7.2 MEDICION DE ATENUACION EN FIBRAS OPTICAS

INTRODUCCION

Los sistemas de comunicación por fibra óptica , tienen dos características básicas que son la atenuación y la dispersión . Ambas limitan la separación entre transmisor y receptor ; la longitud máxima del enlace será función de la limitante que primero ocurra . En la práctica , después que se ha instalado la fibra , es necesario hacer mediciones de atenuación y dispersión , con el objeto de garantizar que se cubran satisfactoriamente los objetivos previstos en el calculo teórico .

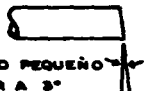
La medición de atenuación incluye las pérdidas en la fibra , empalmes y conectores , y sirven para prever el funcionamiento de los equipos terminales , así como una referencia para el mantenimiento del enlace.

La atenuación se puede medir en forma manual o automática . Los métodos manuales son los que se usan en las aplicaciones manuales de campo , por lo que se describen en detalle . Los métodos automáticos , requieren de condiciones especiales para su aplicación como es el caso del fabricante de la fibra , a manera de ejemplo se presenta uno de ellos .

EXCELENTE



ACEPTABLE



**ANGULO PEQUEÑO
MENOR A 3°**



**ASTILLA
PEQUEÑA**



**LIGERA
ONDULACION**

INACEPTABLE



**ANGULO
GRANDE**



LABIO



**ONDULACION
EXCESIVA**



ASTILLA GRANDE

Figura 7.5 Guía para la calidad del corte .

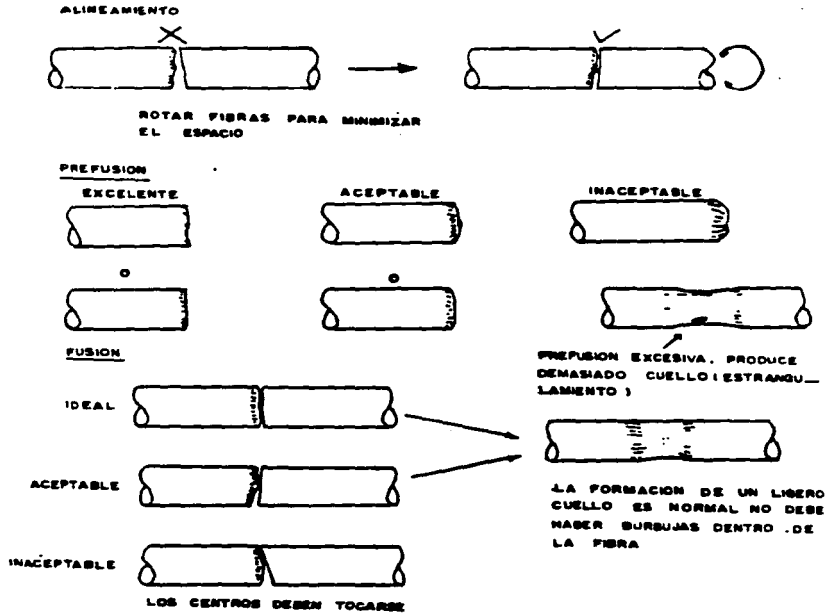


Figure 7.6 Guía para la fusión.

La potencia que originalmente se inyecta en la fibra , se propaga hacia el receptor, y se le conoce como señal directa, las condiciones prácticas de propagación en una fibra, hacen que parte de la señal directa regrese a la fuente óptica . La potencia que regresa , la componen señales de retrodispersión y reflexión . En base a lo anterior , existen dos arreglos para medir atenuación :

- 1) Técnica de los dos puntos , utiliza la señal directa y se conoce también como técnica directa.
- 2) Técnica de retrodispersión que se desarrolla en base a la señal que regresa.

La técnica directa se describe en la parte inicial y la segunda técnica al final .

Básicamente existen dos métodos para medir la atenuación en forma manual y son : Pérdida por inserción y corte regresivo . Los dos métodos utilizan para medir la potencia un receptor óptico (multímetro óptico) .

Cualquiera que sea el método utilizado (manual o automático), se deben cumplir ciertos requisitos como son :

- a) Simple y rápido sobretodo si se realiza en el campo donde las condiciones suelen ser adversas.
- b) Versátil con objeto de facilitar la interconexión con la fibra bajo prueba y al equipo asociado .
- c) suficientemente preciso para que sea confiable .
- d) La técnica de medición empleada debe ser equivalente a la del fabricante para poder contrastar ambos resultados .

7.3 MEDICION MANUAL DE ATENUACION

Para la medición manual de atenuación , generalmente se utiliza como medidor de potencia un multímetro óptico . Los valores se obtienen en decibeles dependiendo de la longitud de onda con que se transmita .

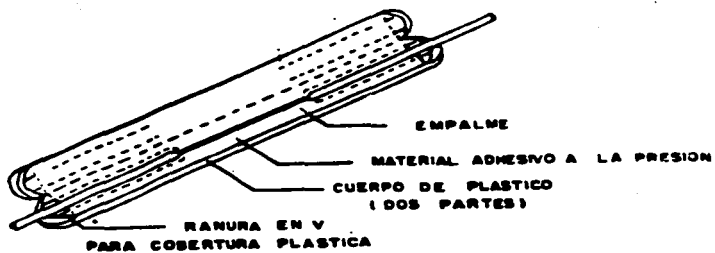


Figura 7.7 Protector del empalme .

