

37
2oj.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
FACULTAD DE INGENIERIA



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN ENLACE DE DATOS MEDIANTE FIBRA OPTICA ENTRE DOS LABORATORIOS DE ELECTRONICA EN LA F.E.S.G.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
AREA DE INGENIERIA ELECTRONICA

P R E S E N T A

FRANCISCO TELLITUD LOPEZ

ASESOR: ING. UBALDO RAMIREZ URIZAR



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 está 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.

CONTENIDO

I ANTECEDENTES

- 1.0 Introducción (Objetivos).
- 2.0 Generalidades.
 - 2.1 Historia de la fibra óptica.
- 3.0 Generalidades de la transmisión de la información.
 - 3.1 Concepto de comunicación.
 - 3.2 Señales de tipo analógico y digital.
 - 3.3 Bits y Bytes.
 - 3.4 Capacidad en el transporte de información.
 - 3.5 Concepto de multiplexión.
 - 3.6 Concepto de decibel.
- 4.0 Ventajas de la fibra como un medio de comunicación.
 - 4.1 Gran capacidad de transmisión.
 - 4.2 Pocas pérdidas.
 - 4.3 Inmunidad electromagnética.
 - 4.4 Seguridad.
 - 4.5 Peso.
 - 4.6 Tamaño.
 - 4.7 Riesgo.
- 5.0 Antecedentes teóricos.
 - 5.1 Concepto de reflexión y refracción.
 - 5.2 Reflexiones de Fresnel.

II COMPONENTES DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN MEDIANTE FIBRA ÓPTICA

- 1.0 La fibra óptica.
 - 1.1 Su estructura.
 - 1.2 Su clasificación.
 - 1.3 Parámetros estructurales.
 - Apertura numérica.
 - Perfil de índice de refracción.
 - Número de modos de propagación.
 - Longitud de onda de corte.
 - 1.4 Parámetros de transmisión.
 - Atenuación.
 - Por absorción.
 - Por dispersión.
 - Dispersión.
 - Ancho de banda.

- 2.0 Metodos de fabricacion de la fibra.
 - 2.1 Materiales usados en la fabricacion de la fibra optica.
 - Fibras de vidrio.
 - Fibras de vidrio con recubrimiento de plastico.
 - Fibras de plastico.
 - 2.2 Metodos y tecnicas en la fabricacion de la fibra.
 - Fusion directa.
 - Doble crisol.
 - Deposicion de vapores quimicos.
 - Interna.
 - MCVD.
 - PCVD.
 - IMCVD.
 - Externa.
 - OCVD.
 - VAD.

- 3.0 Cables de fibra optica.
 - 3.1 Propiedades mecanicas de la fibra.
 - 3.2 Componentes del cable de fibra optica.
 - 3.3 Cubierta primaria.
 - 3.4 Cubierta secundaria.
 - 3.5 Miembro de tension.
 - 3.6 Barreras contra la humedad.
 - 3.7 Cubiertas del cable.
 - 3.8 Armaduras.
 - 3.9 Barreras termicas.
 - 3.10 Cables para interiores.
 - 3.11 Cables para exteriores.
 - 3.12 Cables para aplicaciones especiales.

- 4.0 Emisores.
 - 4.1 Semiconductores.
 - 4.2 Diodos.
 - 4.3 Laseres.
 - 4.4 Potencia de salida.
 - 4.5 Salida espectral.
 - 4.6 Velocidad.
 - 4.7 Tiempo de vida.
 - 4.8 Manejo.

- 5.0 Detectores.
 - 5.1 Fotodiodo (PN).
 - 5.2 Fotodiodo (PIN).
 - 5.3 Fotodiodo avalancha (APD).
 - 5.4 Ruido.
 - 5.5 Caracteristicas de los detectores.
 - 5.6 Detector/preamplificador.

- 6.0 Transmisor y receptores.
 - 6.1 Concepción básica del transmisor.
 - 6.2 Códigos de modulación.
 - 6.3 Velocidad de transmisión.
 - 6.4 Potencia de salida en el transmisor.
 - 6.5 Concepto básicos del receptor.
 - 6.6 Sensitividad.
 - 6.7 Rango dinámico.
 - 6.8 Amplificación.
 - 6.9 Ciclo de trabajo.
 - 6.10 Repetidores.

- 7.0 Conectores y empalmes.
 - 7.1 Requerimientos en los conectores.
 - 7.2 Causas de pérdidas en una conexión.
 - 7.3 Preparación previa de la fibra.
 - 7.4 Empalmes de fusión.
 - 7.5 Empalmes de elastómeros.
 - 7.6 Empalmes mecánicos.
 - 7.7 Cajas de empalmes.
 - 7.8 Conectores.

III SISTEMAS DE FIBRA OPTICA.

1.0 Sistemas de fibra óptica y sus aplicaciones.

2.0 Un enlace entre computadoras para los laboratorios de electrónica en la F.E.S.C..

- 2.1 Justificación.
- 2.2 Cable óptico.
- 2.3 Instalación.
- 2.4 Transmisores y receptores.
- 2.5 Enlace.
- 2.6 Presupuesto de potencia.
- 2.7 Presupuesto de ancho de banda.
- 2.8 Presupuesto económico.

3.0 Instalación y herramientas.

- 3.1 Resistencia a la tensión y radio mínimo de curvatura.
- 3.2 Instalación en interiores.
- 3.3 Conectorizado del cable.

4. Equipo de diagnóstico, prueba y equipo alterno.

- 4.1 Comprobación de la fibra óptica.
- 4.2 Equipo de medición.

5. Memoria Técnica.

IV CONCLUSIONES.

V BIBLIOGRAFIA.

SECCION PRIMERA**ANTECEDENTES.**

1.0 INTRODUCCION

"Comunicación: Unión que se establece entre mares, pueblos, casas, habitaciones, etc., mediante pasos, crujiás, escaleras, vías, canales, cables y otros recursos." Es la definición que comunmente podemos encontrar en cualquier diccionario enciclopedia, sin embargo me parece pertinente añadir que su función consiste en: "Manifestar lo perteneciente a algún asunto", bajo esta premisa se establece que el desarrollo del ser humano a través de los tiempos se ha fundamentado en la comunicación que el hombre haya podido y/o pueda establecer con sus congéneres y con el medio que le rodea, de manera tal que la comunicación ha venido a ser un factor esencial para su desenvolvimiento como raza.

Desde sus principios el hombre requirió de la comunicación como medio de subsistencia, ahora al paso de los años, la comunicación no ha menguado en cuanto a su importancia, por el contrario debido al crecimiento desmesurado en la población ha tomado otros matices. Es así que para poder satisfacer las necesidades actuales y previendo las futuras se hace necesario el desarrollo y el uso de alta tecnología tanto en los equipos de transmisión y recepción como en el aprovechamiento eficiente de los mismos.

Debido a la gran diversidad de tópicos que pueden ser tratados en el área de las comunicaciones es necesario puntualizar el tema que me ocupara bajo este estudio: Comunicación electrónica básicamente de datos entre dos puntos remotos. Si bien es cierto que este no es un tema nuevo, sí lo es el medio de transmisión que se pretende usar: "la fibra óptica".

En trabajos anteriores ya se ha tratado el tema, sin embargo se le ha dado un enfoque como desarrollo integral de un sistema de comunicación o bien a la implementación o el diseño de los transductores; en esta ocasión se pretende llegar a conocer y manejar los elementos que intervienen e integran el diseño y operación de un enlace de datos en forma comercial, bajo la tecnología de fibra óptica, como se puede intuir para tal efecto se usaran elementos comerciales, ello debido a que no se pretende inventar el hilo negro, sino por el contrario usar la tecnología disponible para sacarle el mejor provecho.

A su vez al usar elementos comerciales nos integramos a los "estándares" (?) de la industria, de manera que se cuente con una subsistencia tanto para las refacciones, como una compatibilidad con equipos de transmisión más sofisticados y la posibilidad de expansión.

Finalmente se aspira llevar tecnología de punta a la UNAM primeramente para tener una transmisión rápida y eficiente de información logrando con ello un aprovechamiento al máximo de los recursos disponibles localizados remotamente, como lo es el caso de equipo en los laboratorios de electrónica, segundo que el enlace sirva con fines didácticos a las materias que integran temas relacionados con las comunicaciones electrónicas y finalmente establecer las pautas para un futuro crecimiento del enlace.

En síntesis se pretende: "Diseñar y construir un enlace de datos mediante fibra óptica entre dos laboratorios de electrónica en la F.E.S.C."

Un enlace de este tipo básicamente requiere de dos elementos indispensables para su operación, la instalación (hardware) y los protocolos de operación (software). Este está dirigida únicamente a los elementos requeridos para la transmisión, dejando fuera del alcance de este trabajo cualquier tipo de protocolo.

Una vez más, cabe puntualizar que este tiene un enfoque netamente comercial y por lo tanto se dan como sentados y como ciertos los desarrollos matemáticos requeridos a lo largo de este trabajo.

Por último es importante notar que se abordará el tema de la manera más sencilla posible, pero sin caer en el simplismo, para lograr los objetivos antes expuestos trataremos el tema básicamente en tres secciones, la primera consiste en la homogeneización de conceptos y teorías, la segunda en un estudio de los elementos que pueden integrar un enlace óptico y finalmente, los sistemas de transmisión ópticos.

2.0 GENERALIDADES

Un enlace de comunicación de cualquier tipo, requiere de un medio eficiente de transmisión. Las microondas y la transmisión por el sistema tradicional de cable de cobre tienen limitaciones que son superadas por la fibra óptica. Por citar un ejemplo, el cable de cobre tiene importantes limitaciones en cuanto a su capacidad de transmisión, su velocidad y la distancia de transmisión, además es afectado severamente por las emisiones electromagnéticas (EMI). La transmisión por microondas, por el contrario, tiene una gran capacidad, sin embargo es extremadamente cara, debido al alto costo de las estaciones terrenas, además su transmisión está limitada al alcance lineal, es decir, resulta ideal en zonas planas. La fibra óptica supera en mucho las transmisiones de cable de cobre, sin tener el costo de un sistema a base de microondas, y en algunas aplicaciones las transmisiones por fibra óptica están al par que las transmisiones por satélite, pero a un costo mucho menor.

Las transmisiones de fibra óptica están siendo utilizadas en un gran número de lugares debido a las ventajas que ofrece, esto es, se emplean para la transmisión de señales de T.V. por cable, enlaces telefónicos, redes de datos, manejo de información sensorial en vehículos, manejo de señales de control en industrias de alto riesgo, etc.

Aunque la tecnología de fibra óptica ha tenido una gran aceptación, aún tiene mucho que ofrecer, por lo que es de esperarse que en un futuro no muy lejano una gran mayoría de las señales sean manejadas por fibra óptica.

La fibra óptica es una fibra muy delgada de plástico o vidrio flexible que sirve como un medio de transporte de información de un punto a otro, y al igual que los conductores de cobre puede transmitir señales de voz, datos o imágenes. con una sola diferencia, en lugar de conducir electricidad conduce luz.

De esta manera la comunicación vía fibra óptica ofrece ventajas que la hacen el medio de transmisión idóneo en una variedad de aplicaciones que van desde la telefonía a las fábricas automatizadas.

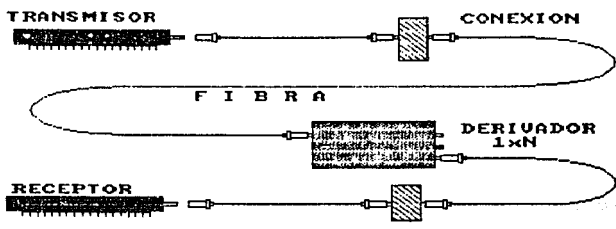
Una red de fibra óptica básicamente se compone de:

Un transmisor, el cual convierte una señal eléctrica a una señal luminosa.

Un cable de fibra óptica, que es el medio de transmisión de información.

El receptor, que es el que recibe la señal luminosa y la convierte nuevamente a una señal de tipo eléctrica. Conectores y empalmes, que hacen el trabajo de enlazar el cable de fibra óptica con la fuente, los detectores, y otros dispositivos de enlace.

Como en cualquier sistema, los transductores pueden ser simples o complejos, pueden comunicar dos o más fuentes, cercanas o lejanas, por aire, a nivel o bien subterráneas, sin embargo las partes esenciales de un sistema de transmisión vía fibra óptica siempre serán los mismos.



ELEMENTOS FUNCIONALES DE UN SISTEMA DE FIBRA OPTICA

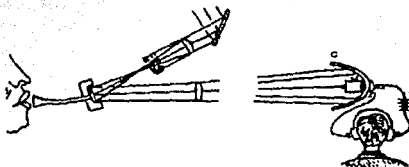
2.1 HISTORIA DE LA FIBRA OPTICA

El uso de la luz como un medio de transmisión no es nuevo. Desde los comienzos de la navegación se usó la luz de las linternas para enviar señales a embarcaciones y advertirlas de algún peligro.

En 1790 Claude Chappe construyó un telegrafo óptico en Francia, y estaba constituido por una serie de operadores que recibían una señal visual y la retransmitían. La distancia a cubrir era aproximadamente de unos 250 kilómetros en un tiempo aproximado de 15 minutos, este sistema fue eventualmente reemplazado por el telegrafo eléctrico.

Posteriormente en investigaciones científicas para canalizar la luz por algún medio dieléctrico se demostró por parte de John Tyndall, en 1870, que la luz puede ser guiada dentro de un chorro de agua. El experimento mostró el principio de una total interna reflexión, ya que el haz de luz se propaga a través de agua reflejándose en sus paredes.

Una década más tarde, Alexander Graham Bell patentó el fototeléfono (photophone), este aparato utilizaba la luz como medio para transmitir la voz. Una serie de lentes y espejos dirigían la luz hacia un espejo plano, este espejo plano estaba acoplado a una boquilla. La voz hacía que vibrara el espejo, y como consecuencia modulaba la luz que se reflejaba por él. El receptor consistía en un detector de selenio, cuya resistencia variaba de acuerdo a la cantidad de luz que detectaba, con ello se lograba variar la corriente que pasaba por el receptor y con ello reproducir la voz; este dispositivo tenía un alcance cercano a los 200 metros. Este dispositivo entusiasmó tanto a Alexander G.B. que escribió: "He escuchado un rayo de luz leer, toser y cantar". sin embargo su invento nunca fue perfeccionado como para alcanzar una utilidad comercial.



"ÉL HIDROTELEFONO DE ALEXANDER GRAHAM BELL"

A principio de siglo investigaciones y experimentos se llevaron a cabo con el fin de profundizar dentro de la óptica y de la conducción de estas señales, como resultado podemos mencionar el descubrimiento del fibroscopio, en 1950, este es un aparato que se utiliza en medicina para poder observar las partes internas del cuerpo.

El término de fibra óptica fue usado por primera vez por N.S. Kapany, en 1956, quien inventó el primer filamento de fibra óptica, y consistía en un conducto cuyas paredes internas estaban forradas con vidrio.

En 1958 A.L. Schawlow y C.H. Townes de los laboratorios Bell propusieron el proyecto LASER (Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation), como una fuente intensa de luz. El primer aparato LASER se presentó en 1960 y utilizaba como material activo un rubí sintético hecho de óxidos de aluminio conteniendo una pequeña concentración de iones de cromo.

Debido a que el laser emite un rayo intenso de luz, su potencial como una nueva fuente de transporte de información se dejó de entrever de inmediato, ello es claro cuando nos remitimos al hecho de que la luz visible tiene una capacidad de transmisión de 800 millones de conversaciones telefónicas simultáneas. Aunque los primeros laser no eran confiables y tenían un costo muy alto, la idea no dejaba de ser atractiva.

Debido a las Características inherentes al laser, no es posible efectuar una transmisión en el aire, debido a que se ve altamente afectado por la contaminación, la niebla, la lluvia y otras condiciones atmosféricas. De manera que para que se pudiese usar como un medio eficiente de comunicación requeriría de un medio de transmisión mas eficiente que el aire.

En 1966, K.C. KAO y G.A. Hockham, investigadores en el laboratorio de comunicaciones Standar, una subsidiaria de la ITT, propusieron a la fibra óptica como el medio de transmisión de la luz. En ese tiempo las fibras tenían pérdidas que sobrepasaban los 1000 dB/Km. Kao y Hockham, estimaron que si se tenía especial cuidado en la pureza del cristal, las pérdidas podían reducirse a unos 20 dB/Km, un nivel considerablemente más apropiado para las comunicaciones.

En 1970, Robert Maurer y sus colegas del Corning Glass Works produjeron la primera fibra óptica con pérdidas menores a 20 dB/Km. Por el año de 1972 las pérdidas se redujeron a unos 4 dB/Km en laboratorios de pruebas. Hoy en día las mejores fibras tienen unas pérdidas del orden de los 0.2 dB/Km.

Paralelamente se registraron avances en las fuentes, los detectores, tecnología de transmisión, teoría de la comunicación, entre otras áreas, al igual que un interés creciente por la explotación de este medio de comunicación, lo que origina que grandes cantidades de recursos tanto humanos como económicos se destinaran al mejoramiento de dichos sistemas de comunicación.

Casi sin lugar a dudas se puede afirmar que el ímpetu inicial por la fibra óptica vino de la industria militar y de las comunicaciones telefónicas.

Para las empresas telefónicas la fibra óptica ofrecía comunicaciones a largas distancias, gran capacidad en canales, transmisión de señales de datos, video y voz de una manera altamente eficiente y confiable, inmunidad electromagnética y un tamaño considerablemente menor al de los cables convencionales.

Para la industria militar su peso muy ligero y su alta confiabilidad aunadas a las características ya mencionadas la hacían extremadamente atractiva.

En 1973 la marina Estadounidense instaló una red telefónica de fibra óptica a bordo del USS Little Rock. En 1976 la marina inició investigaciones en el uso de la fibra óptica en los aviones. Los trabajos concluyeron con la instalación de una red de fibra óptica para reemplazar el conector eléctrico en una computadora a bordo de un avión A-7 de la marina. La instalación convencional contenía un total de 302 cables con una longitud de 1260 metros y un peso de 40 kilogramos, el reemplazo óptico consistía de 12 fibras con una longitud de 76 metros y un peso de 1.7 kilogramos.

En 1977 el Ejército Estadounidense instala la primera red de datos con fibra óptica para comunicar una estación terrena con el centro de procesamiento de información. Y en base a los resultados obtenidos empezaron los estudios para controlar todos sus misiles MX usando una red de aproximadamente 15,000 kilómetros de longitud, red que posiblemente ya este en uso hoy en día.

La compañía telefónica BELL fue la primera en instalar una red telefónica en 1976, con resultados tales que el siguiente año se empezó a desarrollar una red en Chicago, el sistema operaba a 44.7 Mbits/s, por 2.5 Km en voz, datos e imágenes. Para 1980 se anunciaba el proyecto de unir a la ciudad de Washington, DC con Cambridge, MA, mismo que finalizó en 1984 con una longitud de 1000 Km e involucraba 7 empresas distintas. Desde entonces un gran número de compañías telefónicas establecen sus redes basadas en la tecnología de la fibra óptica.

Una demostración significativa de un red de fibra óptica es la HI-OVIS Higashi-Ikoma (Optical Visual Information System) proyecto Japonés. El HI-OVIS comenzó a funcionar desde el año de 1976 y es un buen ejemplo de lo que una red integral puede realizar en una ciudad, ya que ofrece la posibilidad de comunicación interactiva bidireccional, ya que proporciona servicios de video multicanal, servicios de información, bancos de video textos, comunicación directa con la policía, los bomberos, hospitales, entre otras fuentes. El equipo básico para cada subscriptor es, un televisor, un teclado, una cámara de video, un micrófono y quizás una impresora. Esta red sirve a más de 1000 abonados con 400 Km de fibra. Los resultados han sido tales que proyectos similares están en proceso en países como Alemania, Canadá, Francia e Inglaterra.