A continuación se describen dos métodos comunes para medir atenuación, que son el de inserción y el de corte regresivo.

a) METODO DE PERDIDAS POR INSERCIÓN

El método consiste en dos mediciones, la primera en el extremo cercano que sirve de referencia y la segunda en el extremo lejano. La diferencia entre las dos mediciones da la atenuación de la fibra bajo prueba.

MEDICIÓN EN EL EXTREMO CERCANO

Conectar a la fuente de luz el mezclador de modos. El otro extremo del mezclador se empalma a 1 metro de fibra semejante a la fibra de prueba. Aproximadamente de 15 - 20 cm del extremo de la fibra empalmada realizar la extracción de modos. El tramo extra de fibra que se empalma tiene dos razones: la primera es para prevenir que se haga uso excesivo de la fibra del mezclador para la extracción de luz; la segunda es tener un empalme adicional, que igualará el número de empalmes en las dos mediciones dando mayor precisión al resultado. Conectar el tramo de fibra de 1 metro al receptor y obtener la medición del extremo cercano (fig. 8.a).

MEDICIÓN EN EL EXTREMO LEJANO

Para esta medición se abre en el punto (a) de la medición en el extremo cercano y se empalma el extremo del mezclador a la entrada de la fibra bajo prueba. En el extremo de salida de la fibra bajo prueba se realiza la extracción de luz del revestimiento y se conecta al receptor (fig. 8.b). En estas condiciones se obtiene la medición en el extremo lejano.

El método en sí introduce un pequeño error que consiste en la diferencia de atenuaciones entre los empalmes de la medición en extremo cercano, y la del extremo lejano. Comúnmente es inferior a una décima de dB.

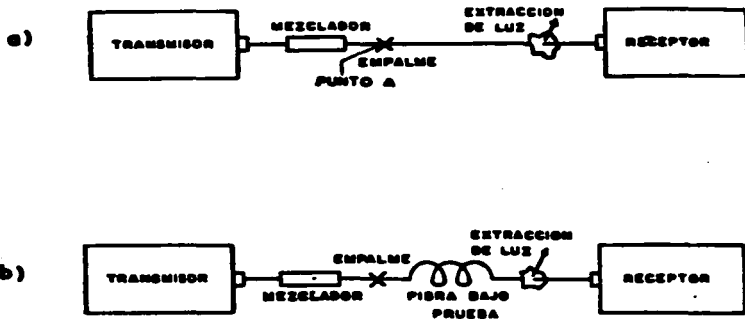


Figura 8.8 Medición de atenuación por el método de pérdida de inserción a) Para extremo cercano b) para extremo lejano .

En el método de pérdida por inserción , es importante tener presente que la conexión mas sensible es en el transmisor y no debe perturbarse en el lapso de tiempo que se realiza la medición de extremo cercano y extremo lejano. En caso contrario, se debe efectuar nuevamente la medición en el extremo cercano que sirve de referencia .

b) METODO DE CORTE REGRESIVO

En el método de corte regresivo se realizan dos mediciones , la primera en el extremo lejano y la segunda en el extremo cercano . La diferencia entre las dos mediciones da la atenuación de la fibra bajo prueba . Comparando con el método de pérdidas por inserción el orden de las mediciones se invierte.

MEDICION EN EL EXTREMO LEJANO

Uno de los extremos del mezclador se conecta al transmisor , y el otro se empalma a la entrada de la fibra bajo prueba. En el extremo de salida de la fibra bajo prueba se realiza la extracción de luz del revestimiento , conectándose posteriormente al receptor y se obtiene la medición en el extremo lejano fig. 9.a .

MEDICION EN EL EXTREMO CERCANO

En este caso, se corta la fibra en el punto (a). se realiza la extracción de luz y se conecta al receptor para efectuar la medición en el extremo cercano fig. 9.b.

La técnica de corte regresivo es más precisa que la de pérdida por inserción. Tiene el inconveniente que al hacer el corte en la medición del extremo cercano, se pierden algunos centímetros de la fibra bajo prueba , esto puede llegar a ser un problema cuando la fibra no tiene suficiente longitud .

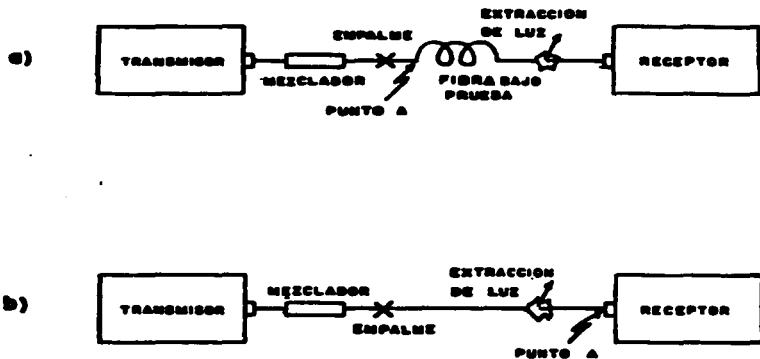


Figura 7.9 Medición de atenuación por el método de corte regresivo a) para extremo lejano b) para extremo cercano .

7.4 MEDICION DE ATENUACION EN FORMA AUTOMATICA

Los métodos automatizados para medir atenuación, se desarrollan cuando es necesario medir la atenuación de un gran número de fibras en poco tiempo. Esta situación se presenta generalmente en las empresas que manufacturan el cable de fibras ópticas, quienes implementan métodos, que se adapten a los requerimientos del tipo de cable y fibras que fabrican.

Para la medición de la atenuación se realizan dos pasos:

- 1.- Inicialmente se toma una medición de potencia de referencia, lo que se obtiene insertando un metro de cable de cinta. Esta medición se realiza para cada una de las fibras, registrando los resultados correspondientes.
- 2.- El cable de cinta por medir se inserta en lugar del cable de referencia, y se mide la potencia de recepción asociada a cada fibra. La diferencia en dB entre la lectura 2 y la 1 da la atenuación en la fibra.

Para comprobar la exactitud del método, se midió la atenuación de una misma fibra 10 veces, obteniéndose una desviación standard de 0.04 dB. Comparando el método automatizado con el método manual de dos puntos, en el primero resulta una atenuación mayor con valor promedio de 0.14 dB. Con el método automatizado expuesto, se pueden medir un cable con 144 fibras en una hora con una precisión de ± 0.4 dB. Para medir el mismo cable con el método manual de dos puntos, se requiere aproximadamente 24 horas.

7.5 MEDICION DE ATENUACION POR MEDIO DE REFLECTOMETRIA

Usando principios de reflectometría se puede medir la atenuación en una fibra óptica, también se pueden localizar fallas, así como medir la pérdida que introducen discontinuidades como conectores, empalmes, fisuras, etc.

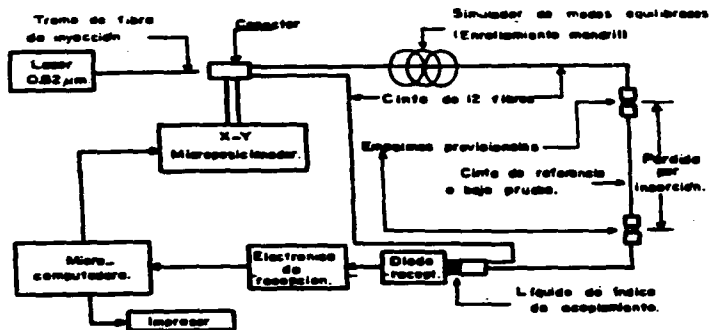


Figura 7.10 Medición de atenuación en forma automática .

La medición de atenuación se realiza con un reflectómetro óptico en el dominio del tiempo RODT, con el que se determinan indirectamente las pérdidas como una función de la longitud de la fibra, la cual se calcula por medio de mediciones de la diferencia temporal en el recorrido de la señal directa y la reflejada compuesta. La señal reflejada compuesta esta formada de las señales de reflexión y retrodispersión.

a) REFLECTOMETRO OPTICO

El principio de operación del RODT es semejante al del radar. Como se observa en la fig. 7.11 consiste de un foto emisor (láser) que envían pulsos periódicos de corta duración < 20 nseg. a uno de los extremos de la fibra bajo prueba. Parte de la energía de los pulsos regresa al mismo punto de entrada, con la ayuda de un acoplador direccional, la señal que regresa se detecta y se muestra en una pantalla de osciloscopio fig. 7.12 La amplitud de la señal de reflexión compuesta depende de la pérdida de la señal como se observa en el eje vertical, en el eje de tiempo se representa la longitud de la fibra. En este caso se ha supuesto que en la fibra existe un empalme. Los extremos de entrada y salida de la fibra serán por los puntos a y b respectivamente. Cuando el extremo de salida de la fibra está abierta, se obtiene una fuerte reflexión que se caracteriza por que la señal de reflexión compuesta cae a la línea base del osciloscopio como sucede también en el caso de una rotura total en la fibra.

Cuando la luz de la señal directa se propaga en la fibra, encuentra fluctuaciones microscópicas del índice de refracción que se deben a impurezas moleculares del proceso de fabricación en la fibra. Esto provoca dispersión de la luz en todas direcciones, resultando que una pequeña cantidad pequeña de la luz dispersa se propaga hacia atrás, es decir en dirección del foto emisor. Esta señal se atenúa en la misma forma que la señal directa, por lo tanto la señal de retrodispersión que aparece en el osciloscopio sirve para determinar atenuación en la fibra, además de localización de fallas y pérdidas por discontinuidades.