Nuestro país no se ha quedado atrás, Teléfonos de México a mediados de los ochenta e impulsados por los daños causados por el sismo del 85, comienza el estudio para sustituir la red telefónica de el Distrito Federal, por fibras ópticas, a tal proyecto se le da por llamar "red superpuesta". Paralelamente comienzan estudios sobre redes a larga distancia, e intertruncales.

Con los resultados de estos proyectos y las investigaciones al respecto se ha logrado tener una industria en comunicación vía fibra óptica cada vez más eficiente y rentable.

3.0 GENERALIDADES DE LA TRASMISION DE LA INFORMACION.

El propósito de esta sección es el de introducirnos a importantes aspectos de señales y su transmisión, ya que es fundamental para el entendimiento y la apreciación de la tecnología de la fibra óptica. Es importante mencionar que los conceptos presentados no son únicos para la fibra óptica, sino para cualquier transmisión de tipo electrónico.

3.1 CONCEPTO DE COMUNICACION.

Se puede englobar el concepto de comunicación como: "A el proceso de establecer una unión entre dos o mas puntos para intercambiar información". La información es transmitida en forma de señales. En el terreno electrónico una señal puede ser de genero digital, o bien de tipo analógico. Este intercambio de información sugiere: Un trasmisor, un receptor y un medio de comunicación.

El trasmisor tiene la función de adecuar la señal de origen de manera tal, que pueda ser enviada a través del medio de comunicación seleccionado, dicha adecuación dependerá de la naturaleza de la señal y del medio de transmisión.

Para transmitir señales requeriremos de una o de otra manera modificar algunas de las características de una señal continua que se ha dado a llamar PORTADORA; esta modificación es el proceso conocido como MODULACION. En el ámbito electrónico una portadora es una onda electromagnética de frecuencia estable que sirve para poder transmitir a través de un medio.

La modificación que se realice sobre la portadora será la información que se desea transmitir, que usualmente es una señal en banda base, esto es que no ha sido modificada previamente.

Las características modificables de la portadora por la moduladora son: la amplitud, la frecuencia, la fase o una combinación de ellas.

En el caso de la fibra óptica la portadora es una señal de tipo luminoso.

El medio de comunicación es el encargado de recibir la señal del trasmisor y repartirla de una manera eficiente a todos sus puntos terminales, es decir, con pocas pérdidas y baja distorsión a los puntos previamente determinados.

El receptor, debe detectar con exactitud la portadora y demodular la señal de una manera fidedigna, obteniendo a la salida del receptor una señal idéntica a la que en un principio entro por el trasmisor.

3.2 SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES.

Una señal analógica es aquella que es continua en el tiempo por naturaleza y por lo tanto puede ser representada por un número infinito de puntos, sin embargo y en oposición, una señal digital, es una señal analógica que ha sido convertida a discreta, y codificada, por lo tanto se puede representar por un número finito de puntos. Todas las señales en la naturaleza son analógicas, sin embargo una señal digital es mucho más sencilla de manejar, y ofrece menos riesgos, a grado tal que resulta más eficiente hacer digital una señal analógica, procesarla así, y finalmente decodificarla para regresarla a su forma natural: de aquí la razón por la que la transmisión comercial por fibra óptica se lleve a cabo en su mayoría en forma digital, razón por la cual enfocaremos nuestra atención a señales digitales.

3.3 BITS Y BYTES.

La base para cualquier sistema digital es el bit. El bit es la unidad fundamental en los sistemas digitales de información, y solo puede tener dos valores, 1 ó 0 pero no ambos a la vez. Existen muchas maneras de representar un bit, en electrónica la presencia o ausencia de un nivel de voltaje es más común, un nivel de voltaje significa un uno, mientras que un segundo nivel se representa por 0, desafortunadamente un solo bit, no puede representar más que un solo estado, tal como prendido o apagado, si se requiere de representar más de un estado es necesario, entonces, hacer uso de dos o más bits.

Un grupo de 8 bits se llama un byte, un byte nos permite representar cualquier número, letra, símbolo, o carácter especial. Ello debido a que tenemos 256 posibilidades o combinaciones.

Frecuentemente para poder estudiar, diseñar o mantener un sistema es necesario ver grupo de bytes, y ello se logra mediante la representación de ellos por un tren de pulsos.

Un tren de pulsos frecuentemente se muestra en forma ideal, de manera tal que la transición entre estados sea prácticamente instantánea, ello con el fin de facilitar el trabajo técnico.

Sin embargo en la práctica la transición entre estados no es de manera instantánea, ya que los circuitos electrónicos tienen un tiempo de respuesta finito, de manera que requiere un intervalo de tiempo para pasar de un nivel de voltaje a otro. Este retardo en tiempo es el que limita el ancho de banda del sistema o la velocidad de operación del sistema.

Cuando se diseña un sistema cuya velocidad de operación sea baja, el tiempo de transición resulta irrelevante, sin embargo, cuando las velocidades de operación son muy altas, tales transcurros de tiempo resultan determinantes para un funcionamiento eficiente del sistema.

Debido a que la transmisión de información via fibra óptica se realiza a grandes velocidades, es importante tomar en consideración este hecho.

3.4 CAPACIDAD EN EL TRANSPORTE DE LA INFORMACION.

Cualquier medio que trasmite información tiene límites, en cuanto a la cantidad de información que puede llevar y a la velocidad a la que puede operar, en cuanto a la cantidad de información que se puede transmitir existen varias formas de describir esta capacidad, en la telefonía por ejemplo, esta capacidad se expresa en términos de canales de voces, un canal de voz es el ancho de banda o bien el rango de frecuencias requeridas para transmitir una sola voz, puesto que el límite máximo de la voz humana es de 4 KHz, un canal de voz debe tener un ancho de banda de 4KHz.; En el comienzo de la telefonía una conversación era llevada exclusivamente por un par de cables, hoy en día ese mismo par puede llevar miles de conversaciones simultáneamente, es decir, tiene una capacidad de miles de canales de voces.

El ancho de banda es proporcional a la frecuencia más alta que puede manejar, por ejemplo, si un sistema de fibra óptica tiene un ancho de banda de 400 MHz, es capaz de transmitir información cuya frecuencia no supere este límite.

En los sistemas electrónicos, la capacidad de transmitir información está dada en bits por segundo (bps) o bauds. Para un sistema telefónico un solo canal digital de voz requiere de 64,000 bps, mientras que la misma información transmitida por un medio analógico tan solo requeriría de 4 KHz, de donde se deduce que un sistema digital requiere de un ancho de banda mucho mayor que un sistema analógico, para ser exactos y en este caso de un ancho de banda 16 veces mayor. De aquí que para poder transmitir 672 voces por una línea requerimos de una velocidad de operación de 44.7 Mbps.

3.5 CONCEPTO DE MULTIPLEXI3N Y MODULACION POR CODIGO DE PULSOS.

La modulaci3n por c3digo de pulsos es para convertir una se1al de tipo anal3gico a una digital, y la forma en la que opera es la siguiente: se establece la frecuencia m1xima a la cual la se1al a codificar trabajar1, posteriormente esta frecuencia, por lo menos, se duplica, a esta nueva frecuencia se tomara una muestra de la se1al a codificar en intervalos iguales a la frecuencia ya descrita anteriormente, estas muestras se traducen a un valor en binario, para ser exactos a una valor de un byte o 8 bits. El proceso de demultiplexi3n es exactamente inverso, veamos un ejemplo:

Sup3ngase que se desea codificar la voz humana, la cual tiene una frecuencia m1xima de 4000 Hz., el doble de esta frecuencia es 8000 Hz, de manera tal que tomaremos una muestra de la se1al a una frecuencia de 8000 Hz, posteriormente esta se1al es codificada al sistema binario en la forma de 8 bits, puesto que 8 bits nos permiten tener 256 combinaciones diferentes o valores de amplitudes, y puesto que el muestreo se realiza a una velocidad de 8000 veces en un segundo, tendremos que el ancho de banda m1nimo sera de 64 000 bits por segundo o (bps).

Puesto que una transmisi3n a esta velocidad haria muy ineficiente los sistemas actuales de comunicaci3n (debido a que tienen una mayor capacidad) lo que se hace es mandar peque1as secciones de diferentes se1ales, de manera tal que por una misma trayectoria podremos enviar mas de una se1al, a este proceso se le conoce como multiplexi3n.

La multiplexi3n de divisi3n de tiempo es el nombre que se le a dado al m3todo de multiplexi3n que asigna partes de cada canal de voz en un intervalo de tiempo.

3.6 CONCEPTO DE DECIBEL.

El decibel es una unidad que se ha adoptado para medir la perdida o ganancia que una se1al tenga.

$$db=10\log_{10}(P_{sal}/P_{ent})$$

Es importante mencionar que la atenuaci3n o ganancia en un sistema de comunicaci3n no solo se refiere a la eficiencia del medio de transmisi3n sino tambi3n a toda la infraestructura que lo acompa1a, es decir, en cierta forma es una manera de medir el efecto que causa el insertar o quitar conectores, empalmes, derivaciones, etc.

A su vez es importante recalcar que la ganancia o pérdida es un parámetro logarítmico, esto es una atenuación del 0.1 db es una pérdida del 3.3% en la potencia, mientras que una atenuación de 1 db representa una pérdida del 20.6%, una atenuación de 3 db representa una pérdida del 50%, etc.

4.0 VENTAJAS DE LA FIBRA OPTICA COMO UN MEDIO DE COMUNICACION

Como ya se comento anteriormente la fibra óptica posee características que la hacen el medio de transmisión idóneo para algunas aplicaciones, sin embargo y pese a que la fibra óptica ofrece muchas ventajas, no todas ellas son imponderables para cada aplicación, sin embargo dependiendo de los requerimientos de cada aplicación se buscará dar énfasis en la características requerida:

4.1 GRAN CAPACIDAD DE TRANSMISION:

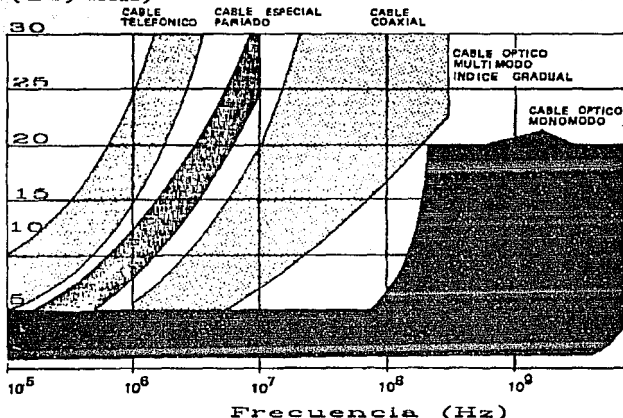
La cantidad de información que se puede transmitir por un medio depende básicamente de la frecuencia de la portadora, cuando volteamos hacia la fibra óptica y consideramos el hecho de que la luz que es el elemento portador de señal y que tiene un rango de frecuencias superior a los 12 THz.. aunado a un ancho de banda cercano a los 2 GHz/km lo cual nos permite transmisión de información a muy alta velocidad, se deja entrever de inmediato la gran capacidad de transmisión de información con que cuenta la fibra óptica.

4.2 BAJAS PERDIDAS:

El ancho de banda es un indicativo de la cantidad de información que puede ser transmitida por un medio, sin embargo, la atenuación es un indicativo de que distancia puede recorrer esta información sin que haya pérdida su esencia.

Para el cable normal de cobre, tenemos que la frecuencia de modulación es un factor determinante en la distancia a la cual se puede transmitir la información, es decir, a mayor frecuencia, mayor será la pérdida del sistema, sin embargo en la fibra óptica la atenuación es una constante, es decir la atenuación será la misma para una frecuencia baja, que para una frecuencia muy alta. La pérdida que experimenta la fibra óptica a muy altas frecuencias no es a causa de la fibra sino de la infraestructura electrónica que la soporta, es decir, se debe a la distorsión en los transductores y/o al ruido generado. Otro aspecto muy importante a considerar es que al tener menos pérdidas, se requerirá de una cantidad menor de repetidores con un espaciamiento mucho mayor entre ellos, con el consecuente ahorro económico. En la siguiente tabla se puede apreciar las pérdidas con diferentes tipos de cables:

Atenuación (db/km)



ATENUACION VS. FRECUENCIA PARA DISTINTOS TIPOS DE CABLES.

4.3 INMUNIDAD ELECTROMAGNETICA:

Otra diferencia entre el cable de cobre y la fibra óptica, es que la transmisión de datos via fibra óptica no radia o recoge radiación electromagnética, es decir mientras que cualquier conductor de cobre funciona como una antena que recibe o envía energía, la fibra óptica es un dieléctrico.

Por otro lado, debemos recordar que cualquier equipo electrónico o eléctrico emite interferencia electromagnética (EMI) que interfiere con el funcionamiento de otros equipos que se encuentran cerca, como es el caso de cajeros electrónicos, máquinas tragamonedas, computadoras, calculadoras, equipos de comunicación, contadores electrónicos, equipos de detección, etc.

La fibra óptica al resultar ser un dieléctrico y por consiguiente tener un efecto nulo EMI, resulta extremadamente cotizada en equipos de control para fabricas, instalaciones de explotación de recursos naturales tales como plataformas petroleras, minas, termoelectricas, hidroelectricas, subestaciones, en transmisión de datos digitales, etc.

4.4 SEGURIDAD:

Interceptar la información enviada por medio de un cable de cobre es relativamente fácil, ya que es posible desde hacer un empalme, hasta captar la energía irradiada por el cable. Esto se convierte en un verdadero problema cuando transmitimos información confidencial o clasificada, de hecho tanto la industria militar como la iniciativa privada invierte grandes cantidades tratando de proteger la transmisión de información para que no sea interceptada.

La fibra óptica es un medio altamente seguro, ya que no radia energía de ningún tipo, y es prácticamente imposible realizar un empalme a una red de fibra óptica sin que sea detectado, de manera que tanto el ejercito como la iniciativa privada han considerado en forma muy especial el uso de la fibra óptica para la transmisión de sus datos.

4.5 PESO:

El peso es otra Características relevante dentro de la fibra óptica, ya que cualquiera que sea su construcción (plástico o vidrio) su peso es considerablemente menor al del cobre, veamos un ejemplo un cable coaxial puede pesar 80 lbs/1000 ft, mientras que la fibra óptica, con una capacidad superior en cuanto a transmisión de información se refiere, pesa alrededor de 9 lbs/1000 ft. En vehículos y en instalaciones autosoportadas esta es quizás una de las Características mas preciadas en la fibra.

4.6 TAMAÑO:

Otra característica importante en la fibra es que es considerablemente menor en tamaño que el cable de cobre, de hecho se puede decir sin lugar a duda que esta característica hace a la fibra especialmente útil en: Aeronaves y submarinos, donde el uso de cada centimetro es critico y aun mas la fibra puede ser instalada por lugares donde el cable normal no puede ser instalado. Conductos telefónicos instalados en el subsuelo de ciudades, en donde con frecuencia se llega muy pronto al limite de su capacidad y la instalación de nuevos ductos es extremadamente cara. La fibra ademas de substituir al cable normal por tamaño le sustituye por capacidad. Para ser mas concreto, un cable de 4.5 pulgadas de diametro tiene capacidad para 40,300 conversaciones simultaneas sobre distancias cortas, sin embargo un sistema de fibra de 0.5 pulgadas de diametro puede llegar a 1.75 millones de conversaciones en distancias medias. Oficinas en donde se instalan computadoras, en donde el cable es tal en tamaño y en rigidez que tiene que instalarse un suelo falso, el tamaño de la fibra y su flexibilidad pueden dar lugar a que el suelo falso no sea ya mas necesario.



TAMARO DE CABLE COAXIAL VS. TAMARO DE CABLE DE FIBRA OPTICA

4.7 RIESGO.

Como ya se ha venido mencionando la fibra es un dieléctrico, por lo tanto no representa un peligro como generador de chispas o fuego, de manera que no puede causar explosiones. De manera que es altamente valuable en ambientes considerados como altamente peligrosos, tales como las plataformas marinas o los tanques de combustible.

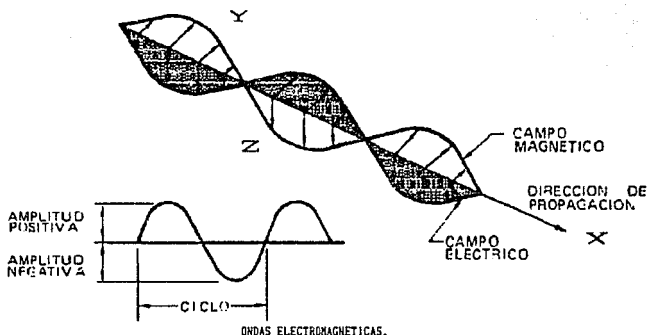
¿Alguna duda sobre la capacidad de transmisión de la fibra?...

5.0 ANTECEDENTES TEORICOS:

El estudio de las ondas guiadas por las fibras ópticas se basa en la teoría de los campos electromagnéticos.

Para ello se debe considerar a los campos eléctricos y magnéticos, como cantidades físicas dependientes del tiempo, y definidas en una región del espacio.

Se dice que la luz tiene una naturaleza electromagnética porque está constituida entre sí, por un campo eléctrico y un campo magnético mutuamente perpendiculares y puede ser representada vectorialmente en el espacio:



ONDAS ELECTROMAGNETICAS.

Las ecuaciones que describen los vectores de campo, variando con respecto al tiempo, son las ecuaciones fundamentales del electromagnetismo, conocidas también como ecuaciones de Maxwell.

Estas ecuaciones encierran en sí, el hecho de que el campo eléctrico E variable con el tiempo, induce un campo magnético B también variable con el tiempo, quien a su vez genera un campo eléctrico E, y el proceso continúa con E y B acoplados uno al otro en forma de un pulso, y en el espacio libre la perturbación electromagnética se propaga en una dirección normal al plano formado por E y B, tal como se muestra en la figura anterior.

Las ecuaciones de Maxwell que describen el comportamiento de una onda electromagnética son las siguientes:

$$\text{Ley de Gauss de la electricidad} \quad \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = 1/\epsilon_0 \int \rho dV.$$

$$\text{Ley de Gauss del magnetismo} \quad \oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = 0$$

$$\text{Ley de Ampere} \quad \oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \int \mathbf{J} \cdot d\mathbf{s}$$

$$\text{Ley de Faraday} \quad \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\partial \Phi_B / \partial t$$

donde:

E=Campo eléctrico.

B=Campo magnético.

ϵ_0 =Permitividad eléctrica en el vacío.

ρ =Densidad de carga volumétrica.

μ_0 =Permeabilidad magnética en el vacío.

\mathbf{J} =Densidad de corriente.

∂ =Derivada parcial.

Las ecuaciones anteriores pueden combinarse para reducirse a:

$$\nabla^2 \cdot E = \epsilon_0 \mu_0 (\partial^2 E / \partial t^2)$$

$$\nabla^2 \cdot B = \epsilon_0 \mu_0 (\partial^2 B / \partial t^2)$$

donde ∇^2 interpretese como el laplaciano.