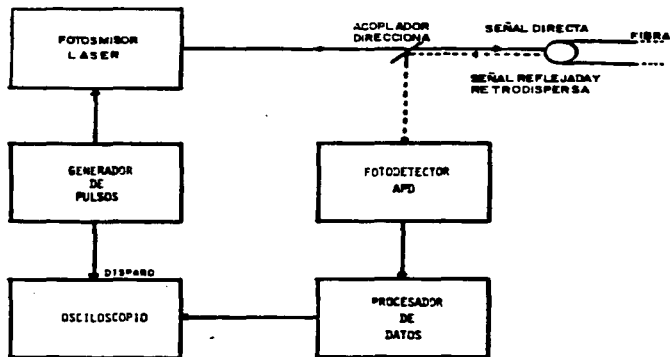


Figura 7.11 Diagrama básico de un RODT.

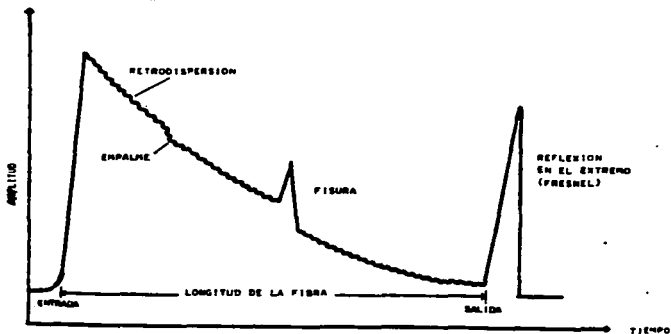


Figura 7.12 Señal que regresa como se observa en un RODT.

DISEÑO DE ENLACE DE FIBRA OPTICA

INTRODUCCION

El diseño del enlace se reduce a satisfacer a un costo mínimo las necesidades del usuario , las cuales pueden variar según el tipo de servicio o aplicación requerida . En el análisis del enlace se consideran fundamentalmente las características siguientes .

1. Distancia del enlace .
2. Relación señal a ruido SNR (para transmisión analógica) .
3. La tasa de datos o ancho de banda (para transmisión digital) .
4. La tasa de bits erróneos (BER) (para transmisión digital).

Las 3 últimas características dependen de la aplicación deseada tal como se muestra en la fig. 8.1 .

En el cálculo del enlace óptico , se interrelacionan básicamente los componentes electro-ópticos (foto emisor y foto detector) y la fibra incluyendo desde luego las características de cada uno de ellos .

El procedimiento de diseño es iterativo , llegando a su fin cuando se satisfacen plenamente los requisitos técnicos del diseño , así como las limitaciones económicas y de infraestructura del usuario . Todo esto dentro de los tiempos de vida esperados en el equipo .

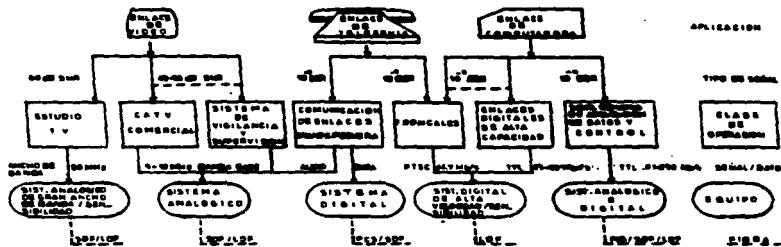


Figura 8.1 Características de la señal para diferentes aplicaciones de fibra óptica.

La longitud máxima del enlace tiene dos limitantes que son atenuación y dispersión , por lo tanto , el diseño del enlace consiste básicamente del análisis de dos puntos a saber :

1. Presupuesto de potencia
2. Análisis de ancho de banda (dispersión).

8.1 CONSIDERACIONES DEL ENLACE

Antes de realizar el análisis del presupuesto de pérdidas y de ancho de banda se debe seleccionar la longitud de onda de transmisión . El criterio general es que cuando la distancia del enlace sea corta la λ empleada sea en la primer ventana de operación o sea de 800 a 900 μm . Si la distancia de transmisión es grande la atenuación y dispersión pueden ser grandes , por lo tanto ,se sugiere la operación en 2ª y 3ª ventanas es decir , en λ alrededor de 1.3 y 1.5 μm , donde se pueden optimizar las pérdidas y la dispersión .

El siguiente paso consiste en interrelacionar los tres subsistemas (receptor , transmisor y fibra) para la longitud de onda seleccionada. Normalmente el procedimiento que se sigue es seleccionar el foto detector en base a los requisitos de diseño . Posteriormente se escoge el foto emisor y se calcula si con un tipo específico de fibra es posible realizar el enlace . De no ser así se hace una nueva selección de componentes y se calcula la posibilidad del enlace , el proceso puede continuar hasta satisfacer las condiciones de diseño. En la fig.8.2 se muestra la relación entre las características funcionales de los tres subsistemas y los requerimientos del usuario .

Para el caso de un enlace digital , el foto detector se escoge de tal forma , que su sensibilidad permita que para una tasa de transmisión dada , la potencia óptica mínima que incide en el foto detector satisfaga la tasa de error (BER) requerida . El foto diodo PIN en comparación con el foto diodo de avalancha APD, es más sencillo . Más estable con los cambios de temperatura y más barato .