Al haber una carga en movimiento se genera una perturbación en el espacio formando un campo electromagnético. Una onda electromagnética es la manifestación de un pulso en las tres dimensiones producido por los campos eléctrico y magnético, ahora bien, puesto que E y B son campos en el espacio, entonces el laplaciano ∇^2 esta operando sobre cada componente de E y B, por lo tanto las ecuaciones anteriores se pueden considerar como seis ecuaciones en forma escalar:

$$E_x: \quad \partial^2 E_x / \partial x^2 + \partial^2 E_x / \partial y^2 + \partial^2 E_x / \partial z^2 = \epsilon_0 \mu_0 (\partial^2 E_x / \partial t^2)$$

y de una manera similar para E_y , E_z , B_x , B_y , & B_z .

Cada una de estas ecuaciones obedece a la ecuación diferencial escalar de onda:

$$\partial^2 \psi / \partial x^2 + \partial^2 \psi / \partial y^2 + \partial^2 \psi / \partial z^2 = 1/V^2 (\partial^2 \psi / \partial t^2).$$

Si y solo si:

$$V = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}. \quad (1.1)$$

Usando los resultados de Weber (1804-1891) y de Kohlrouch (1809-1858), Maxwell encontró que:

$$\epsilon_0 \mu_0 = 11.12 \times 10^{-18} \text{ [s}^2/\text{m}^2\text{]}$$

Sustituyendo este valor en la ecuación (1.1), se puede llegar a determinar que la velocidad de la luz en el espacio libre está dada por:

$$V = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0} = 3 \times 10^8 \text{ [m/s]}$$

Valor que comprueba el carácter electromagnético de la luz.

La permeabilidad y permitividad relativas del medio se expresan en términos de E y ϵ_0 , y μ y μ_0 , donde E y μ son la permitividad y la permeabilidad del medio, esto es:

$$\epsilon_r = E/\epsilon_0; \quad \mu_r = \mu/\mu_0$$

Al introducir un dieléctrico homogéneo en una región del espacio libre, se requiere cambiar ϵ_0 por ϵ_r y μ_0 por μ_r , en las ecuaciones de Maxwell, de tal manera que ahora tendremos:

$$V_0 = c = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0} \quad \text{y} \quad V = 1/\sqrt{\epsilon \mu}$$

Que son las expresiones para la velocidad de fase de onda en el vacío y en la materia, respectivamente.

La razón entre las velocidades de una onda electromagnética en la materia y en el vacío, es lo que se llama índice de refracción absoluto n , y está dado por :

$$n = c/v = \sqrt{(\epsilon\mu/\epsilon_0\mu_0)}$$

Tal valor puede ser expresado en términos de la permitividad y permeabilidad relativa del medio, antes definidas:

$$n = \sqrt{(\epsilon_r\mu_r)}$$

Ahora bien, para la mayoría de las sustancias, la permeabilidad relativa μ_r , es muy cercana a uno, por lo que la asumiremos como $\mu_r=1$, de esta manera se obtiene la expresión:

$$n = \sqrt{\epsilon_r}$$

Relación conocida como la relación de Maxwell.

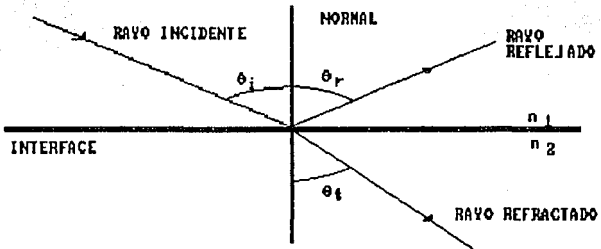
La siguiente tabla nos muestra los índices de refracción para algunas sustancias:

Sustancia	ϵ_r	n
Gases a 0°C y 1 atm		
Aire	1.000294	1.000147
Helio	1.000034	1.000017
Hidrógeno	1.000131	1.000065
Bióxido de carbono	1.0049	1.002447
Líquidos a 20°C		
Benceno	1.51	1.2288
Agua	8.96	2.9933
Etanol	5.08	2.2539
Bisulfuro de carbono	5.04	2.2450
Sólidos a 20°C		
Diamante	4.06	2.0149
Ambar	1.61	1.2689
Sílice fundida	1.94	1.3928
Cloruro de sodio	2.37	1.5395

FUENTE: "FIBRAS OPTICAS, ITESM".

5.1 CONCEPTOS DE REFLEXION Y DE REFRACCION:

Pensemos por un momento en una onda plana monocromática incidiendo en una interfase que separa dos medios transparentes diferentes entre sí:



- La normal es una línea imaginaria, perpendicular a la interface de los dos materiales.
- El ángulo de incidencia es el ángulo entre el rayo incidente y la normal.
- El ángulo de refracción es el ángulo entre el rayo refractado y la normal.

Cuando la onda choca con la interface, cambia de velocidad y por lo consiguiente de dirección, por lo que parte de ella se refleja y parte de ella se trasmite.

A la sección de la onda que se trasmite se le llama refracción, y a la sección de la onda que se refleja se le ha dado a llamar reflexión.

La cantidad de luz que sea refractada, dependerá de los índices de refracción de los dos materiales.

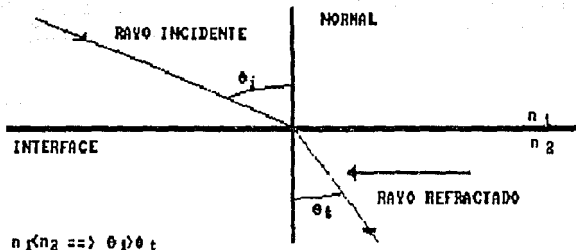
La ley de la reflexión predice que $\theta_i = \theta_r$, debido al camino óptico recorrido por el frente de onda, con lo que se establece que:

$$n_i \sin \theta_i = n_r \sin \theta_r$$

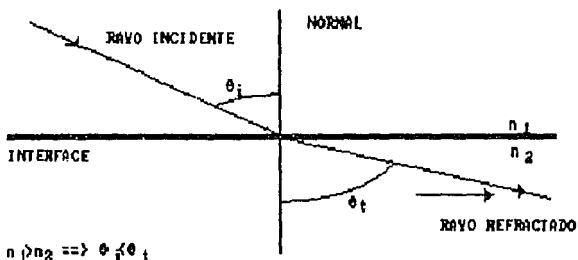
Y de la misma manera: $n_i \sin \theta_i = n_t \sin \theta_t$ relación conocida bajo el nombre de ley de refracción, o ley de Snell, la cual puede escribirse como:

$$\sin \theta_i / \sin \theta_t = n_t i; \text{ donde } n_t i = n_t / n_i$$

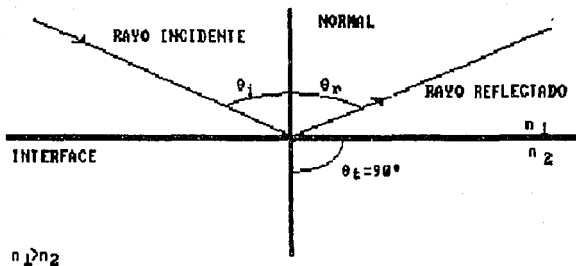
Analizando esta ecuación y las situaciones que pudieran llegar a presentarse, tenemos que: La luz pasando de un material con un índice de refracción menor a un material con un índice mayor, tendremos que el ángulo de incidencia será mayor al ángulo de refracción, de manera que el rayo refractado tenderá a acercarse a la normal:



Sin embargo si la luz va de un material con un indice de refraccion mayor a uno con indice de refraccion menor, originara que el ángulo de incidencia sea menor al ángulo de refracción, y con ello la luz tiende a alejarse de la normal:



Un caso muy especial sería cuando el ángulo de transmisión estuviera a 90° con respecto a la normal, entonces: $n_1 \sin \theta_i = n_2$, en donde θ_i tiene el nombre de ángulo crítico, ya que es en ese punto en donde no existe el haz refractado y la reflexión que ocurre es interna y total.



5.2 REFLEXIONES DE FRESNEL:

Aunque la luz pase de un índice a otro índice, una pequeña porción es siempre reflejada en el primer material. a estas reflexiones se le llaman reflexiones de Fresnel. Una gran diferencia entre los índices de refracción, resultaría en una gran porción de luz reflejada en el primer material. La reflexión de Fresnel (σ) en la frontera entre el aire y otro material equivale a:

$$\sigma = \left[\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right]^2$$

A su vez, esta pérdida en potencia luminica es:

$$db = 10 \log_{10}(1 - \sigma)$$

Es importante recalcar que esta pérdida se hace presente únicamente cuando la luz entra y cuando sale de la fibra.

SECCION SEGUNDA

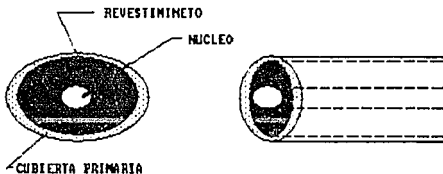
**COMPONENTES DE UN SISTEMA DE
TRANSMISION MEDIANTE FIBRA OPTICA.**

1.1 ESTRUCTURA DE LA FIBRA OPTICA:

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

La fibra óptica se compone de dos filamentos concéntricos de forma cilíndrica. El filamento que se encuentra en la parte interior es el núcleo y es el encargado de guiar la luz que se incide por alguno de sus extremos. El filamento externo lleva por nombre revestimiento y es el complemento óptico del núcleo, es decir, su función consiste en reflejar la luz hacia el centro de la fibra, atrápandola dentro del núcleo.

Los elementos mencionados anteriormente, es decir, tanto el núcleo como el revestimiento forman la fibra óptica, sin embargo el fabricante la proporciona con una capa adicional llamada recubrimiento primario, que veremos posteriormente.



1.2 CLASIFICACION DE LA FIBRA OPTICA:

La fibra óptica se clasifica de varias formas, entre las más comunes encontramos, según el material con el que se han construido tanto el núcleo como el revestimiento, de acuerdo a los índices de refracción en el núcleo, y el revestimiento y, por la cantidad de modos que puede propagar.

Clasificación según el material de su construcción:

Se conoce como fibras de tipo I a las fibras de vidrio, es decir que tienen núcleo de vidrio y revestimiento de vidrio, un dato curioso es que la pureza del vidrio con que se fabrican estas fibras es tal, que si tuviéramos el mar hecho con este tipo de vidrio, podríamos observar el fondo del océano y las criaturas que en él habitan, sin embargo, se añaden impurezas al vidrio para lograr los índices refracción deseados, mas adelante profundizare mas en los materiales usados para su construcción y la técnica empleada para ello, no obstante, cabe recalcar que este tipo de fibra es la que ofrece menores pérdidas, grandes distancias de transmisión, y mayores velocidades de transmisión, sin embargo son delicadas, y relativamente caras.

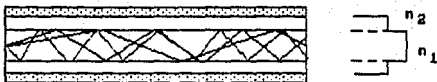
La fibra de tipo II son las fibras de núcleo de vidrio y recubrimiento de plástico (PCS), su desempeño no es tan bueno como el de las fibras de vidrio, sin embargo aun es aceptable, este tipo de fibras se usan en enlaces medianos, es decir distancias no mayores a los 10,000 metros, su costo es inferior, sin embargo debido a que la relación costo beneficio se inclina mas hacia la fibra de vidrio, esta fibra no es muy comercial.

Las fibras de tipo III, son las fibras cuyo núcleo y revestimiento son de plástico, tienen serias limitaciones en cuanto a ancho de banda y muchas pérdidas, sin embargo su costo es muy bajo y no requieren de cuidados especiales para su instalación y manejo, por lo que se han hecho especialmente atractivas para usos en donde las distancias a comunicar son muy cortas, el volumen de información y la velocidad de transmisión por ella no son aspectos criticos.

Otra forma de clasificar a las fibras es de acuerdo a los índices de refracción del núcleo:

Los núcleos de las fibras se construyen con varios perfiles:

El perfil escalonado es aquel en donde el índice de refracción del núcleo es constante, por lo que se establece una diferencia repentina entre el índice de refracción del núcleo y el índice de refracción del revestimiento.



PERFIL DE TIPO ESCALONADO

El perfil de índice graduado tiene dos formas de variación, una graduación en forma triangular y una graduación en forma parabólica;

En el perfil de índice gradual triangular, el índice de refracción del núcleo disminuye en forma gradual desde el eje de la fibra hacia el revestimiento, haciendo menos brusca la diferencia entre los índices de refracción, de manera que el cambio en la incidencia del rayo en la frontera con el revestimiento no sea tan brusco como en el perfil de índice escalonado;

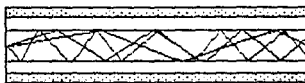
En el perfil de índice graduado parabólico el material del núcleo tiene una variación de su índice de refracción variable en forma parabólica desde su eje hacia el revestimiento, de manera que la diferencia en los índices de refracción en la interface núcleo-revestimiento no es notable, este tipo de perfil es el que mejores características presenta para la propagación de luz en su interior.



PERFIL DE INDICE GRADUAL PARABOLICO

Finalmente mencionaré otra clasificación de la fibras, basada en el número de modos que puede propagar.

El modo es un concepto físico matemático que describe la propagación de las ondas electromagnéticas a través de un medio, es decir, un modo es la trayectoria que un rayo de luz puede seguir en su paso por la fibra. En su forma matemática la teoría de los modos se deriva de las ecuaciones de Maxwell. El número de modos va desde uno hasta 100,000, a la fibra que solo permite una sola trayectoria de luz se le conoce como fibra monomodo, mientras que a la que permite que una variedad de trayectorias pasen por ella se le conoce como fibra multimodo.



PERFIL DE INDICE ESCALONADO MULTIMODO



PERFIL DE INDICE ESCALONADO MONOMODO



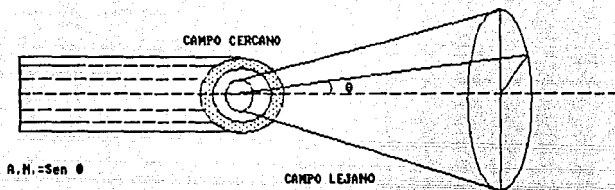
1.3 PARAMETROS ESTRUCTURALES DE LA FIBRA:

Los parámetros estructurales definen la geometría y dimensiones de la fibra óptica:

Apertura numérica:

La apertura numérica es un parámetro adimensional de la fibra que nos indica el ángulo de aceptación de la luz, o simplemente la facilidad con que la fibra permite que la luz pase a través de ella. A aperturas numéricas muy grandes tendremos una alta eficiencia en su acoplamiento, de manera que se traduce en bajas pérdidas en los empalmes, las conexiones y en transmisión de información.

Una apertura numérica pequeña implicara empalmes y conexiones muy precisos, debido a su baja eficiencia en el acoplamiento, a su vez también requieren de fuentes de emisión muy precisas, lo que se traduce en transmisiones a alta velocidad, gran volumen y a grandes distancias.



A.N. = Sen θ

CAMPO LEJANO

El término de apertura numérica se originó en microscopía, donde la expresión equivalente caracteriza la capacidad correspondiente de la lente objetivo. La apertura numérica se define como:

$$A.N. = \text{sen } \theta_{\max}$$

Es el seno del ángulo máximo de aceptación, esto significa que no todos los rayos o modos que inciden en el núcleo podrán propagarse a lo largo de la fibra, sino solo aquellos que incidan formando un ángulo $\theta \leq \theta_{\max}$ lograrán hacerlo. θ_{\max} es el ángulo máximo que define el cono de aceptación del núcleo de la fibra.

Para que la luz se propague en el núcleo de la fibra deberá cumplirse que:

$$\theta \leq \theta_{\max} \text{ debe ser tal que } \theta > \theta_c :$$

Otra manera de definir la apertura numérica a partir de los índices de refracción es:

$$A.N. = n_1 \text{sen } \theta_1.$$

De la identidad $\text{sen}^2 \theta + \text{cos}^2 \theta = 1$, se obtiene:

$\text{sen } \theta = \sqrt{1 - \text{cos}^2 \theta}$; que sustituyendo tendremos:

$$A.N. = n_1 \sqrt{1 - \text{cos}^2 \theta} \Rightarrow A.N. = n_1 \sqrt{1 - \text{sen}^2 \theta}$$

Si θ es el ángulo crítico, θ_c , entonces:

$$A.N. = n_1 \sqrt{1 - (\text{sen}^2 \theta_c)} \Rightarrow A.N. = n_1 \sqrt{1 - (n_2^2 / n_1^2)}$$

De donde la apertura numérica queda expresada en términos de los índices de refracción del núcleo y del revestimiento; sin embargo es muy común que el fabricante de fibra óptica, no especifique los índices de refracción, a cambio especifica un número τ (diferencia normalizada de índices de refracción), dado por:

$\tau = (n_1^2 - n_2^2) / (2n_1^2)$ que en forma aproximada puede ser expresado como:

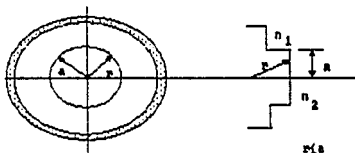
$$\tau = (n_1 - n_2) / n_1 = 1 - (n_2 / n_1)$$

Lo que expresado en términos de apertura numérica queda expresado como:

$$A.N. = n_1 \sqrt{2\tau}$$

Perfil de índice de refracción:

El perfil de índice de refracción de una fibra óptica, es un modelo que expresa al índice de refracción de la fibra como una función de la distancia radial, r , medida desde el centro del núcleo, hacia la interface.



Esta función, describe la variación radial del índice de refracción desde el eje del núcleo, hacia el revestimiento.

La propagación de los modos en una fibra, dependen de la forma de este perfil; y quedan definidos bajo la siguiente expresión:

$$n^2(r) = n_1^2 [1 - 2\tau(r/a)^g] \text{ para toda } r < a \text{ en el núcleo;}$$

donde: n_1 = Índice de refracción en el eje de la fibra ($r=0$).

τ = Diferencia normalizada de índices de refracción.

r = Distancia radial al eje de la fibra (en micrometros).

a = Radio del núcleo.

g = Exponente del perfil.

Si el exponente del perfil, $g = \infty$, entonces:

$$n^2(r) = n_1^2$$

Lo que significa que el índice de refracción dentro del núcleo es constante, por lo que se establecerá una diferencia abrupta entre los índices de refracción del núcleo y del revestimiento, a un perfil como este se le llama Perfil de índice escalonado.

Si el exponente del perfil, $g=2$, entonces:

$$n^2(r) = n_1^2 [1 - 2r(r^2/a^2)]$$

Lo que nos indica que hay una disminución gradual del índice de refracción del núcleo, desde su eje, hacia el revestimiento. Por consecuencia la diferencia de índices de refracción en la interface núcleo-revestimiento no es notable; A dicho perfil se le conoce con el nombre de Perfil de índice gradual parabólico.

Número de modos de propagación:

Tanto el diámetro del núcleo como la apertura numérica, definen un número adimensional, dado por:

$$V = (2\pi a(A.N)) / \lambda$$

donde λ = longitud de onda

El número de modos de propagación, N , en una fibra óptica, depende de:

$$N = (V^2 g) / [2(g+2)]$$

De manera que para una fibra de índice escalonado ($g=0$), tenemos que se expresa:

$$N = V^2 / 2$$

Mientras que para una fibra de índice graduado parabólico ($g=2$), se tiene que:

$$N = V^2 / 4$$

Longitud de onda de corte.

De la expresión anterior, podemos observar que la cantidad de modos que una fibra este en posibilidades de propagar dependerá de:

- a) Diámetro del núcleo.
- b) Apertura numérica.
- c) Longitud de onda.

Si en una fibra óptica, con perfil de índice escalonado ($g=0$), el parámetro V , se reduce a un valor por debajo de $V_{c0} = 2.405$ (valor que se obtiene evaluando el valor de x , en el primer cero de la función de Bessel $J_0(x)$), únicamente se podrá propagar un solo modo.