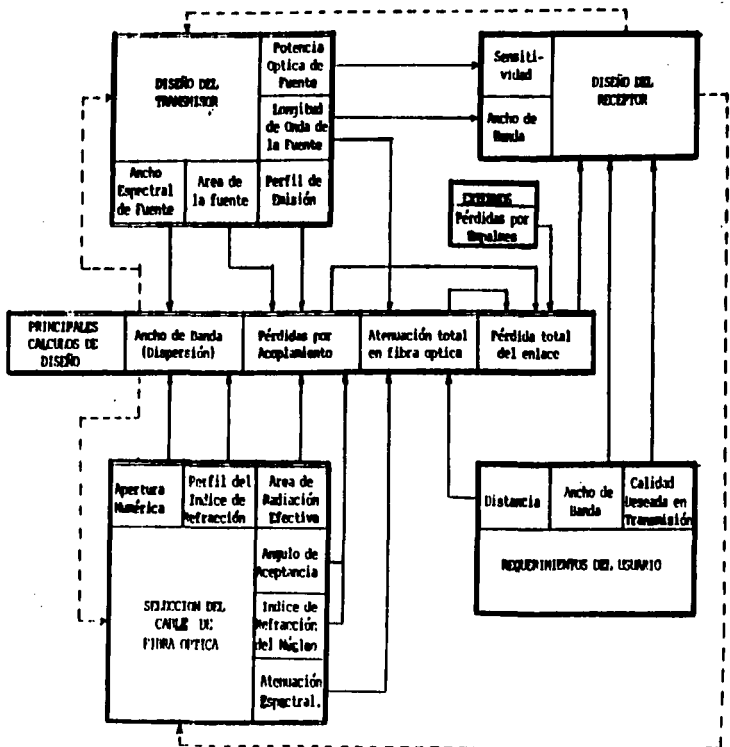


Fig. B.2 DIAGRAMA A BLOQUES PARA LA SELECCION DE UN SISTEMA DE TRANSMISION POR FIBRA OPTICA

El voltaje de polarización en el foto diodo PIN generalmente es bajo < 50 volts , mientras que en el foto diodo de avalancha es alto > 100 volts .

Sin embargo , el APD tiene una sensibilidad mayor que hace que sea preferido cuando los niveles de potencia óptica son muy bajos .

La selección del foto emisor (Led o láser) se realiza considerando que el led es menos afectado por cambios de temperatura , su circuitería asociada es más simple , su linealidad es mejor y su costo es inferior .

Por otro lado el láser tiene un ancho espectral menor , obteniéndose en la fibra una dispersión reducida y la posibilidad de tasas de transmisión - distancia > 150 Mbit/seg. km en la ventana de 800 - 900 nm . En el caso del led esto no es posible , teniendo que operar en $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ donde la dispersión es muy baja y se logran tasas de transmisión - distancia hasta de 1.5 Gbit /seg. Km . para los láseres se pueden lograr arriba de 25 Gbit/seg. Km .

Otra de las ventajas decisivas del láser , es que la potencia óptica que puede acoplar a la fibra es de 10 a 15 db mayor que la del led permitiendo alcanzar mayores longitudes de transmisión . El láser es un dispositivo de umbral por lo que es sensible a los cambios de temperatura, requiriendo para su operación adecuada circuitos complejos para el control de temperatura y envejecimiento . Sin embargo , cuando la distancia del enlace es grande y la dispersión en la fibra ha de ser reducida , comúnmente se recurre al uso del láser .

La fibra óptica adecuada entre dos tipos , multimodo (de índice de escalón o la de índice gradual) y la unimodo . El tipo de foto emisor seleccionado condiciona el tipo de fibra , así como también la dispersión tolerable . En el caso de un led , es impráctico usar unimodo dado que su diámetro es reducido (8 - 10 m) provocando que la potencia acoplada sea muy reducida . Por lo tanto , se tiene que usar fibra multimodo . La potencia que un led acopla a la fibra se incrementa con la apertura numérica (N.A.) , sin embargo , al mismo tiempo aumenta la dispersión , por lo cual es necesario optimizar la (N.A.) de la fibra seleccionada.

El diodo láser puede acoplar la potencia óptica necesaria a cualquier fibra. La fibra multimodo de índice gradual tiene un mejor producto tasa de transmisión distancia que la de índice de escalón . Con la fibra unimodo se logra el mayor producto tasa de transmisión distancia , sin embargo , su diámetro reducido hace que el procedimiento de empalme y conectorización sea más complejo que en las fibras de 50 μm de diámetro .

8.2 ANALISIS DE PERDIDAS EN EL ENLACE

Para el análisis del presupuesto de pérdidas se muestra en la fig.8.3 un modelo, en el cual, la potencia óptica que recibe el foto detector depende de la potencia que se acople a la entrada del rabillo de la mono fibra y de las pérdidas que ocurren en la planta interior y exterior (incluyendo la fibra , conectores y empalmes). Cada uno de estos elementos contribuyen con una pérdida determinada , la cual esta dada por su función de transferencia correspondiente , que se expresa comúnmente en decibeles por medio de la relación ...

$$\text{Pérdida (db)} = 10 \log P_s/P_e \quad \dots\dots\dots(8.1)$$

donde P_s y P_e son las potencias de salida y entrada del elemento .

Además de las pérdidas mencionadas , existen otras pérdidas adicionales que deben ser consideradas en el presupuesto de pérdidas , tales pérdidas se enumeran en la fig. 8.3 .