Para el caso de un perfil exponencial cualquiera, se tiene la aproximación:

$$V_c = V_{c0} \sqrt{(g+2)/g}.$$

Ahora bien despejando WL de: $V = (2\pi a(A.N))/WL$; tenemos que: $WL = (2\pi a(A.N))/V$; y si hacemos que V tome el valor crítico V_c , entonces también obtendremos WL_c .

$$WL_c = (2\pi a(A.N))/V_c.$$

A este valor se le conoce como Longitud de onda de corte, y se define como la longitud de onda límite para la cual se propagará un solo modo para todas las $WL > WL_c$; es decir, a partir de este WL_c , la fibra se comportará como una fibra monomodo, ya que solo permitirá la transmisión mediante un solo modo.

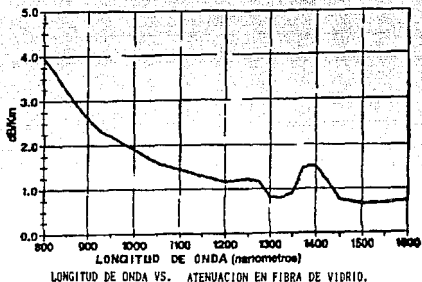
1.4 PARAMETROS DE TRANSMISION:

Los parámetros de transmisión definen las Características de transmisión de la fibra:

Atenuación:

La atenuación en la fibra óptica es la pérdida de la potencia óptica conforme la luz viaja a través de la fibra y se debe a la pérdida de algunos fotones, de manera que se va reduciendo la amplitud del pulso de luz.

Generalmente se mide en db/Km, y varía desde los 300 db/Km en fibras plásticas a 0.21 db/Km para fibras de vidrio del tipo monomodo.



Como se puede observar la atenuación varía con la longitud de onda de la luz.

Se define a una ventana de operación como una región de operación que tiene bajas pérdidas, la primera ventana está situada en los 850 nm, la segunda en los 1300 nm y la tercera en los 1500 nm.

Para la fibra óptica los equivalentes de la resistencia eléctrica son la absorción y la dispersión.

La atenuación por absorción se refiere a la conversión de la luz en calor y se debe a impurezas químicas y se divide en:

a) Atenuación por absorción intrínseca:

Ocurre cuando un material en estado normal es considerado perfecto, es decir, se considera al vidrio un material perfectamente transparente y los vidrios transparentes presentan fuertes bandas de absorción óptica en el ultravioleta y en el infrarrojo, sobre todo en la región de los 600 a los 1.500 nm.

b) Atenuación por absorción extrínseca:

Esta absorción se debe al tipo de impurezas que se van introduciendo en el vidrio:

- i) Para lograr la estructura deseada en los índices de refracción.
- ii) Por contaminación del material en la fabricación de la fibra.

En su mayoría son iones metálicos tales como el hierro, cobalto, cromo, cobre y vanadio, e hidroxidos que absorben significativamente la luz.

Atenuación por dispersión:

Es la pérdida de energía óptica debida a imperfecciones en la fibra o en la estructura interna de la fibra:

a) **Atenuación por dispersión intrínseca:**

Es cuando algunos rayos de luz dejan de ser guiados por la fibra, perdiéndose a lo largo de la trayectoria, es decir, el haz de luz se ha dispersado siendo ya no más direccional.

b) **Atenuación por inhomogeneidades en el vidrio:**

Se debe a variaciones en el índice de refracción del vidrio, menores al tamaño de la longitud de onda de propagación. Básicamente las podemos atribuir a fluctuaciones térmicas en el material y fluctuaciones en la concentración de óxidos en el vidrio.

c) **Atenuación de dispersión por aberración:**

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

En las fibras de índice gradual, este tipo de atenuación no puede ser cuantificado, ya que las imperfecciones se confunden con el material; En el caso de fibras con índice escalonado, estas imperfecciones sí se detectan y se presentan como pequeñas rugosidades entre la frontera del núcleo y del revestimiento.

Dispersión:

La dispersión es un fenómeno resultado de las diferentes velocidades a las que viajan las longitudes de onda a través de un medio dado.

La dispersión es un factor limitante que se presenta en cualquier tipo de cable óptico, este efecto se puede reducir utilizando una fuente de luz monocromática tal como el diodo LASER.

La dispersión en las fibras es la que causa limitaciones en cuanto al ancho de banda y se rige por los siguiente mecanismos:

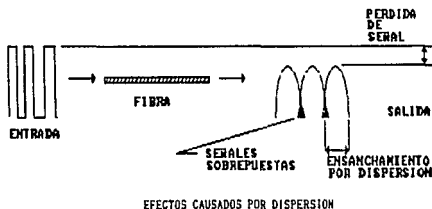
Dispersión modal:

Este tipo de dispersión no se debe al ancho espectral de la fuente que produce la luz, sino a la cantidad de modos que viajan a través de la fibra y la diferencia de velocidades entre uno y otro. Para una fibra monomodo, la dispersión modal será igual a cero.

Dispersión del material:

Esta dispersión tal como su nombre lo indica se debe al material con que este construida la fibra. en su mayoría estan construidas de vidrio, y este es un material dispersivo que cambia su indice de refracción en función de la longitud de onda, en otras palabras, si la longitud de onda varia, hay diferentes velocidades de propagación en el material.

Los efectos de dispersión en la fibra, pueden ser reducidos con un buen control de calidad en el proceso de fabricación de la fibra y al mismo tiempo usando la fibra con el perfil del indice de refracción adecuado al tipo de servicio que brindara.



Ancho de banda en las fibras ópticas:

El ancho de banda en la fibra es un parámetro que nos indica la capacidad de transmisión de información. para determinarla se debe tomar en cuenta la dispersión modal y del material, el perfil del indice de refracción, y las microdesviaciones que sufre la fibra en su uso v/o durante la instalación

Las técnicas de fabricación de las fibras ópticas imponen un ancho de banda límite que no deberá de ser sobrepasado por la velocidad de operación del sistema.

2.0 Metodos de fabricacion de la fibra:

Las fibras ópticas usadas en telecomunicaciones deben tener una estructura y un diseño que permitan su uso en los mas variados ambientes, en multiples configuraciones, que cumplan con los requerimientos ópticos de transmisión y de seguridad de acuerdo al medio en donde se emplearan.

Para la fabricacion de las fibras opticas, deben usarse materiales que cumplan con las Características mecánicas y ópticas deseadas, dichos materiales deben de cumplir con los siguientes requisitos:

- * Que puedan ser transformados en fibras largas, flexibles y delgadas.
- * Que sean transparentes en una longitud de onda en particular.
- * Que sean materiales compatibles físicamente, pero con pequeñas diferencias en el índice de refracción.

El vidrio y el plastico son los materiales que mejor se ajustan a estos requerimientos.

2.1 Materiales usados en la fabricación de las fibras:

Como ya se ha venido comentando a lo largo de este capítulo, la fibra en forma comercial se fabrica bajo tres criterios:

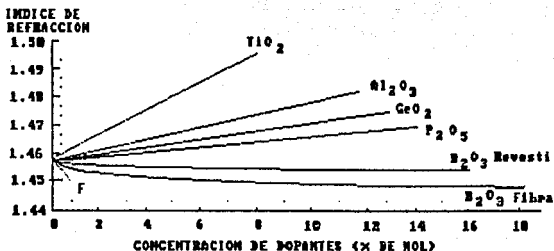
Fibras de vidrio:

El vidrio que se usa es elaborado fundiendo mezclas de óxidos de metal, sulfuros o selenuros, de tal manera que se obtiene una red molecular conectada en forma aleatoria, como en los cristales.

Esta característica hace que el vidrio no tenga un punto de fusión exacto, sino que tenga un extenso rango de temperaturas en la cual se vuelve lo suficientemente fluido como para librarse de burbujas de gas.

Debido a su transparencia el vidrio que mas se usa es el cuarzo, para lograr las variaciones en los índices de refracción se agregan materiales tales como el fluor, B_2O_3 , GeO_2 , o P_2O_5 . A tal proceso se le conoce con el nombre de DOPADO.

Se puede dopar tanto el núcleo como el revestimiento o ambos, dependiendo del tipo de perfil de índice de refracción que se desee obtener, la siguiente tabla nos muestra el efecto de cada uno de los dopantes en el índice de refracción.

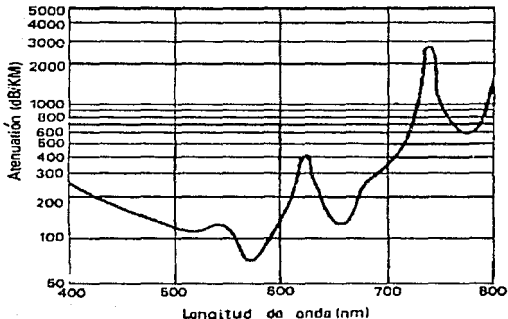


Fibras plásticas:

Por lo general se tiene que el núcleo es de un polímero polimetil metacrilato, y el revestimiento es de un polímero fluórico. Debido a que tanto el núcleo como el revestimiento son elaborados a base de materiales plásticos la fibra plástica no requiere de protecciones especiales contra la humedad ni es susceptible de pérdidas debidas a hidróxidos tal como sucede en la fibra de vidrio. Esta característica hace que el proceso de manufactura tanto de la fibra como del cable sea más económico y con ello baja el precio de un sistema a base de fibras plásticas.

Por otro lado es importante considerar que debido a las Características de los materiales con que se construye la fibra plástica las ventanas de operación no son las mismas que para la fibra de vidrio, esto es, se opera en longitudes de onda de 650 y 770 nm, y por lo consiguiente el volumen de información que se maneja es menor: Su apertura numérica es superior a las fibras de vidrio, debido a ello su aplicación en conectores es muy sencilla y no requiere de equipos de aplicación altamente complicados y costosos

Las fibras plásticas son para enlaces muy cortos debido a que tienen una atenuación muy alta (≥ 300 db/km a 650 nm), ya que tienen una mayor resistencia radial y una mayor durabilidad son a su vez empleadas como sensores, como dispositivos ópticos, como guías de luz, para decoración e inclusive para juguetes.



LONGITUD DE ONDA VS. ATENUACION EN FIBRAS PLASTICAS.

Fibras de vidrio con revestimiento de plástico:

Se usan en transmisiones a corta distancia, donde se pueden tolerar altas pérdidas.

Su núcleo es de cuarzo y el revestimiento está hecho de un material polimero de menor índice de refracción.

Debido a que la fibra que mejores Características presenta para la transmisión de datos es la fibra de vidrio, se centrará el estudio en este tipo de fibra.

2.2 Métodos y técnicas en la fabricación de la fibra:

La calidad de la fibra óptica dependerá en gran manera de la técnica usada para su fabricación.

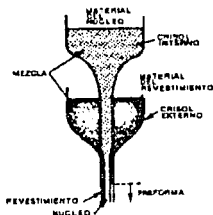
La selección del método adecuado para su fabricación es el resultado de un balance entre las posibilidades económicas del fabricante, el grado de control sobre la composición de la fibra y su geometría.

Fusión directa:

La técnica de fusión directa por el método del doble crisol fue de los primeros métodos que se usaron en la fabricación de la fibra, su principio básicamente se centra en la obtención y manejo tradicional del vidrio y consiste en: Seleccionar cuidadosamente los materiales que compondrán tanto al núcleo como al revestimiento.

Posteriormente estos materiales debidamente cuantificados se colocan en forma separada en un crisol, en donde son debidamente fundidos y agitados hasta que se logra una mezcla uniforme, una vez que se ha logrado esto, se colocan guías en forma de semillas que guiarán al vidrio por la cavidad del crisol, en donde una vez afuera se solidifica, resultando una especie de cilindro de varios metros de largo, este procedimiento se realiza para los materiales que compondrán tanto el núcleo como el revestimiento. Las varillas que se han obtenido de ambos materiales son colocadas simultáneamente en un crisol doble concéntrico, en el crisol interno se coloca el vidrio que formará parte del núcleo y en el crisol externo se colocará el vidrio que formará parte del revestimiento, a la salida de los crisoles tendremos una la fibra ya lista para que se le coloque su recubrimiento primario.

Si bien es cierto que se fabrica fibra bajo este método, su popularidad ha decrecido mucho debido al desarrollo de métodos y técnicas más modernas. Las desventajas que este método presenta son: se tienen fibras con una alta dispersión. Se tiene una resistencia y una durabilidad mecánicas reducidas y se tienen altas pérdidas por la baja pureza en la fibra, sin embargo es un proceso continuo y muy económico comparado con los demás y para bajas longitudes de onda se tiene grandes aberturas numéricas.



FUSION DIRECTA POR EL METODO DEL DOBLE CRISOL.

Técnica de deposición de vapores químicos:

Esta técnica tiene su origen en la industria de los semiconductores y del vidrio, se adoptó por la pureza y la limpieza que se logran en el proceso de fabricación de la fibra, y básicamente consiste en generar vapores de óxidos de metales, que al ser calentados por quemadores forman un polvo fino de cuarzo dopado.

El polvo queda suspendido, y mediante calor se aglomera, a lo que se le llama sinterizado, y es por medio de este proceso que la capa de polvo queda consolidada, adicionalmente, en algunas técnicas se requiere de un proceso de colapsado, en donde se eliminan los posibles huecos que hayan quedado en el material.

Cabe recalcar que la fibra obtenida bajo este proceso requiere de un proceso de estirado, el cual parte de la preforma y termina con la longitud del carrete de fibra final.

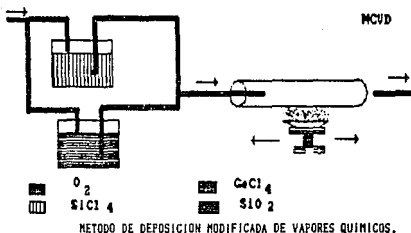
Método de deposición modificada de vapores químicos.

Este método fue inicialmente desarrollado por los laboratorios Bell en 1974 y consiste en usar un tubo fundido de cuarzo de alta pureza como molde. Este tubo se coloca en una especie de torno que lo hará girar a un régimen constante de revoluciones, debajo del tubo están colocados unos quemadores con movimiento axial, de manera que se haga llegar el calor a todo lo largo del tubo, el proceso comienza calentando el tubo a una temperatura de 2.000°C para eliminar irregularidades superficiales y cualquier burbuja que pudiera existir, inmediatamente se comienza a suministrar un gas inerte cuya función será la de recoger los vapores de los halogenuros de metal de recipientes presurizados llamados burbujeadores, el gas resultante es alimentado dentro del tubo para efectuar la deposición. Al tener el quemador en movimiento logramos que la superficie este caliente y con ello se lleve a cabo la reacción química de los halogenuros de metal y oxígeno, formándose partículas de vidrio que se depositan delante del quemador, y como el quemador se desplaza en la misma dirección que el flujo de gas, las capas depositadas son sinterizadas inmediatamente después de la deposición.

Normalmente se colocan de 30 a 100 capas, y agregando dopantes al flujo de gas se pueden fabricar preformas con índice graduado o escalonado.

Debido a que las partículas depositadas no exhiben una textura vítrea, se requiere de un proceso adicional de consolidación, que se logra mediante un barrido del quemador a lo largo del tubo, finalmente se colapsa mediante calor, dando como resultado una varilla sólida llamada preforma.

Los problemas que presenta este proceso es que es un proceso discontinuo, requiere de tubos de cuarzo de alta pureza, aparece una hendidura en el centro del núcleo, y el tamaño de la preforma es limitado, sin embargo presenta una baja contaminación por la deposición del tubo, posibilidad de eliminar los elementos OH y es un proceso flexible, versátil, fácil de modelar, lo que se traduce en una buena relación costo beneficio hasta la fecha.

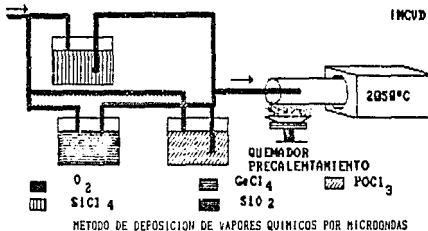


Deposición de vapores químicos por microondas:

Este método se desarrolló por Ericsson y tiene el mismo principio básico de operación, sin embargo difiere que en lugar de usar un quemador se usa un sistema de microondas. El vidrio de cuarzo a temperatura ambiente no absorbe las microondas, sin embargo a partir de los 500°C la absorción se incrementa en forma notable, de tal forma que las microondas penetran en toda la masa del vidrio lográndose un calentamiento completamente homogéneo.

Debido a esta característica, se han usado tubos de cuarzo más gruesos que los convencionales, de manera que se pueden obtener preformas de mayor tamaño, que a la larga se traducen en una longitud mayor de fibra.

Las ventajas que nos ofrece son una baja contaminación, y un calentamiento homogéneo aunque sigue siendo un proceso discontinuo, requiere del tubo de cuarzo y la preforma obtenida tiene un orificio.



Método de deposición de vapores por plasma:

En este método desarrollado por Phillips, las preformas se producen de una manera similar, lo que difiere es la técnica empleada para producir la reacción.

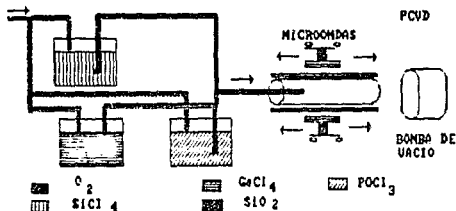
En un horno se introduce un tubo de cuarzo de alta pureza en el que se inyecta un gas, el cual se excita por medio de microondas, de manera que después del proceso se obtiene un plasma, es decir un gas ionizado o descompuesto en sus cargas eléctricas. Al reunificarse estas, se libera calor que se utiliza para fundir materiales que requieren altas temperaturas para este fin, luego, con oxígeno se forma óxido de silicio.

Las partículas formadas en este proceso se precipitan directamente sobre las paredes del tubo, formando una capa de vidrio.

Debido a la velocidad que se da a los hornos de microondas, se pueden producir más de mil capas delgadas de vidrio, lo que permite una gran exactitud en los índices de refracción.

Posteriormente la preforma se somete a un proceso de estirado.

Debido a la naturaleza del proceso se tendrá como resultado una preforma con muy baja contaminación y un calentamiento homogéneo, sin embargo no deja de ser un proceso discontinuo que requiere de un tubo de cuarzo y que la preforma obtenida se tiene que colapsar.



METODO DE DEPOSICION DE VAPORES POR PLASMA.

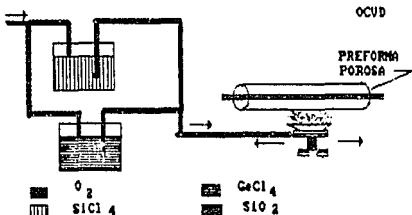
Deposición externa de vapores químicos.

El método de deposición externa desarrollado por Corning Glass, básicamente difiere en que las partículas de vidrio son colocadas externamente sobre un miembro central.

La capa de tizne surge de un quemador de oxígeno y metano que posee varias salidas concéntricas, el tizne se deposita sobre un mandril hecho de una varilla de cerámica o grafito, la cual se ha montado previamente en un torno para su rotación.

Al finalizar el proceso de deposición, se retira el mandril que sirvió de guía, lo que dejará una preforma de vidrio poroso que tiene que ser sinterizado y colapsado, para finalmente ser colocada en un maquina de estiramiento.