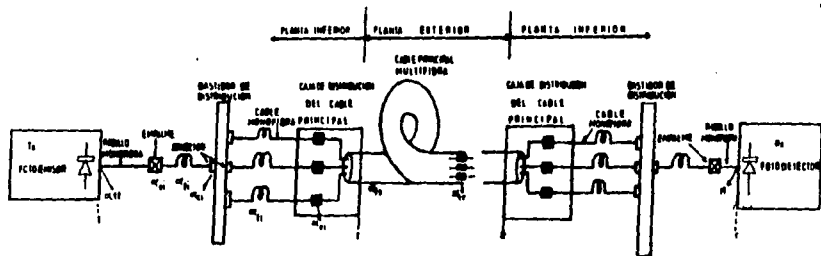


Figura 8.3 Modelo de pérdidas en un enlace de fibra óptica punto a punto.

- α_{tf} - pérdidas de acoplamiento entre fotodiodo-fibra.
- α_{ei} - pérdidas por empalme interno.
- α_{fi} - pérdidas en el cable monifibra interno dB.
- α_{ci} - pérdida por conector interno.
- α_{ee} - pérdida por empalme externo.
- α_{fe} - pérdida en el cable multifibra externo dB/km.
- α_{rf} - pérdida en el acoplamiento fibra-fotodetector.

Pérdidas adicionales

- α_a - pérdidas adicionales por efecto de medio ambiente, envejecimiento y conexiones futuras (margen de protección).
- α_{ai} - pérdidas adicionales por interferencia entre símbolos.

ANALISIS DE PERDIDAS EN CADA ELEMENTO

FOTOEMISOR

El parámetro de transferencia de la fuente óptica , está dada por la relación de la corriente de entrada y la potencia óptica de salida . Esta relación determina la corriente de excitación que se necesita para obtener la potencia óptica de salida que ha de acoplarse a la fibra , lo cual representa una de las características mas importantes en el presupuesto de pérdidas . Un valor típico de este parámetro es de 100 mW/A .

ACOPLAMIENTO FOTOEMISOR- FIBRA

La relación de la potencia óptica que produce el foto emisor, a la potencia óptica que se inyecta a la fibra , define la función de transferencia de la unión . Este acoplamiento depende de la combinación que se realice entre los diferentes tipos de foto emisor- fibra . Así por ejemplo para un led con una fibra de 50 m de diámetro , las pérdidas por acoplamiento pueden ser tan grandes como 20 db , en cambio para un láser pueden ser tan pequeñas como 3 db.

FIBRA

La función de transferencia en la fibra se obtiene relacionando la potencia óptica que entra en un extremo de la fibra con la potencia que sale en el otro extremo . Las pérdidas en la fibra dependen de la longitud de onda, por lo tanto, la función de transferencia también cambia de acuerdo a la longitud de onda empleada .

ACOPLAMIENTO FIBRA- FIBRA

Este acoplamiento se puede realizar en dos formas .

- 1) Por medio de un conector que produce una unión removible, es decir ,es posible conectar y desconectar repetidamente .
- 2) Usando un empalme que hace una unión fija , la cual se requiere para aumentar la longitud de la fibra o para reparar fibras . El parámetro de transferencia en conectores y empalmes esta dado por la variación de potencias entrada-salida , para efectos de diseño , este parámetro de pérdida comúnmente se considera de 1 db por conector y de 0.2 db por empalme .

ACOPLAMIENTO FIBRA - FOTODETECTOR

El parámetro de pérdida se produce, debido a que la potencia que sale del extremo terminal de la fibra , no es absorbida totalmente por el foto detector . Esta pérdida comúnmente es muy pequeña del orden de 0.1 db, por lo cual , se puede despreciar en el presupuesto de pérdidas sin incurrir en efectos notorios.

FOTODETECTOR

En el foto detector el parámetro de transferencia se toma como la relación de la corriente eléctrica de salida a la potencia óptica de entrada, generalmente se obtienen valores de 0.5 A/W .

PERDIDAS ADICIONALES

Pueden ser de dos tipos las pérdidas α_s se deben a envejecimiento de componentes, incremento de pérdidas por cableado e instalación , provisión de empalmes y conectores futuros y degradación de componentes por efectos del medio ambiente (variación de temperatura , polvo, humedad,etc.). El margen de pérdidas que se da por estas causas oscila entre 4-6 db.

La respuesta temporal de cada uno de los componentes del sistema, producen una dispersión o ensanchamiento del pulso óptico . Esto puede resultar en un translapse de los pulsos recibidos o interferencia intersímbolos ISI , lo cual reduce la sensibilidad del receptor.

La ISI se puede compensar usando ecualización dentro del receptor , esto requiere aumento de la potencia óptica en el receptor , tal aumento es equivalente a una pérdida adicional que se conoce como pérdida por la dispersión - ecualización o perdida por interferencia de intersímbolos, denotada α_{oi} . La pérdida α_{oi} es importante en los sistemas de banda ancha (tasa de transmisión elevada) con fibra multimodo y se calcula a partir de :

$$\alpha_{oi} = 2(2\sigma B_t \sqrt{2})^4 \text{ db}$$

donde σ valor rms del ancho del pulso y B_t es la tasa de transmisión . $B_t = R$

A la pérdida por ISI se le puede asignar un valor de 1 db. Los sistemas que emplean fibra unimodo no tienen dispersión intermodo , por lo tanto , generalmente no están limitados por la dispersión del pulso .