Las ventajas con que cuenta este método es que se tiene un buen control sobre el índice de refracción, sobre las dimensiones de la preforma, se pueden obtener preformas de tamaños diversos, y finalmente no requiere de un tubo de cuarzo; se puede mencionar como desventajas que la amplitud numerica es alta, se requiere de un control muy complejo y preciso sobre la deposición, la fibra es susceptible de fracturarse por un shock termico y alguna contaminación en la fibra por impurezas en los halogenúros de reacción.



DEPOSICION EXTERNA DE VAPORES QUIMICOS.

Método de deposición axial de vapores:

En este metodo desarrollado en Japon por trabajadores de la NTT, las partículas de vidrio son colocadas sobre una guía de cuarzo en forma vertical, a diferencia de los otros métodos para este caso los quemadores permanecen inmóviles, siendo la varilla la que es rotada y por consecuencia impregnada de las partículas de vidrio.

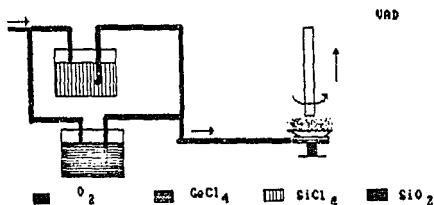
Para producir fibra monomodo se usan dos quemadores uno para el núcleo y otro para el revestimiento, para fibra multimodo un solo quemador puede realizar el trabajo, sin embargo aumentando el número de quemadores la velocidad del proceso aumenta.

El control del perfil del índice es bajo los siguientes parámetros:

- La estructura del quemador.
- La posición del quemador.
- La distancia entre el quemador y la varilla.
- La temperatura de la flama.
- El flujo de vapores.
- La temperatura de la preforma.
- Y la concentración de los contaminantes.

La varilla se introduce posteriormente en un anillo de carbón que realiza la función de sinterizado, finalmente se estira.

Definitivamente la ventaja mas grande es que este proceso es el único constante, la preforma no contiene materiales extraños, se tiene un bajo indice de radicales OH y la razon de deposición es constante, sin embargo se requiere de controles extremadamente complejos, y se tienen problemas para controlar tanto la densidad del tizne como la circularidad de la fibra.



METODO DE DEPOSICION AXIAL DE VAPORES.

Estirado y acabado final de la fibra:

Cuando el método de fabricación de la fibra requiere de un proceso de estirado, este se lleva a cabo de la siguiente manera:

La preforma es limpiada y pulida con objeto de evitar que cualquier impureza pudiera debilitar las propiedades mecánicas de la fibra.

Posteriormente la fibra es sometida a temperaturas que oscilan alrededor de los $2200^{\circ}C$ en donde se funde y se estira, sin embargo se debe prestar especial atención en que la atmosfera bajo la cual se lleva a cabo este proceso sea limpia y sin turbulencia térmica.

A la salida del horno se tiene especial cuidado en el control del diámetro de la fibra, ya que este es crucial.

Posteriormente se cubre a la fibra con una capa de acrilato epóxico cuya función es la de proporcionar una protección mecánica axial y evitar la adhesión de contaminantes a la fibra, este proceso debe llevarse a cabo bajo una cierta velocidad que asegure que la cubierta primaria cubrirá en su totalidad a la fibra.

Finalmente la fibra se pasa por una serie de poleas en donde se le da la tensión adecuada, y se enrolla sobre un carrete para su posterior traslado al Área de uso.

Antes de finalizar con este tema es conveniente recalcar, que si bien es cierto que el método y la técnica de fabricación en la fibra determinaran en mucho el desempeño final del sistema, el fabricante es el responsable de proveer un producto que iguale o supere las especificaciones de la fibra, de manera que bajo contadas excepciones lo que se buscara en una fibra óptica son parámetros estructurales y de transmisión determinados, lo riguroso que sean estos parámetros determinaran en si la técnica de fabricación de la fibra, y con ello al fabricante indicado.

3.0 Cables de fibra optica:

En la mayoría de los casos la fibra optica tiene que ser protegida para poder ser usada, esta proteccion debe ser contra esfuerzos mecánicos, humedad y otros factores que afectan el desempeño de la fibra.

Esta protección variará de acuerdo con el lugar en donde vaya a ser instalada la fibra, ya que cada aplicación requiere de un diseño específico, aunque definitivamente existen principios fundamentales que tienen que ser aplicados para la correcta protección.

El mecanismo de propagación de la fibra óptica es diferente al mecanismo de propagación del cable de cobre. sin embargo, el proposito basico de construcción del cable de fibra optica es el mismo que para el cable de cobre. Este proposito es el de mantener estable la transmisión y las propiedades de rigidez mecánica durante el proceso de manufactura, instalación y operación.

De manera tal que las propiedades que un cable de fibra óptica debe de tener son: Flexibilidad, identificación de fibras, peso, torsión, vibración, límite de tensión, facilidad de pelado, facilidad de cortado, facilidad de alineación del cable y de la fibra, resistencia química, resistencia al fuego, resistencia a la penetración de agua, atenuación estable, etc.

3.1 Propiedades mecánicas de la fibra:

Tal como ya lo había comentado los factores que deben de ser considerados en la construcción de el cable de fibra óptica son los tipos de esfuerzos mecánicos a los que el cable será expuesto durante la manufactura, instalación y operación, ya que las microcurvaturas, torceduras, y tensiones excesivas resultantes de una inadecuada protección o selección del cable pudieran resultar fatales para la vida y la transmisión por medio de la fibra óptica.

Las microcurvaturas:

Son dobleces o desviaciones microscópicas en el eje de la fibra causadas por fuerzas laterales localizadas a lo largo de la fibra, tales esfuerzos puede ser ocasionados por maltratos o abusos durante la fabricación, instalación o a una inadecuada protección contra los cambios de temperatura.

Para evitar este defecto, se debe de considerar un diseño apropiado en las cubiertas de la fibra, de manera que: se eviten cargas o esfuerzos mecánicos sobre la fibra, la fibra este aislada de los otros componentes del cable, se mantenga a las fibras cerca del eje central del cable, las fibras tengan espacio suficiente para acciones de mantenimiento, y los materiales de los elementos del cable tengan los coeficientes de expansión térmica mas parecidos posibles.

Esfuerzos:

Los esfuerzos dinámicos y residuales en la fibra pueden causar la ruptura si se exceden del límite de esfuerzo de la fibra.

La fortaleza de la fibra esta gobernada principalmente por el tamaño de las imperfecciones, que estan presentes en la superficie del vidrio, estas imperfecciones pueden crecer con el tiempo bajo la influencia de tensiones, lo que provoca que el vidrio se debilite, este proceso aumenta si hay presencia de humedad, un buen diseño limitara el esfuerzo continuo a niveles tolerables para prevenir el crecimiento de fallas superficiales que eventualmente podrán conducir a la fractura de la fibra.

Humedad:

La resistencia a la tensión longitudinal de la fibra se reduce en presencia de humedad, al igual que el tiempo a la falla estática.

Para evitar una falla por este concepto se utilizan compuestos de relleno impermeables, barreras contra la humedad y presurización con gas.

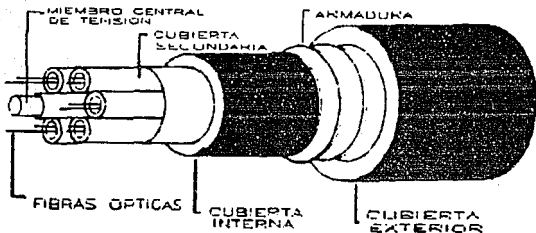
3.2 Componentes del cable de fibra óptica.

Los parámetros que deben de ser considerados para una adecuada protección de la fibra dentro del cable son:

- 1) El esfuerzo máximo permitido en la fibra durante su fabricación, instalación y servicio, de esta manera se considerara la fuerza de ruptura de la fibra y la fuerza requerida para el miembro de tensión.
- 2) La fuerza lateral dinámica y estática máxima ejercida sobre la fibra, ya que así se determinara la configuración del cable y el límite de tolerancias de microcurvaturas.
- 3) La flexibilidad necesaria tanto para su instalación como para las condiciones de funcionamiento a las que sera sometida, este parámetro es la pauta para seleccionar el tipo de miembro de tensión y su estructura.
- 4) El rango de temperatura y medio ambiente en donde estará colocado el cable, ya que de esta manera se hará la selección adecuada de los materiales a usar y las barreras necesarias contra la humedad.
- 5) Número y tipo de fibras a contener, ya que dependiendo de el tipo de fibra y su numero sera necesario tomar en consideración la consistencia y la configuración del cable.

En suma el cable de fibra óptica que sea seleccionado deberá tener algunos de los siguientes componentes:

- * Cubierta primaria.
- * Cubierta secundaria.
- * Miembro de tensión.
- * Barreras contra la humedad.
- * Armaduras.
- * Cubiertas externas.



COMPONENTES DE UN CABLE DE FIBRA OPTICA.

3.3 Cubierta primaria:

La cubierta primaria es una cubierta de acrilato epóxico que se le aplica a la fibra en el momento de su fabricación, con el fin de protegerla contra la penetración de la humedad, la creación de microfisuras o daños superficiales a la fibra, contra esfuerzos mecánicos y finalmente proporcionarle dimensiones adecuadas para su manejo.

En algunas ocasiones y a petición del cliente esta cubierta se entrega teñida de algún color, generalmente rojo o azul, ello con el fin de ayudar a la identificación de las fibras durante su empalme, conexión y mantenimiento.

3.4 Cubierta secundaria:

La cubierta secundaria tiene la función de proteger a la fibra contra esfuerzos mecánicos y puede ser del tipo holgado o apretado. Esta cubierta puede ser teñida a petición del cliente.

La cubierta de tipo apretado, es un recubrimiento de polietileno, polipropileno, nylon o poliéster aplicado directamente sobre la cubierta primaria, se aplica mediante una línea de extrusión, debido a ello se tiene especial cuidado en no dañar la fibra, por los cambios de temperatura. Debido al proceso mismo de aplicación del tubo apretado, se llegan a presentar pérdidas de hasta 0.1 db/km; este tipo de cubierta resulta ideal cuando: el número de fibras a manejar no es muy grande, se requiere de gran flexibilidad y un cable de tamaño reducido.

La cubierta de tipo holgado es un tubo termoplástico de tamaño tal que le permita a la fibra libertad interna de movimiento, de modo que la fibra queda aislada de los esfuerzos de tensión a los que se somete el cable durante su instalación. Dentro de cada tubo holgado se recomienda que no se coloquen mas de seis fibras, con el fin de que las fibras tengan espacio suficiente para su reacomodo sin dañarse. Para ello la fibra es de una longitud mayor a la del tubo, además se coloca en una configuración de hélice pero con un paso muy grande, no obstante la fibra no deberá ser extremadamente larga, ya que el paso de la hélice se acortaría originando microcurvaturas. Finalmente el interior del tubo holgado se rellena de un material no hidróscopico, para una protección mas eficaz contra la humedad. Por su estructura y sus dimensiones este tipo de cubierta resulta ideal para aplicaciones en donde la estructura del cable es robusta.

3.5 Miembros de tensión:

El miembro de tensión incrementa la carga permitida en un cable, para tal fin, este, debe de presentar un módulo de elasticidad alto, un limite elástico alto, buena flexibilidad, un coeficiente de expansión térmico muy similar a los otros elementos del cable, un precio accesible y bajo peso por unidad de longitud.

Los materiales mas frecuentemente usados para este fin son:

El acero. se usa como alambre o cable en la parte central del cable, o bien como fleje o malla en la armadura, dependiendo del uso final del cable, se pueden disponer de una variedad de aceros con distintos grados de fuerza a la tensión, su inconveniencia radica en que es de peso considerable y por ser un metal no es posible usarlo, en donde se requiere un cable 100% dieléctrico.

Filamento plástico. es poliéster especialmente procesado para dar un módulo alto de elasticidad y estabilidad a altas temperaturas, por lo que se tiene como resultado una superficie cilíndrica de gran resistencia mecánica y poco peso.

Fibras sintéticas. para poder usar fibras es necesario agruparlas o bien trenzarlas. La aramida es un material con gran módulo de elasticidad y muy poco peso, a grado tal que compite con el acero, sin embargo su precio hace que este tipo de materiales sea usado en cables de longitudes cortas.

3.6 Barrera contra la humedad:

Dependiendo de el lugar en donde la fibra sera instalada se elegirá el mecanismo que se usara para proteger a la fibra contra la humedad.

Comunmente se usa fiala de petrolato o jelly como compuesto no hidrosκόpico, que además de ser repelente al agua, es transparente, no es tóxico y presenta una viscosidad alta, ello para que no oscurra. Este compuesto se aplica dentro de la cubierta secundaria de tubo holgado y como compuesto inundante para rellenar los espacios que quedan entre los elementos del cable.

Cuando se requiere protección adicional, se usan cintas metálicas cubiertas con polietileno, a manera de pantalla longitudinal y finalmente se puede optar por una presurización del cable.

En casos especiales se usa una cubierta de plomo que es excelente como protección contra la humedad, debido a la estructura, el peso y el costo de este tipo de cable, tal protección solo se usa para cables submarinos.

3.7 Cubiertas del cable:

Las cubiertas en el cable proporcionan una protección mecánica, térmica y química. La cubierta a usar estará en función de los agentes que actuarán sobre el cable.

Para obtener una apropiada protección los materiales de la cubierta deberán tener un coeficiente de expansión térmica muy similar a la de los otros componentes del cable, para ello se cuenta con:

El polietileno, tiene buena flexibilidad en frío, buena resistencia a la humedad, aceites, productos químicos y ozono, es resistente al envejecimiento y finalmente tiene un precio muy atractivo, para protegerlo contra los rayos ultravioleta se le incorpora un pigmento de humo negro, la desventaja de este material, es que es propagador a la flama, razón por la cual solo deberá ser usado en instalaciones exteriores, nunca en interiores.

El Cloruro de Polivinilo o más conocido como PVC, es un material con gran resistencia a la fricción, al envejecimiento, al ozono, a ácidos alcalis, aceites y solventes, no es un material combustible, lo que lo hace ideal para interiores, el problema con este material, es que debido a los aceites y plastificantes de su contenido al paso del tiempo se envejece, por lo que se podrá producir su fractura, si es que este proceso es muy acelerado, o el material está defectuoso.

3.8 Armadura:

Se usa armadura cuando el cable puede ser sujeto a daños mecánicos o para protección contra roedores y termitas. Estas armaduras son de fleje o alambre de acero que se colocan en forma longitudinal o helicoidal, en algunas ocasiones cuando el factor flexibilidad es importante se corruga el material. La armadura deberá de ir forrada de polietileno para evitar que se trasmitan los esfuerzos mecánicos a la fibra.

3.9 Barrera termica:

Finalmente, cuando el cable esté sometido a temperaturas extremosas se le aplica una barrera termica, que consiste en cintas helicoidales tales como el teraftalato de polietileno o el papel de pulpa de madera. Esta cinta además protege a la fibra Optica contra los cambios de temperaturas a que se somete la fibra durante el proceso de conformado del cable, por ejemplo, en la aplicación de las cubiertas.

3.10 Cables para interiores:

Estos tienen una buena flexibilidad y no son propagadores a la flama, dependiendo de su uso final podrán o no contar con un elemento central de tensión; la cubierta secundaria es de tubo apretado, rodeado por un elemento exterior de tensión de aramida. Se le aplica una cinta maylar como barrera térmica y finalmente se cubre con PVC.

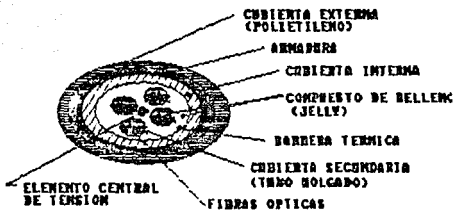


ESTRUCTURA DE UN CABLE TÍPICO PARA INTERIORES.

3.11 Cables para exteriores:

Debido a la infraestructura que se requiere para montar una instalación de tipo externo, los cables son de dos o más fibras y su estructura depende del uso final del cable, sin embargo se puede hablar de una configuración básica:

Cubierta secundaria de tubo holgado o apretado.
 Elemento central de tensión de núcleo sólido o ranurado o bien elemento exterior de tensión.
 Barreras diversas contra la humedad.
 Varias cubiertas de polietileno.
 Una armadura si es que la requiere.



CABLE TIPICO PARA USO EN POSOS

3.12 Cables para aplicaciones especiales:

Estos cables deberán ser diseñados especialmente para la aplicación del cliente, sin embargo los costos son altos, por no ser un material de uso comercial.

Los criterios a seguir para el diseño de estos cables deberán ser estrictamente apegados a los lineamientos mencionados anteriormente.

4.0 Emisores:

La tecnología de cable óptico es actualmente de las más avanzadas en telecomunicaciones, sin embargo toda esta tecnología no tendría un uso si es que no fuera por los transductores requeridos para cambiar una señal de tipo eléctrica a luminosa. En un sistema de transmisión por fibra óptica se requieren de por lo menos dos transductores, un emisor y un detector; el emisor tiene la finalidad de transformar la señal eléctrica en una señal luminosa, mientras que el detector recibe esta señal luminosa y la convierte a una señal eléctrica.

4.1 Semiconductores:

Un átomo en su modelo mas básico podemos decir que se compone de electrones, neutrones y protones, los protones y los neutrones estan localizados en el núcleo del átomo, mientras que los electrones, se encuentran alojados en bandas alrededor del átomo, los protones son cargas positivas dentro del átomo, mientras que los electrones son cargas negativas. Los elementos por naturaleza tiene la misma cantidad de protones que electrones de esta manera son electricamente neutros.

Las bandas donde se encuentran alojados los electrones tienen un límite de capacidad que no es excedido por el número de electrones, el número de electrones en cada banda dependerá de la banda de que se trate, es decir, la banda mas cercana al núcleo (K) tiene un numero maximo de 2 electrones, posteriormente son (L) con 8, (M) con 18, (N) con 32, etc. Sin embargo un factor importante es que la ultima banda tiende a tener 8 electrones no mas, y se le llama banda de valencia; el numero de electrones que los elementos tengan en esta ultima banda, o banda de valencia determinara si un material es conductor o aislante.

Un material sera conductor cuando el número de electrones en la banda de valencia sea menor a 4, ya que es muy factible que pierda estos electrones, que serán los portadores de carga, estos electrones perdidos pasan de la banda de valencia a una banda llamada banda de conducción, la facilidad con que un electron pase de la banda de valencia a la de conducción determinará que tan buen conductor es ese material.

Un material con mas de 4 electrones en su banda de valencia se comporta como material no conductor, ya que se requiere de una gran cantidad de energia para que los electrones cercanos al número de 8 abandonen la banda de valencia.

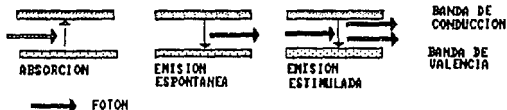
No obstante, materiales con 4 electrones en su banda de valencia pueden comportarse como materiales conductores o no conductores bajo ciertas circunstancias, a tales se les conoce como materiales semiconductores.

Hay una region entre la banda de valencia y la banda de conducción que tiene por nombre region prohibida, en los materiales semiconductores esta region es muy pequeña, por lo que requiere de cantidades limitadas de energia para que los electrones pasen de la banda de valencia a la de conducción, o bien con mucha facilidad aceptan electrones de otro material, por lo que al perder electrones se convierten en materiales conductores o al aceptar electrones se convierten en materiales no conductores.

Cuando un electrón se mueve de una banda a otra emite energía esta dependerá de la diferencia de energía existente entre las bandas de conducción y de valencia al momento de ocurrir la transición.

La absorción es el proceso mediante el cual un electrón es excitado de la banda de valencia a la banda de conducción por el estímulo de un fotón.

La emisión, por el contrario, es cuando un electrón pasa de la banda de conducción a la de valencia, liberando un fotón.



Los fotoemisores y los fotodetectores se basan fundamentalmente en estos principios.

En la formación de cristales entre semiconductores, cada átomo individual comparte electrones con los átomos vecinos, formando de esta manera enlaces covalentes, ello con el fin de llegar a formar los octetos en su órbita o banda exterior. Estos enlaces están fuertemente unidos entre sí a bajas temperaturas, mientras que a temperatura ambiente los electrones en la banda de valencia adquieren suficiente energía como para romper sus propios enlaces y convertirse en electrones libres.

Cuando un electrón es dejado en su lugar un hueco, el átomo se ioniza, convirtiéndose en un elemento atractivo para algún otro electrón, que a su vez dejará un hueco, y el proceso seguirá indefinidamente, hasta que todos los huecos hayan sido completados. A los electrones libres se les da el nombre de n y a los huecos p ; sin embargo este comportamiento es poco predecible y por lo tanto de muy poca utilidad, por lo que se vio la necesidad de contaminar o dopar el material con un elemento tetra o pentavalente para que este proceso pueda ser controlado.

Mientras que el efecto electrón-hueco sea del mismo material, podemos decir que el material es intrínseco.

Una vez que el material sea dopado se le llama impuro o extrínseco.

Dependiendo del material de contaminación, tendremos que habrá materiales con exceso de electrones n y materiales con exceso de huecos p .

A la unión o la juntura de un material tipo p con un material tipo n se le conoce como diodo de unión $p-n$. Durante el proceso de fabricación el exceso de huecos se compensa con el exceso de electrones neutralizándose.

Si se aplica una tensión en sentido directo los huecos de la región p pasaran hacia la región n y los electrones de la región n pasaran a los huecos de la región p, de manera que esta recombinación producirá una emisión de energía, que dependiendo del material sera visible o no.

En los diodos emisores de luz para telecomunicaciones ésta energía no es visible, pero se emite.



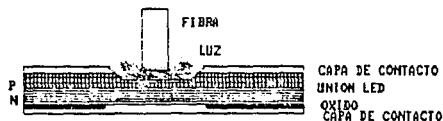
DIODO EMISOR DE LUZ

4.2 Diodos:

El proceso que se utiliza para que los diodos de luz trabajen en fibras ópticas es mas complejo que el proceso descrito anteriormente, sin embargo se basa en el mismo principio, la dificultad basicamente estriba en la longitud de onda de trabajo, la velocidad de respuesta, el patron de salida y la potencia óptica necesaria para alcanzar a estimular al detector. La longitud de onda de un Led dependera de la dimensión existente en la separación de los materiales p-n y su banda de valencia. Dentro de los diodos p-n podemos considerar la siguiente clasificación:

Diodo de emisión espontánea:

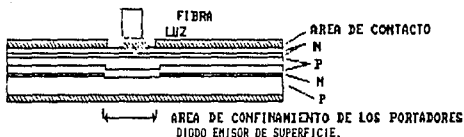
En este tipo de diodos se usa una union tipo p-n, y se polariza en forma directa al diodo, de manera que los huecos del lado p pasan al lado n y/o los electrones del lado n pasan al lado p, creando de esa manera una emisión espontánea, en donde lo que se busca es que la vida de los portadores sea lo suficientemente pequeña para asegurar que la salida de la luz responde a las variaciones de corriente inyectadas, sin embargo la salida del haz de luz se realiza en los 160°, de manera que para limitar este hecho y aprovechar de una manera mas eficaz la luz, se añade una capa de óxido, finalmente las capas de contacto se usan para confinar a la corriente en un área estrechas bajo el núcleo de la fibra.



DIODO DE EMISION ESPONTANEA.

Diode emisor de superficie:

Este tipo de led se construye con un área de emisión pequeña sumergida en un material semiconductor para una mejor disipación del calor, a su vez se usan materiales que tienen estructura cristalina similar, pero diferentes niveles de energía e índices de refracción. Estas diferencias confinan el haz y por lo consiguiente tenemos un haz más direccional; sin embargo para el caso del acoplamiento directo óptico de una fibra de índice escalonado con el emisor, se requiere que el diámetro de la fuente sea aproximadamente la mitad del diámetro del núcleo de la fibra.



Diode emisor lateral:

En este tipo de diodos se emplea una doble capa, de manera que se confinen a los portadores y los fotones en una capa angosta. En una de las caras del diodo se coloca un espejo, y en la otra, una cubierta antirreflejante para aumentar la eficiencia de emisión. La mayor parte de la luz propagada se emite por la capa final, ello debido a la capa reflectora, así la radiancia será mucho más alta que en los otros diodos, como consecuencia se tendrá un incremento en la eficiencia de acoplamiento en una fibra de apertura numérica pequeña.



DIODO EMISOR LATERAL.

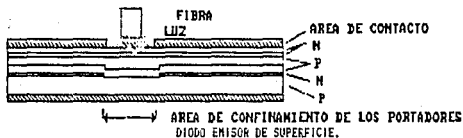
4.3 Diodos LASER (de inyección):

LASER literalmente significa "light amplification by the simulated emission of radiation", es decir amplificador de luz por la emisión estimulada de radiación.

Esta emisión se logra invirtiendo la población de los portadores. La inversión de los portadores es el estado en el que un gran porcentaje de los átomos se mueven del estado estacionario al estado de excitación, de manera que un gran número de electrones y huecos libres existen en el área activa que rodea a la unión.

Diodo emisor de superficie:

Este tipo de led se construye con un área de emisión pequeña sumergida en un material semiconductor para una mejor disipación del calor; a su vez se usan materiales que tienen estructura cristalina similar, pero diferentes niveles de energía e índices de refracción. Estas diferencias confinan el haz y por lo consiguiente tenemos un haz más direccional; sin embargo para el caso del acoplamiento directo óptimo de una fibra de índice escalonado con el emisor, se requiere que el diámetro de la fuente sea aproximadamente la mitad del diámetro del núcleo de la fibra.



Diodo emisor lateral:

En este tipo de diodos se emplea una doble capa, de manera que se confinen a los portadores y los fotones en una capa angosta. En una de las caras del diodo se coloca un espejo, y en la otra, una cubierta antirreflejeante para aumentar la eficiencia de emisión. La mayor parte de la luz propagada se emite por la capa final, ello debido a la capa reflectora, así la radiancia será mucho más alta que en los otros diodos, como consecuencia se tendrá un incremento en la eficiencia de acoplamiento en una fibra de apertura numérica pequeña.



DIODO EMISOR LATERAL.

4.3 Diodos LASER (de inyección):

LASER literalmente significa "light amplification by the simulated emission of radiation", es decir amplificador de luz por la emisión estimulada de radiación.

Esta emisión se logra invirtiendo la población de los portadores. La inversión de los portadores es el estado en el que un gran porcentaje de los átomos se mueven del estado estacionario al estado de excitación, de manera que un gran número de electrones y huecos libres existen en el área activa que rodea a la unión.

La amplificación de la luz se produce cuando un fotón incidente estimula la emisión de un segundo fotón, el nuevo fotón es una duplica del fotón que le dio origen, es decir tiene la misma longitud de onda, fase y dirección de movimiento.

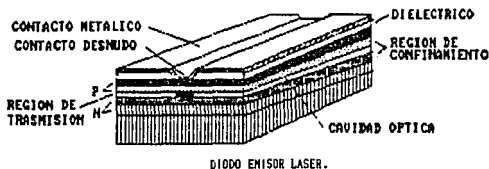
El aumento de la densidad óptica en la región donde se produce el efecto laser, se lleva a cabo por medio de una retroalimentación utilizando dos espejos, que forman una cavidad resonante, llamada cavidad de Fabry-Perot.

Pese a que algunos de los fotones quedan atrapados dentro de la cavidad, reflejándose y con ello estimulando mas emisiones, otros escapan a través de dos cavidades en los extremos, como un rayo muy intenso de luz.

Por lo general la fibra óptica es acoplada al laser por la cara frontal, por la cara posterior se coloca una superficie de material reflectivo, que reduce la cantidad de luz que pudiera escaparse por esa zona. La luz que escapa de la cara posterior se usa como monitoreo de la luz que esta siendo emitida por la cara frontal.

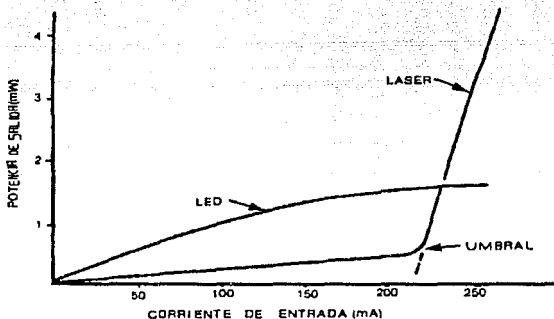
Para lograr un acoplamiento de laser con la fibra cilíndrica se han desarrollado heteroestructuras en las que no se extienden los cortes de los bordes en la región activa, sino que únicamente se deja una pequeña área de emisión. Así se permite el confinamiento óptico en el plano horizontal.

A pesar de que los lasers son relativamente direccionales, la divergencia del haz debe ser considerada al acoplar el dispositivo a una fibra óptica, por lo que se requiere del ensamble de lentes que dirijan el haz dentro de la apertura numérica de la fibra, obteniendo así, un acoplamiento razonable en eficiencias.



4.4 Potencia de salida:

La potencia de salida es la potencia óptica emitida cuando se suministra cierta cantidad de corriente.



CORRIENTE DE ENTRADA AL DIODO EMISOR VS. POTENCIA DE SALIDA.

Tal como se puede observar los LEDS suministran mas potencia óptica hasta el punto de umbral, en donde la potencia del laser se incrementa de manera dramática conforme aumenta la corriente.

Lo ideal sería que se pudiera suministrar a la fibra tanta luz como fuera posible, sin embargo debido a las características físicas de los componentes esto no es posible. Las especificaciones mencionan la potencia que tendremos a la salida del dispositivo óptico, sin embargo es necesario tomar en cuenta valores más prácticos en el acoplamiento.

La potencia requerida por la fuente dependerá de la aplicación, de manera que la potencia y la velocidad del led sea suficiente para excitar al detector de una manera adecuada.

4.5 Salida espectral:

Tan pronto como la luz ha dejado la fuente, esta comienza a dispersarse, de manera que, solo una parte logra entrar satisfactoriamente a la fibra. Entre más fina sea la fuente su diámetro de emisión será menor y por ende tendrá una apertura numérica menor. El diámetro de emisión nos define el área en el que la luz es emitida, mientras que la apertura numérica define el ángulo en el que la luz se dispersa. De manera que si tanto la apertura numérica como el diámetro de emisión es mayor que el de la fibra, una gran parte de la luz se perderá. El cálculo de estas pérdidas es como sigue:

Las pérdidas ocasionadas por diferencias en los diámetros son:

$$L_d = 10 \log(d_2/d_1)^2 \quad \leftarrow d_2 < d_1$$

donde: L_d Equivale a las pérdidas por diferencias en los diámetros.

d_1 Es el diámetro de la fuente.

d_2 Es el diámetro de la fibra.

Cabe mencionar que las pérdidas por acoplamientos, no tan solo son válidas para fuente-fibra, sino para todo lugar en donde ocurra algún cambio en las guías ópticas, es decir, en empalmes, conectores, fibra-fuente, etc.

Las pérdidas originas por diferencias en las apertura numericas son:

$$L_{A.N.} = 10 \log(A.N._2/A.N._1) \quad \leftarrow A.N._2 < A.N._1$$

donde: $L_{A.N.}$ Son pérdidas por diferencias en la aperturas numericas.

$A.N._1$ Es la apertura numerica de la fuente.

$A.N._2$ Es la apertura numerica de la fibra.

Al igual que en el caso anterior estas pérdidas son válidas para cambios en las guías de transmisión que durante la línea haya.

4.6 Velocidad de respuesta:

Las fuentes deben de tener la capacidad de "prenderse v/o apagarse" con suficiente velocidad para responder a los requerimientos de velocidad del sistema.

Por lo general se especifica el tiempo de elevacion, es decir, el tiempo que le lleva al dispositivo llegar de un 10% a un 90% de la potencia óptica.

Los laser tienen un tiempo de respuesta menores a 1 ns, mientras que los LEDS varían desde los 3 ns, hasta los 100 ns.

El ancho de banda (BW) de la fuente puede ser cuantificado en base a el tiempo de respuesta del dispositivo (t_r), de la siguiente manera:

$$BW = (0.35/t_r)$$

Finalmente, notese que un tiempo de respuesta de nanosegundos implica un ancho de banda del orden de los giga hertz.

4.7 Tiempo de vida:

Pese a que el laser es un dispositivo muy fino, es mucho mas caro, mas delicado y mas difícil de manejar, además requiere de circuitos mas complicados para su control y manejo de la información y tiene un tiempo de vida mas corto.

El tiempo estimado de vida de las fuentes es de millones de horas de funcionamiento, sin embargo la potencia de salida disminuye debido a los efectos en las estructuras cristalinas de la fuentes. Tal efecto puede verse acelerado si el dispositivo es alimentado con grandes densidades de corriente, lo que hace que se genere calor que causa degradación, a menos de que este calor sea debidamente disipado, la fuente sufrirá de un daño permanente.

Para el control de la densidad de corriente se requiere de fuentes perfectamente reguladas.

NOTA ACLARATORIA: Pese a que la vida útil de los sistemas se estima, este aun no se ha podido corroborar, ello debido a que el tiempo de vida de los sistemas actualmente en operación no ha superado a su estimado.

4.8 Manejo:

El manejo de los dispositivos es critico para la vida de estos, debido a que un manejo inadecuado durante su instalación ó operación resulta en una degradación acelerada del dispositivo.

Quizás el problema más critico para los dispositivos es el calor, en especial para las fuentes laser, ya que son dispositivos muy sensibles a la temperatura.

Para minimizar el tiempo de respuesta del dispositivo, estos se operan muy cerca del punto de umbral, sin embargo este punto depende de la temperatura, y tendrá una salida errática a menos de que se controle la temperatura o bien la salida del dispositivo. Por lo general se monitorea la salida del laser y se coloca en un controlador de la densidad de corriente, de manera que se pueda mantener constante la salida del dispositivo.

5.0 Detectores:

La función del detector es la de convertir la señal luminosa en una señal de tipo eléctrica, que es amplificada antes de ser procesada. Los requerimientos para la ejecución y compatibilidad de los detectores son muy similares a los requerimientos de las fuentes:

Alta sensibilidad de operación, para trabajar en las ventanas de operación, disminuyendo la atenuación y la dispersión en la señal.

Alta fidelidad. es decir que se reproduzca la señal de la misma manera en que fue recibida.

Amplitud de respuesta eléctrica a la señal óptica recibida, de manera que se produzca un máximo de corriente eléctrica para el total de la potencia óptica recibida.

Tiempo de respuesta cortos, de manera que se pueda responder al ancho de banda requerido.

Tamaño, deberá de ser lo suficientemente pequeño para que pueda acoplarse fácilmente con las fibras ópticas y también pueda ensamblarse con diferentes dispositivos electrónicos.

El proceso inverso a lo que ocurre en un LED es el principio de funcionamiento de un fotodetector, es decir, Los fotones que son absorbidos excitan a los electrones de la banda de valencia a la banda de conducción, en un proceso que se le conoce como absorción intrínseca, de manera que se tendrá como resultado la creación de un par electrón-hueco. Estos portadores bajo la influencia de un voltaje externo aplicado al diodo, inducen una corriente externa en el circuito. Para cada par electrón-hueco generado un electrón fluye como corriente.

5.1 Fotodiodo PN:

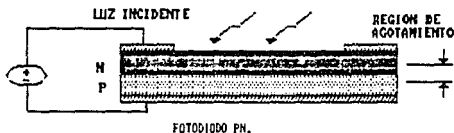
En la comunicación via fibra óptica los detectores usados son los fotodiodos PIN y avalancha, sin embargo para entender de una manera más clara su funcionamiento expondré el fotodiodo PN que es el de construcción y operación mas simple.

Cuando se polariza en forma inversa, muy poca corriente fluye, ya que el campo eléctrico aplicado genera una brecha en la unión de los materiales, puesto que los electrones migran hacia el lado positivo de la terminal y los huecos hacia el negativo del dispositivo; al no haber portadores la resistencia es muy alta.

Un fotón que incide en el diodo estimula a un electrón con suficiente energía para que se traslade de la banda de valencia a la banda de conducción, generando un electrón libre y un hueco, si este fenómeno ocurre en la región de agotamiento, los portadores se moverán de una manera rápida a sus regiones respectivas, este movimiento genera una corriente eléctrica.

Cuando la generación de un par electrón hueco ocurre fuera de la región de agotamiento, los portadores se mueven a una velocidad muy lenta, y algunos se recombinaran antes de llegar, de donde, las corrientes generadas son casi imperceptibles.

Debido a que la región de agotamiento es muy pequeña muchos de los fotones absorbidos no producen corriente externa útil, de manera que para producir una corriente útil se haría necesaria de grandes excitaciones. Además la respuesta del diodo no es lo suficientemente alta para transmisiones a mediana y alta velocidad, motivos por lo que hacen que el diodo PN no sea recomendable para un sistema de transmisión via fibra óptica.



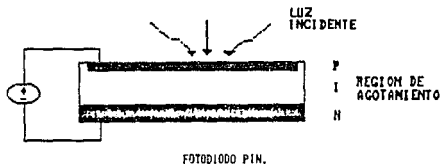
5.2 Fotodiodo PIN:

La estructura del fotodiodo PIN fue diseñada para superar las deficiencias del fotodiodo PN.

La región de agotamiento se ha hecho tan grande como ha sido posible, a su vez se ha dopado ligeramente, a grado tal que casi podemos decir que es material intrínseco.

El nombre del diodo proviene de la estructura del diodo mismo, es decir, Positivo, Intrínseco, Negativo.

Debido a que la región intrínseca no tiene portadores libres, su resistencia es alta, por lo que resulta una región de agotamiento más grande que la del diodo PN. Esta región de agotamiento mayor implica que la mayoría de los fotones son absorbidos fuera de la región de agotamiento, resultando en una mejora en la eficiencia tanto en corrientes externas generadas, como en un aumento en la velocidad. Portadores generados fuera de la región de agotamiento son inmediatamente conducidos a las terminales p o n.



Sin embargo para una mejorar la eficiencia del diodo se requiere una zona intrínseca de mayor tamaño, no obstante ello iría en detrimento de la velocidad de operación del diodo, razón por la cual un diseño apropiado de las dimensiones del tamaño de la zona de agotamiento es de vital importancia para la eficiencia del diodo.

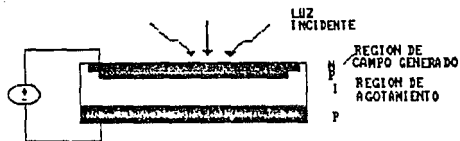
5.3 Fotodiodo Avalancha (APD):

La estructura de un fotodiodo avalancha crea un campo eléctrico muy fuerte en la región de umbral, de tal manera que los portadores primarios, originados por los fotones absorbidos, son acelerados, ganando de ésta manera energía cinética. La colisión de los portadores primarios con átomos neutrales causan que los electrones pasen de la banda de valencia a la banda de conducción, de manera que aparece un par electrón-hueco. Portadores que han sido generados de esta manera tienen por nombre portadores secundarios.