#3 ALGORITMO DE DISEÑO POR PERDIDAS DEL ENLACE

El cálculo de pérdidas en el enlace así como de la distancia máxima permitida , se puede realizar por dos métodos . 1) Análisis en el caso peor y 2) Análisis estadístico.

1. ANALISIS EN EL CASO PEOR

El criterio de cálculo consiste en usar los límites superiores de pérdida en cada elemento del sistema . Al mismo tiempo se han de considerar los valores mínimos de ganancia del sistema . De este modo , si la potencia óptica acoplada al raballo de fibra del foto emisor es P_e en dbm , y la sensibilidad del receptor para una BER prefijada es P_s en el db m , por lo tanto, la ganancia del sistema G en dbm será :

$$G = P_e - P_s \dots\dots\dots(8.2)$$

Considerando las pérdidas totales en la transmisión están dadas por el modelo de la fig.8.3 , el enlace será funcional si se cumple

$$G \geq \alpha_t \cdot \delta > \alpha_{p_i} \cdot \delta + \alpha_{p_e} \cdot \delta + \alpha_{a_i} \cdot \delta + \alpha_a \cdot \delta \dots\dots (8.3)$$

$$\alpha_{p_i} = \text{pérdidas por planta interna} = 4\alpha_{c_i} \cdot \delta + 2\alpha_{c_l} \cdot \delta + \alpha_{f_i} \cdot \delta$$

l cable monofibra interna regularmente es < 50 m , así que α_{f_i} se puede despreciar .

$$\alpha_{p_e} = \text{pérdidas por planta externa} = \alpha_{f_e} L + \alpha_{c_e} L = (\alpha_{f_e} + \alpha_{c_e}) L$$

L es la longitud total del cable multifibra externo en km y se ha supuesto que los tramos de fibra por empalmar son de 1 km , o sea que existiría un empalme cada kilómetro .

La pérdida total del enlace entre los puntos t - r es

$$\alpha_t = 4\alpha_a + 2\alpha_{c_l} + (\alpha_{f_e} + \alpha_{c_e})L + \alpha_{a_i} + \alpha_a \dots\dots\dots(8.4)$$

Así que en base a las ecuaciones (3) y (4) , la longitud máxima del enlace por limitante de atenuación esta dada por :

$$L \text{ max a (km)} < \frac{G - (4\alpha_{cl} + 2\alpha_{cl} + \alpha_{al} + \alpha_{al})}{\alpha_{fe} + \alpha_{ce}} \quad \text{.....(8.5)}$$

8.4 ANALISIS DE ANCHO DE BANDA .

El ancho de banda del sistema, se obtiene por medio de un análisis de ancho de banda o de tiempo de elevación . Dado que ninguno de los dos tipos de análisis caracteriza con precisión a las componentes, es necesario hacer algunas aproximaciones, no obstante , tanto el ancho de banda como el tiempo de elevación dan la información requerida para iniciar el diseño del sistema . En la hoja de datos que suministra el fabricante, se da ancho de banda o tiempo de elevación , pudiendo pasar de un dominio al otro por medio de las fórmulas adecuadas .

En este cálculo se realizan los cálculos por medio del tiempo de elevación t_s del sistema , el cual está dado por :

$$t_s^2 = t_{fu}^2 + t_{fi}^2 + t_{fo}^2 \quad \text{.....(8.6)}$$

donde t_{fu} , t_{fi} + t_{fo} son los tiempos de elevación de la fuente óptica o fotoemisor , de la fibra o del fotodetector respectivamente .

Además en congruencia con la definición de tiempo de elevación y la ecuación se tiene :

$$t_r = t_f = \frac{0.35}{B} \quad \dots(8.7)$$

siendo B el ancho de banda eléctrico a 3 db .

Cuando se tiene un formato de transmisión de retorno a cero como se muestra en la fig. 8.4.b , cada bit está acomodado en un periodo t , y los pulsos ocupan la mitad del período , es decir cada pulso tiene una duración de $T/2$.

En esta forma la tasa de transmisión R en bits por segundo (bps) es $R=1/T=B$ y de acuerdo a la ecuación (8.7) .

$$R_{NRZ} = \frac{0.35}{t_r} = \frac{0.35}{\Delta_1} \quad \dots(8.8)$$

donde Δ_1 es la dispersión total del pulso , descrita en términos de duración completa a la mitad del máximo (FDHM) del pulso .

Cuando se trata de un formato con pulsos de no retorno a cero NRZ , como se ilustra en la fig. 8.4.b el ancho de banda requerido es la mitad comparado con el formato RZ , o sea $B = 1/2T$ y $R = 2B$.