El proceso de generación de portadores secundarios se conoce con el nombre de ionización por colisión. Un portador primario, puede generar portadores secundarios, que a su vez se aceleran creando nuevos portadores, a este proceso se le conoce con el nombre de fotomultiplicación, la cual es una forma de ganancia.

Esta multiplicación varía con el voltaje de polarización, ello debido a que las fuerzas de aceleración deberán ser lo suficientemente fuertes como para impartir energía a los portadores, por lo tanto un voltaje alto de polarización es requerido para generar el campo. Si el voltaje de polarización no es lo suficientemente alto, entonces el fotodiodo de avalancha operará como un fotodiodo PIN y no aportará ganancia alguna.

El punto crítico de un fotodiodo avalancha es el voltaje al cual la ionización por colisión comienza, por otra parte un fotodiodo que este polarizado con un voltaje superior al crítico producirá corriente aún en ausencia de potencia óptica, ya que el voltaje por sí mismo es suficiente para generar portadores y causar la colisión por ionización.



FOTODIODO AVALANCHA (APD).

Por lo antes expuesto, el fotodiodo de avalancha por lo general, se polariza justamente antes del punto crítico, de manera que cualquier señal óptica producirá una respuesta rápida y una salida alta en corriente.

De cualquier forma para este tipo de dispositivo se requiere de fuentes de gran potencia, y muy estables.

5.4 Ruido:

El propósito del detector es crear una salida en corriente en la presencia de un estímulo óptico, con la sensibilidad suficiente para detectar señales ópticas muy atenuadas.

Se considera al ruido como un fenómeno indeseable que limita severamente la operación del detector, este es causado tanto por problemas de operación de los emisores como por un exceso en la polarización en los detectores, cuando el nivel de la señal a recibir esta por arriba del nivel de ruido en el sistema, este es de poca importancia, puesto que se pueden hacer arreglos para que este no interfiera con la operación normal del sistema, el problema, entonces, radica cuando los dispositivos ópticos van envejeciendo, cuando hay una falla de operación o cuando no se hizo un presupuesto de potencia adecuado, ya que el ruido generado pudiera tener los mismos niveles que la señal misma, de ser así la señal original prácticamente se haría irrecuperable, es conveniente mencionar los tipos de ruidos:

Ruido de disparo, radica en la naturaleza propia de los electrones, es decir la corriente no es un flujo continuo, ya que es un flujo de electrones; la llegada y la absorción de cada fotón y la generación de los portadores es un proceso aleatorio, que no es homogéneo, ya que en realidad se tienen una serie de ocurrencias de tipo discreto, por lo cual las fluctuaciones en la corriente son el resultado de pares electrón-hueco generados en cierto momento.

Este tipo de ruido estará presente aunque no haya estímulo óptico alguno, debido a la naturaleza de los electrones, por otro lado se puede hablar que este tipo de fenómeno se incrementará a razón de un 10% por cada grado de incremento en la temperatura de operación arriba de la temperatura nominal de trabajo del dispositivo.

Ruido térmico o también llamado ruido de Nyquist, es el resultado de las fluctuaciones de la resistencia de carga del detector, ello debido a que los electrones en la resistencia no se encuentran en estado estacionario, por lo que en un momento dado se pudieran filtrar a cualquier cátodo variando el flujo de corriente que existía.

Tanto el ruido térmico como el ruido de disparo estarán presentes en los detectores independientemente de que exista un estímulo óptico o no, y finalmente son el resultado de la estructura básica de los materiales con que son construidos estos dispositivos, por lo que puede ser minimizado su efecto en la señal, pero no podrán ser eliminados, por lo tanto, es pertinente concluir que para que una señal pueda ser rescatada del nivel de ruido deberá ser de por lo menos dos veces el valor de la señal de ruido.

Relación señal a ruido:

La relación señal a ruido mas bien conocida como signal to noise ratio (SNR) es una forma de expresar la calidad de la señal en un sistema y es el promedio del cociente de la señal contra el ruido que se genera por todas las fuentes:

$$\text{SNR} = (S/R)$$

$$\text{en decibeles: } \text{SNR} = 10 \log_{10}(S/R)$$

Una proporción mayor SNR significa, entonces que la señal es mas grande que el ruido que genera el sistema.

Por otro lado la aplicación final determinara el nivel SNR requerido, ya que no todas las aplicaciones requieren de una alta fidelidad en la señal, por ejemplo un canal de voz y un canal de transmisión de video.

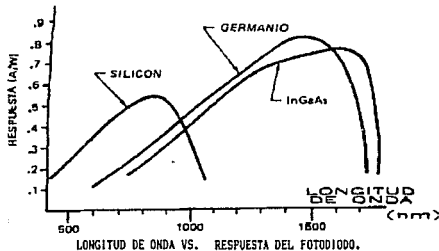
Bit Error Rate:

El bit error rate es el equivalente al SNR pero en transmisiones de tipo digital, es decir, es la relación de los bits transmitidos correctamente, contra los bits transmitidos en forma incorrecta. Al igual que en SNR el BER requerido por el sistema dependerá de el origen de la señal. Por ejemplo un canal de voces en forma digital requerirá de un BER menor al que pudiera demandar un canal de transmisión de datos.

5.5 Características de los detectores:

Respuesta la respuesta del fotodiodo es la relación entre la corriente de salida a la potencia óptica a la entrada y esta dada en amperes/watt (A/W). Un fotodiodo PIN tiene una respuesta que va de los 0.4 a los 0.6 A/W, mientras que un fotodiodo de avalancha tiene una respuesta de 75 A/W.

La respuesta varia con la longitud de onda, de manera tal que para tener la mejor respuesta del dispositivo se debe de operar en la longitud de onda para la cual fueron diseñados.



Eficiencia cuántica (η): es la proporción de los pares primarios electro-hueco a los fotones incidentes en el material del diodo. Y por su naturaleza se expresa como un número adimensional o como un porcentaje, y prácticamente significa que si obtenemos una relación del 100% o 1 cada fotón absorbido generara un par electrón-hueco. Los valores típicos están alrededor de el 70% o por cada 100 fotones obtendremos 70 pares electrón-hueco generados. Es importante mencionar que esta relación solo aplica a los portadores primarios.

La eficiencia cuántica es parte de la eficiencia fundamental de el diodo al convertir fotones en electrones libres. La respuesta puede ser calculada a partir de la eficiencia cuántica, de la siguiente manera:

$$R = (e \eta WL) / (hc)$$

donde: e es la carga de un electrón
 h es la constante de Plank.
 c es la velocidad de la luz.
 WL es la longitud de onda.

Es aquí donde puede observarse que la respuesta de los dispositivos será proporcional a la eficiencia cuántica y la longitud de onda.

Potencia mínima detectable: La potencia mínima detectable por el dispositivo detector determina el nivel mínimo de potencia óptica incidente que el detector puede manejar, y esta dada por la relación entre el ruido y la respuesta del diodo:

$$PMD = (\text{Ruido} / \text{Respuesta}).$$

Tiempo de respuesta: El tiempo de respuesta es el tiempo que requiere el fotodiodo para responder a una entrada de tipo óptico y producir una corriente externa. El tiempo de subida esta limitado por la velocidad de tránsito de los portadores a través de la zona de agotamiento, y está influenciada por el voltaje de polarización, es decir entre mayor sea el voltaje de polarización menor será el tiempo de elevación. El tiempo de respuesta esta intimamente ligado con el ancho de banda permitido:

$$BW = (0.35 / t_r).$$

A su vez el ancho de banda se limita por el tiempo de elevación o por su constante RC, Dependiendo de el valor mínimo.

Voltaje de polarización: Dependiendo del dispositivo óptico, se requerirá de el voltaje de polarización adecuado y pueden variar desde los 5 V hasta varios cientos de volts, para los fotodiodos avalancha.

El voltaje de polarización afecta significativamente la operación del fotodiodo, ya que su velocidad de respuesta, estará determinado en gran parte por el voltaje de polarización. Por otro lado se debe recordar que por lo general los fotodiodos avalancha son polarizados cerca del punto de umbral para permitir una respuesta suficientemente rápida, los diodos avalancha son sensitivos a los cambios en la temperatura, por lo que el voltaje de polarización variara sensiblemente con la temperatura, de ahí que se requieran complejos dispositivos para controlar tanto la temperatura como el voltaje de operación de ellos, y de ahí su alto costo, no propiamente por el dispositivo, sino por la infraestructura de control y de alimentación que lo soporta.

5.6 Detector/preamplificador:

Los detectores preamplificadores (IDP), han venido a ser una alternativa a los fotodiodos PIN. Esto debido a que el ruido que limita la operación de los fotodiodos PIN entre el fotodiodo y la primera etapa de amplificación es significativo.

Para reducir este tipo de ruidos, el dispositivo IDP cuenta con un preamplificador integrado en la misma pastilla que el fotodiodo. Este dispositivo además de realizar una amplificación realiza la conversión corriente a voltaje.

Las especificaciones para este dispositivo son muy similares a la de los fotodiodos, con la particularidad de que la salida es de voltaje, de manera que la respuesta esta dada en volts/watt (V/W), y estan en el orden de los 40 v/W.

Es importante mencionar que al igual que en las fuentes los detectores, pueden estar sujetos a las perdidas que por diferencias de diámetros y aperturas numéricas que entre ellos y las fibras se encuentren, aunque debido a que es su manufactura es mas simple estos dispositivos se fabrican con diámetros mucho mayores y grandes aperturas numéricas, de manera que es difícil encontrar pérdidas por acoplamiento fibra-detector.

6.0 Transmisores y receptores:

Tanto los emisores como los detectores requieren de un cierta infraestructura electrónica que los soporte para su funcionamiento y aprovechamiento, de hecho en muy contadas ocasiones se adquieren los emisores y detectores por separados para una operación a nivel comercial, sino que se adquieren estos en paquetes listos para operar, cualquiera que sea la necesidad del sistema:

6.1 Concepción básica del transmisor:

Un transmisor básicamente consiste del emisor y de un manejador o driver, que es el dispositivo al cual le llega la señal que se quiere transmitir.

La mayoría de los sistemas electrónicos operan en estándares, bien definidos, tanto en la lógica como en el código de modulación, sin embargo este estandard dependerá de la señal que se este trabajando.

Básicamente se puede mencionar dos tipos de lógicas, una es TTL la cual utiliza un nivel de 5 V para definir un "uno" lógico, y 0 V para definir un "cero" lógico. La lógica TTL tiene una buena velocidad de respuesta, lo cual le permite ser usada en muchas aplicaciones; sin embargo, para aplicaciones que requieren de una mayor velocidad de operación se cuenta con la lógica ECL la cual usa valores de -1.75 V. y 0.9 V para definir el "cero" y "uno" lógico respectivamente.

Regularmente ambos tipos de lógicas no se mezclan, evitando así cualquier problema tanto de polarización como de velocidad de respuesta, pero en caso de ser necesario, se cuenta con adaptadores que funcionan como interfaces entre ellos.

Por otra parte es conveniente mencionar que pese a que la lógica TTL es la base de operación de estos equipos, muchos de ellos cuentan con elementos con lógica CMOS, ello debido a su alta inmunidad al ruido y su bajo consumo de potencia, razón por la cual deberán ser manejados con todas las precauciones que este tipo de dispositivos demandan para evitar ser dañados por descargas estáticas.

Finalmente mencionaré, que otra función del transmisor es la de generar el código que será usado durante la transmisión de la señal óptica.

6.2 Codigos de transmisión.

Cuando se envía una señal por algún medio, se requiere cierto tratamiento para habilitarla al medio de transmisión por el que se le va a enviar. A este proceso se le conoce con el nombre de modulación.

Debido a que las transmisiones por fibra óptica son en su mayoría de tipo digital, enfocaré el estudio a los códigos de modulación digital en banda base:

Como ya se vio un "uno" lógico se representa con cierto nivel de voltaje, al igual que el "cero" lógico, en una relación básica de correspondencia, cuando codificamos la señal, esta correspondencia no siempre existe, y dependerá del tipo de código que se este usando.

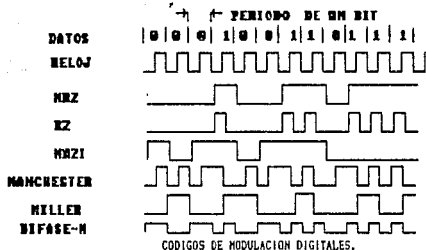
Todos los sistemas digitales requieren de un "reloj" que marque las pautas de funcionamiento del sistema, desde luego, para que la transmisión de información sea veraz, se requiere que la velocidad de operación del reloj sea más alta que la velocidad de transmisión o recepción de la información.

Esto se menciona ya que al tener dispositivos interconectados funcionando bajo un reloj, esta señal, tendrá que ser compatible para ambos sistemas; para lo cual hay tres alternativas:

- 1) Que la información lleve consigo misma la información de reloj.
- 2) Que la información de reloj sea compartida para los dispositivos por medio de una línea de transmisión separada.
- 3) Que el receptor genere su propia información de reloj.

Cuando la señal de reloj esta contenida en la información se dice que los dispositivos son "self-clocking". Un sistema: "non self clocking", indica que la señal de reloj no esta contenida en la información de manera tal que se puede presentar el caso de que tal señal sea transmitida por un canal distinto, o bien que cada elemento tenga su propio reloj, aunque en el último de los casos, hay que considerar muy seriamente que los dispositivos no estén perfectamente sincronizados, sobre todo en transmisiones a alta velocidad.

La elección del código de modulación es arbitraria, aunque cada código tiene Características que lo hacen mas recomendable bajo ciertas circunstancias:



Sin Retorno a Cero (NRZ NonReturn to Zero) En este código el nivel del voltaje únicamente cambiara cuando haya un cambio en el nivel de la señal, es decir, para un "uno" la señal estará en alto, y para un "cero" la señal estará en un nivel bajo; si la señal no cambia de valor, entonces la señal a la salida tampoco lo hará.

Retorno a cero (RZ Return to Zero) Este código es muy similar a la lógica del código anterior, la diferencia radica en que no importa cual fuere el nivel lógico de la señal, el nivel de salida siempre regresará a cero, antes de hacer la siguiente lectura, ello se hace con el fin de asegurar el cambio de estado de la señal de entrada cuando este ocurra.

Sin retorno a cero invertida (NRZI NonReturn to zero Inverted), En este código un cambio de nivel representa un cero, mientras que el mantener el nivel representara a un "uno" lógico. Es importante hacer notar que en este código no hay una firme relación entre la señal de entrada y el código, ya que un "uno" o "cero" pueden ser representados por cualquier nivel de voltaje, razón por la cual se requiere una firme comunicación entre el transmisor y el receptor, de manera que estén perfectamente sincronizados en el momento de comenzar las transmisiones, de lo contrario se tendrá un completo caos.

Código Manchester Este código hace uso de un periodo de transición a la mitad del periodo de la señal de reloj, y su funcionamiento es como sigue:
Si la señal de entrada es un uno, entonces la primera mitad del bit sera un alto y la segunda mitad sera un bajo, mientras que si la señal es un cero, entonces el primer periodo sera un bajo, mientras que la segunda mitad sera un alto.

Código Miller se tiene un tren de pulsos en el que cada uno es codificado mediante un nivel de transición a la mitad del periodo del bit, sin considerar si es alto o bajo.

Código Bifase M, Para este código cada bit comienza con un cambio de nivel, si hay un uno, entonces tendremos un cambio adicional en la mitad del periodo del bit, mientras que para los ceros, no habrá cambios adicionales a los ya ocurridos al inicio del bit.

6.3 Velocidad de transmisión:

Como se ha podido ver anteriormente con los diferentes códigos de transmisión, es importante recalcar que existe una gran diferencia entre la velocidad de transmisión de la información (Signal rate) y la velocidad a la cual la información se genera (Data rate).

No obstante esta relación dependerá del tipo de código que se use, es decir, se puede tener desde el caso en que la velocidad de transmisión es igual a la velocidad de señal, hasta el caso en que la velocidad de transmisión sea mayor a la velocidad de la señal.

Finalmente mencionare que la velocidad de señal (signal rate) se mide en diez Bits por segundo (Mbps); mientras que la velocidad de transmisión de la información (data rate), es la cantidad de símbolos transmitidos por segundo y se expresa en bauds. Esto cobra importancia cuando se relacionan con el código de transmisión de la señal, es decir, si se transmite una señal a 10Mbps usando un código Manchester se requerirá de un ancho de banda de por lo menos el doble, es decir 20Mbauds.

6.4 Potencia de salida en el transmisor:

La potencia se salida en el transmisor es vital, ya que será la que determine en gran medida el alcance del sistema o bien la distancia máxima a la cual se puede transmitir o bien la distancia a la cual se deben de instalar los repetidores.

Basicamente se manejan dos tipos de conceptos:

- 1) Cuando el transmisor se entrega acoplado a una sección de fibra óptica, con el fin de que las pérdidas por inserción sean las menos posibles al efectuar la unión en un medio controlado, de manera que se requiere realizar un empalme de la fibra del transmisor con la fibra del sistema; este tipo de Transmisores es muy recomendable, cuando las distancia a cubrir son muy largas.
- 2) Cuando se entrega el transmisor con un conector a su salida, este tipo de sistemas son de alcance más corto, debido a que se maneja una pérdida más alta por inserción, por conector, por posibles diferencias tanto en las aperturas numéricas como en los diámetros de los núcleos; sin embargo este sistema es más económico y por lo tanto más rentable para aplicaciones a bajas distancias.

6.5 Conceptos básicos del receptor:

Un receptor básicamente se compone de un detector, un amplificador, y una sección de salida.

Detector, consultar sección 11.2.5.

El Amplificador, induce una ganancia a la señal que recibió del detector, dejando a la señal en condiciones de ser empleada, por las siguientes secciones.

La sección de salida dependerá del código de modulación ya que puede efectuar las siguientes funciones: La separación de la señal de reloj de la señal de datos, reconstrucción de la señal, ajuste de nivel de voltaje para las etapas subsecuentes, control de ganancia para mantener constantes los niveles de amplificación como respuesta a las variaciones tanto en la potencia óptica como en las variaciones ocasionadas por las fuentes de alimentación.

6.6 Sensitividad:

La sensibilidad en el receptor determina el nivel mínimo que puede recibir el detector, y en esencia es el mismo concepto que el que manejamos para el detector, solo que hay que tener en consideración el ruido ocasionado por el mismo amplificador.

El nivel de sensibilidad requerido esta determinado por la aplicación final del receptor, es decir, de la distancia a la cual este ubicado el transmisor, las atenuaciones durante todo el sistema y finalmente la fidelidad requerida del sistema.

6.7 Rango dinámico:

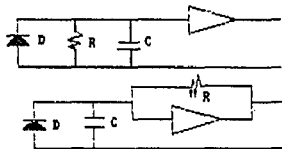
El rango dinámico es la diferencia entre los niveles máximos y mínimos de la señal de entrada. El nivel mínimo se basa en la sensibilidad mínima del detector y por lo consiguiente depende del detector, sin embargo el nivel máximo puede estar determinado tanto por el detector como por el amplificador, ya que niveles superiores a su nivel de trabajo saturarían al receptor o bien distorsionarían la señal haciendo imposible su detección coherente. Por lo tanto la potencia deberá mantenerse en un rango apropiado para que no sea insuficiente para su detección o bien que no sature al receptor.

6.8 Amplificación:

Básicamente se puede hablar de dos tipos de amplificadores usados para los sistemas de fibra óptica y son el amplificador de baja impedancia y el amplificador de transimpedancia.

El ancho de banda del amplificador de baja impedancia esta determinado por la constante RC: $BW=1/(2\pi RC)$.