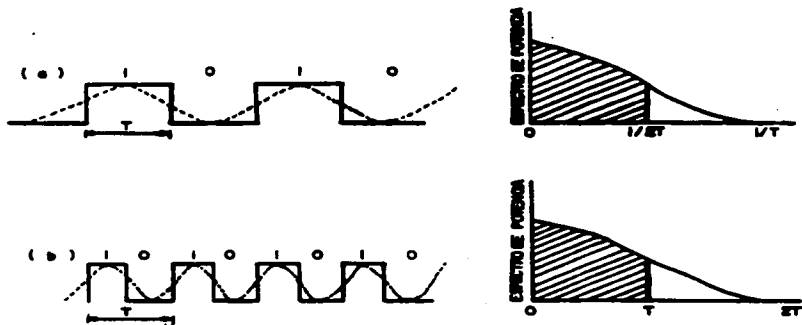


Figura 8.4 Relación de la tasa de transmisión con la longitud de onda . El ancho de banda requerido para la transmisión se muestra sombreado . Se presentan dos códigos digitales : (a) No retorno a cero NRZ , (b) Retorno a cero RZ.

$$R_{NRZ} = \frac{0.7}{t_r} \dots\dots\dots(8.9)$$

A fin de evitar la interferencia entre símbolos el tiempo de elevación del sistema t_r (o ensanchamiento del pulso), debe ser menor al 35 % del intervalo del bit para formato RZ. Para la transmisión NRZ tiene que ser inferior al 70 %.

CONCLUSIONES

Como podemos observar, el grado de desarrollo tecnológico alcanzado en la manufactura de estos conductores es de admiración y de gran importancia en la transmisión de señales de información.

Por lo que podemos concluir que se han cumplido satisfactoriamente los objetivos que se plantearon inicialmente cuya finalidad era la de conocer el diseño de enlaces de comunicación mediante conductores de fibra óptica.

El avance tecnológico de la comunicación por fibra óptica está orientado hacia los sistemas de 4ª generación con fibra unimodo y láser de modo único, debido a que tiene un ancho espectral muy reducido, haciendo posible que sobre una sola fibra se envíen muchos canales por medio de multiplexaje permitiendo así tasas de transmisión muy elevadas (ancho de banda muy grande).

En cuanto al futuro de la fibra óptica en sí, se tiene uno de los pronósticos más estimulantes. Actualmente se investigan fibras con material diferente al silicio, se han fabricado de halide, chalcogenide, y cristales de óxidos metálicos. Las nuevas longitudes de onda están en el infrarrojo localizadas de 2.0 a 10.0 μm , algunas de las cuales tienen pérdidas teóricas entre 0.01 y 0.0001 db/km.

Sin embargo, si el progreso tecnológico de las nuevas fibras es semejante al obtenido con las fibras de sílice, es posible que muy pronto se tenga una nueva generación de fibras de pérdidas ultrabajas.

La integración de dispositivos ópticos es muy prometedora, sin embargo, la investigación ha tenido que resolver fuertes retos. Uno de ellos son las pérdidas excesivas por acoplamiento entre el segmento de la guía onda plana depositada y el núcleo circular de la fibra. A pesar de todos los problemas encontrados en la investigación ésta sigue adelante, como son los casos de aplicación en integración óptica de interruptores, acopladores y divisores, así como fuentes y detectores ópticos integrados. Todo esto como muestra de la revolución tecnológica alcanzada.

REFERENCIAS

- Ericson (1987). "Comunicaciones por fibra óptica" Conductores Latincasa Ericson (SUECIA)*
- Yasufuru Sumatru Anda Ken -ichi-Lga. (1982). "Introduction to optical Fiber comunication". (JAPAN)*
- Sumitomo Electric Industries, Ltd, (march 1987). "Sumiguide Optopia (NIPPON)*
- Cheviz Diaz Gerardo Agosto (1986). "Fibras Ópticas", Ingeniería Mecánica Eléctrica ADMIME. (MEXICO)*
- Dietrick Marcoss. (1981). "Principles of optical fiber measurements. Academia Pres.*
- John E. Midwinter (1979). "optical fiber for transmission.*
- Bell Northern Rescarh. (1982). "Fiber optics communications course .*
- Allen A. chorin . (1983). "An introduction to optical fiber Mc Graw Hill*
- John M. Senior (1985). "optical fiber communications , Prentice Hall ..*
- Gerd Keiser ,(1984). "optical fiber communication Mc Graw hill*
- Sumitomo Electric Industries Ltd, (March 1987). "Sumiguide optopia .*
- E.E: Bert Busch, (Inc. 1989). "optical fiber transmission, Howard W. Sams & Co.
A. División of Macmillan.*
- H. Yakota et . al. (1986) "Ultra low Loss Pure Silica Core Singlmaid Fiber and transmission Experiment"
Technical Digest , ofc Atlanta PD3 -1.*

Technical Staff of Esete, (1981) optical Fibre communications, Torino Italy .

Bell Northern Researh, (1982) Fiber optics communications course, ottawa Canada .

M.J.Horwus, P.V. Morgan ,(1980). optical fibre communications, john Wiley Son.

Ingeniería en Transmisión Digital (1993). JICA-TELECOMSA, México

Tektronix OTDR'S , (1993) Tektronix S.A. de C.V.