El ancho de banda del amplificador de transimpedancia esta dado además de la constante RC, por la ganancia del amplificador: $BW=g/(2\pi RC)$, en donde g es la ganancia en lazo abierto.



RECEPTOR AMPLIFICADOR
DE BAJA IMPEDANCIA.

RECEPTOR AMPLIFICADOR
DE TRANSIMPEDANCIA.

TIPOS DE AMPLIFICADORES.

5.9 Ciclo de trabajo:

El ciclo de trabajo básicamente es un valor que se obtiene haciendo un promedio de la relación de "unos" contra "ceros", es decir, un ciclo de trabajo del 20% nos indicara que de la señal que se recibe un 20% tuvo estado "alto", mientras que un 60% fue de estado bajo, cuando se habla de un ciclo de trabajo al 50%, se debe de considerar que de la señal que se recibio un 50% de ella fue "unos", mientras que un 50% fue "ceros".

El ciclo de trabajo es un parámetro que básicamente concierne al receptor, debido a que para la interpretación de la información que esta recibiendo se establece una referencia a partir de la cual cualquier valor por debajo de ella será considerado como un "cero" lógico, mientras que cualquier valor por arriba de ella será considerado como un "uno" lógico.

Dependerá de el ciclo de trabajo el lugar donde este punto de referencia sea colocado por el receptor, es así que para un ciclo de trabajo del 20% el punto de referencia o de decisión sera colocado a un 20% del nivel mínimo.



Si no se estuviese sujetos a ruidos (entendiéndose, que el ruido proviene de los dispositivos activos usados para la amplificación y de la dispersion modal) los ciclos de trabajo a los cuales se ajustan los receptores, no tendrían el mayor efecto, sin embargo esto no ocurre en la realidad. Si la señal llega a ser similar o pasa del límite establecido como punto de referencia fijado, se tendrá un error, hay dos formas con las cuales se puede disminuir este efecto:

- 1) Usar un código de modulación tipo Manchester o bifase, que por definición tienen un ciclo de trabajo del 50%; sin embargo requieren de una ancho de banda 2 veces mayor a la velocidad de generación de datos, a su vez aumentan la complejidad de los dispositivos electrónicos tanto para la transmisión como para la recepción, por lo que lógicamente se incrementa el precio del sistema.

2) Otro método es el diseñar receptores que mantengan el ciclo de trabajo pero sin ruido, para lo cual se requiere un acoplador dc, este tipo de dispositivos sensan los filios de los pulsos, de manera que solo actuaran ante un cambio de nivel en el pulso, es decir a una transacción en el pulso y no a un nivel en el pulso. El problema con este tipo de dispositivos es que requieren de una potencia óptica mayor, que oscila alrededor de los 6 a 8 db. En terminos prácticos significa que se hace necesario disminuir la velocidad de transmisión de información, acortar las distancias de transmisión o bien un requerimiento BER no tan estricto.

Para reforzar el método anteriormente citado, se hace un acoplamiento de ac. usualmente capacitivo, de manera que se bloqueen las componentes de directa, este capacitor usualmente se coloca entre el fotodetector y el amplificador.

6.10 Repetidores:

Como ya lo he venido mencionando habrá algunas ocasiones, en que por las distancias a cubrir sera necesario usar repetidores, para logra que la señal llegue hasta el receptor final. Básicamente el trabajo de un repetidor es el tomar la señal de entrada, amplificarla, reacondicionarla (Darle la forma original, esto es posible gracias a las transmisiones de tipo digital) y retrasmitirla. Un repetidor de este tipo se dice que es regenerativo, y solo pueden ser usados cuando las señales son digitales, los repetidores analógicos, no reacondicionan la señal, debido a que no conocen la forma original de la señal.

Estos repetidores se encuentran en una amplia variedad de configuraciones, es decir, para uso en planta interna, externa, de diferentes tamaños, de diferentes capacidades y velocidades de transmisión, etc. La selección apropiada dependerá en gran medida de la aplicación final.

Sus características de operación son similares a las del transmisor y el receptor, con la diferencia de que ambos dispositivos se encuentran acoplados en una unidad, sin embargo, y debido a las etapas de reacondicionamiento y amplificación de la señal es posible que algunos parámetros se vean afectados.

7.0 Conectores y empalmes:

Es motivo de especial cuidado la unión de las fibras ópticas con los dispositivos y con otras fibras, debido a que se desea que haya un mínimo de pérdidas.

Para las uniones se cuenta con dos dispositivos, uno es el conector y otro es el empalme, su diferencia básica radica en que el empalme se usa para conexiones de carácter permanente y con nivel mínimo de pérdidas

Mientras que el conector es para uniones no permanentes de conexión y desconexión rápida y fácil pero con niveles de pérdidas mayores a los de los empalmes.

El incremento en las pérdidas de un enlase es el factor más importante que introduce cualquier unión de fibras ópticas, por lo cual es conveniente considerar sus causas y sus efectos.

El uso de conectores y empalmes facilita y simplifica la selección, instalación y mantenimiento de los sistemas que integran la red de comunicación.

7.1 Requerimientos de los conectores y empalmes:

Las Características que se buscan en un conector y en un empalme son las siguientes:

- * Bajas pérdidas: la unión deberá presentar la menor atenuación posible.
- * Facilidad de instalación, es decir que deberá de ser fácilmente y rápidamente instalado, sin necesidad de costosas y complicadas herramientas o de un entrenamiento exhaustivo a los operarios.
- * Repetibilidad, es decir, se espera que un conector se desconecte y se conecte tantas veces como sea necesario sin cambios en pérdidas.
- * Consistencia, Una vez realizada la unión no deberán de registrarse cambios en las pérdidas por el conector o empalme.
- * Bajo costo, tanto en el conector o empalme como en la herramienta necesaria para aplicarlo.

Aquí como en todos lados, las características de los conectores y empalmes tendrán que ser ponderadas de acuerdo a la aplicación final, es decir, las bajas pérdidas estarán asociadas a un costo alto, tanto en el elemento de conexión mismo como en el equipo necesario para aplicarlo. No obstante mencionaré algunos parámetros bajo los cuales se puede considerar que el conector o empalme es adecuado:

- * Pérdidas menores a 0.5 db para aplicaciones de larga distancia o altas velocidades de transmisión.
- * Pérdidas menores a 1 db para conexión de redes entre edificios o bien para sensores y módulos de control en fabricas o instalaciones de explotación.
- * Pérdidas menores a 3 db en aplicaciones donde el costo lleve una prioridad mayor que las pérdidas en el sistema, es decir para conexión de periféricos en un mismo sitio, sensores en Vehículos, etc.

7.2 Causas de pérdidas en una interconexión:

Básicamente se puede mencionar que son tres los tipos de pérdidas existentes en una interconexión por fibra óptica:

- 1) Pérdidas intrínsecas o debidas a factores relacionados directamente con variaciones en la fibra.
- 2) Pérdidas extrínsecas o debidas a el conexionado.
- 3) Pérdidas debidas a factores en el sistema.

Las pérdidas intrínsecas:

Se deben básicamente a que la geometría de la fibra no es perfecta, sino que tiene variaciones que se traducen como tolerancias en el proceso de manufactura, y citaré las siguientes:

- * Diferentes aperturas numéricas, es decir cuando la apertura numérica de la fibra que recibe la señal es menor a la apertura numérica de la fibra que emite, se tendrá pérdida de luz, debido a que no toda la luz que sale podrá entrar.

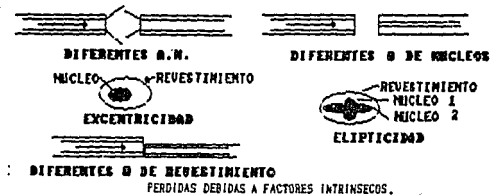
- * Diferentes diámetros de núcleo, si el diámetro del núcleo de la fibra que recibe es menor a la fibra que emite se perderá potencia óptica.

- * Diferentes espesores en el revestimiento, para este caso si alguna de las fibras, es decir tanto la que emite como la que recibe tiene diferentes espesores en sus revestimientos, se tendrán problemas para alinear los núcleos de una manera adecuada, y cualquier error en este alineamiento producirá pérdidas por luz que no pudo entrar a la fibra.

- * No concetricidad en los núcleos, cuando los núcleos no estan debidamente colocados en el centro de la fibra, estos no coincidirán a la hora de realizar la union, por lo tanto habrá una disminucion en la cantidad de luz que pasara a la segunda fibra.

- * Ovalidad, Cuando los núcleos de las fibra no son circulares, la alineacion de las fibras no sera posible, ocasionado pérdidas.

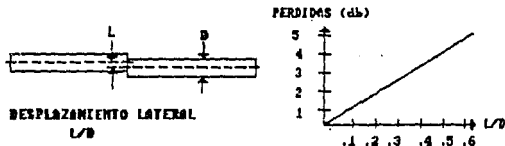
Esta imperfecciones se encuentran en todas las fibras ópticas, sin embargo se tratan de minimizar haciendo el proceso de manufactura mas riguroso, claro todo ello a un costo superior, hoy en día las tolerancias bajo las cuales la fibra es fabricada son muy pequeñas, pero requieren de especial consideracion si las fibras a unir no son de las mismas características.



Factores extrínsecos:

Las uniones en si mismas también producen pérdidas, que en gran medida se deben a la dificultad de trabajar con dimensiones como las de las fibras, si bien es cierto de que se han desarrollado mecanismos para lograr una alineación mas rigurosa, los problemas que frecuentemente se enfrentan a la hora de realizar una unión son los siguientes:

* Desplazamiento lateral, es decir cuando los ejes transversales de la fibra no coinciden. Las pérdidas ocasionadas por este defecto son una funcion de el desplazamiento entre los ejes de las fibras y su diámetro. Como se deja entrever entre más pequeño sea el diámetro de las fibras menor será el desplazamiento permitido entre ellas.

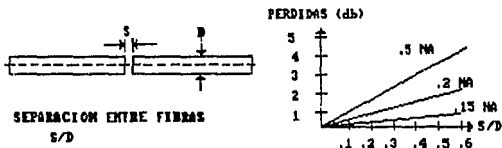


* Separación entre las fibras, es decir cuando se deja un vacío entre las dos fibras, aquí las pérdidas ocurren por dos fenómenos, uno es la reflexión de Fresnel causada por la diferencia en los índices de refracción de las dos fibras y el medio que las separa, para disminuirlas, frecuentemente se hace uso de un gel transparente ópticamente con un índice de refracción igual al de las fibras ópticas a unir.

Otra pérdida resulta en las fibras multimodo, debido a que algunos modos de orden alto no alcanzan a entrar en la fibra receptora al pasar por la separación entre ellas, ya que son dispersados, estas pérdidas dependerán de la apertura numerica de la fibra que recibe, y como puede apreciarse entre mayor sea al A.N., mayor serán estas pérdidas, ya que la luz entrara dentro del cono de aceptación de la fibra que recibe.

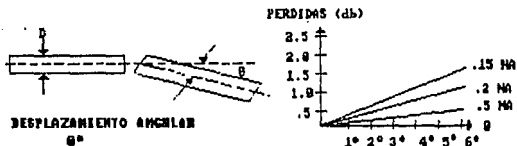
Independientemente si la fibra es multimodo o monomodo el nivel de pérdidas estará determinado por la proporción entre la separación de las fibras y su diámetro.

Idealmente las fibras deberían de estar en contacto directo, lo que ocurre en los empalmes, sin embargo en algunos conectores esto no es posible, ya que hay una separación entre ellas con la finalidad de prevenir rozaduras que pudieran dañar a la fibra en forma abrasiva o fracturarlas si a la hora de hacer la unión se aplica mucha fuerza.



* Desplazamiento angular. El desplazamiento angular es cuando existe un ángulo entre los ejes transversales de las fibras, las pérdidas por este tipo de falla dependerán en gran manera de la apertura numerica de las fibras, es decir entre mayor sea la apertura numerica serán menores las pérdidas por este tipo de falla, por lo general tanto los conectores como los empalmes tiene sistemas mecánicos muy precisos para evitar o disminuir los efectos de un desplazamiento angular.

Las pérdidas son directamente calculadas dependiendo de el ángulo de separación y de la apertura numerica.



* Acabado de la superficie de la fibra, la cara de la fibra que estará en contacto, deberá ser libre de defectos, impurezas, rebabas e irregularidades que pudieran modificar los patrones de los haces de luz, de manera que no entraran de una manera adecuada en la segunda fibra.

7.3 Preparación previa de la fibra:

Es sumamente importante la alineación de las fibras entre si para poder obtener una buena unión, sin embargo no es posible una buena alineación si es que el cable se encuentra protegido, es decir, se requiere de una preparación previa del cable, tal preparación dependerá de si se trata de un empalme o una conexión.

También sera necesario tomar en consideración las instrucciones del fabricante del elemento de unión para consideraciones especiales. Por lo que se refiere a empalmes se requiere desvestir la fibra, retirando todas sus cubiertas, armaduras, protecciones contra humedad, los miembros de tensión, etc. hasta llegar a la cubierta secundaria misma que al igual que la cubierta primaria tendrá que ser removida.

Las herramientas y el equipo necesario para retirar cada una de las cubiertas y/o protecciones dependerá de el tipo de protecciones de que se trate, sin embargo unas pinzas de corte, peladoras y de precisión, tijeras, y cotonetes pueden servir para un buen comienzo. Una vez que se han retirado las protecciones se deberá cortar la fibra en sus extremos, para lograr que esos cortes sean planos usese pinzas con punta de diamante, con la certeza de que los cortes son planos y perpendiculares al eje (usese un microscopio), se deberán de limpiar las fibras de polvo y grasa, es así que las fibras quedaran listas para la aplicación de el empalme.

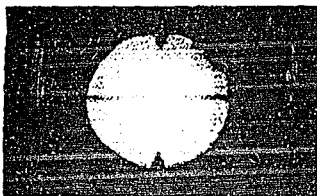
7.4 Empalmes por fusión:

El empalme por fusion hace uso de un arco electrico para fundir la fibra óptica, el procedimiento es el siguiente, se observa en un microscopio para revisar que sus paredes no han sufrido daño alguno y que se encuentran libres de defectos, cualquiera que ellos puedan ser, en caso de que la fibra no se encuentre limpia o haya sufrido algún daño, todo el procedimiento de preparación deberá de repetirse.

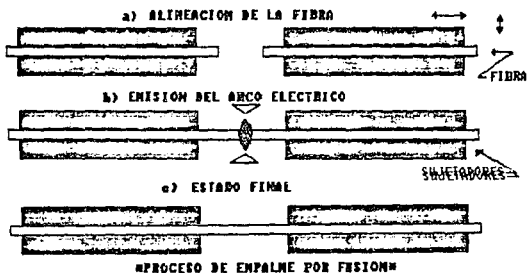
A continuación la fibra es colocada en una base ranurada o en sujetadores controlados por microprocesadores accionados manualmente o por motores, en donde se puede mover la fibra en las tres direcciones, de manera que se obtenga un alineamiento óptimo.

Es aplicada una prefusion, la cual consiste en aplicar calor durante un periodo de tiempo muy pequeño, con el fin de redondear y suavizar la superficie de la fibra.

A continuación se procede a fusionar la fibra, el tiempo de fusión y el calor aplicado deberán estar cuidadosamente controlados para evitar un empalme defectuoso. Las perdidas con un empalme de este naturaleza no deberán ser mayores a 0,2 db.



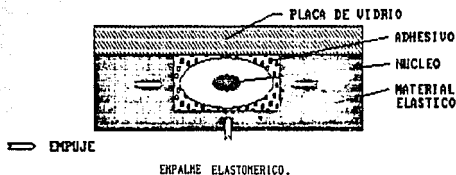
VISTA DE UN EMPALME POR FUSION ATRAVES DE UN MICROSCOPIO.



PROCESO DE FUSION

7.5 Empalme elastómerico:

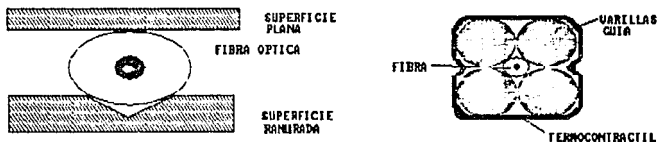
Este método consiste en introducir la fibra en tubos de material elastómero cuyo diámetro es ligeramente menor al diámetro del revestimiento de la fibra, aunque se encuentran ensanchados en su principio para facilitar la inserción de la fibra. Cuando se hace la inserción el material elastómero se expande de forma tal, que el material elastico ejerce una fuerza simétrica sobre las fibras, de manera que esta fuerza hace que las fibras a unir queden totalmente alineadas sin importar si son de diferente diámetro. Finalmente se inyecta un adhesivo para garantizar su permanencia en el mismo sitio.



7.6 Empalmes mecánicos:

Por este sistema se tienen un par de placas de silicón, plástico, material cerámico, acero o aluminio que se encuentran acanalladas en forma de "V" de tal manera que se logran alinear las fibras para su unión, mismo que se culmina con un adhesivo.

Otro método consiste en usar varillas concéntricas, cuyo diámetro es mayor al de la fibra, las fibras son colocadas en su interior en el espacio centrico remanente, las fibras se unen permanentemente mediante un adhesivo en su interior.



7.7 Cajas de empalmes:

Debido a que se requiere eliminar todas las protecciones de la fibra para realizar el o los empalmes, una vez que estos se han llevado a cabo es necesario restablecer de alguna manera la protección que tenía la fibra en primera instancia, para tal efecto se hace uso de las cajas de empalme, estas pueden ser de dos tipos, la caja de empalme cilíndrica y la caja rectangular.

La caja de empalme cilíndrica son dos tapas cilíndricas unidas por una estructura, que en su interior tiene todos los dispositivos requeridos para organizar las fibras que almacenara en su interior, si bien este tipo de cajas pueden ser usadas en cualquier instalación son especialmente recomendadas para instalaciones directamente enterradas, ello debido a la protección total con la que cuentan y a su forma geométrica, para los otros tipos de instalaciones esta caja no se recomienda, ya que el instrumental necesario para su apertura es complicado y costoso, a su vez es importante mencionar que una vez abierto, el sello tendrá que ser sustituido por uno nuevo;

Las cajas rectangulares no requieren de herramienta especializado para su apertura y ademas pueden ser abiertas un sin número de veces sin requerir cambio de sellos. este tipo de cajas es especialmente recomendado para instalaciones subterráneas y aéreas.

7.8 Conectores:

Cuando se hace necesario unir fibras en forma rápida y temporal, se hace uso de los conectores, que de acuerdo a sus principios de diseño se pueden clasificar en:

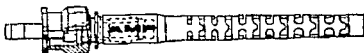
- * Acercamiento mecánico de precisión en los extremos de la fibra.
- * Acercamiento óptico de los frentes de onda de las fibras a unir.

©

Para el primer de los casos se usan estructuras que requieren de precisión lateral, axial y longitudinal para lograr el alineamiento de las fibras. Mientras que para el segundo de los casos se usan lentes para alinear las fibras, logrando con ello una reducción en las tolerancias angulares. Pese a que es un sistema que por definición tiene menos pérdidas, su precio a nivel comercial es muy alto como para pensar en la idea de incluirlo dentro de una red comercial. Los conectores mecánicos tienen las siguientes Características:

Conector tipo SMA:

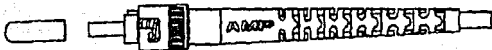
Este tipo es muy usado tanto en la industria militar como en la de equipos de medición, y es uno de los pocos que se encuentran estandarizados. en cuanto a las longitudes y medidas del conector, no así en los componentes internos y en el mecanismo usado para la alineación y sujeción de las fibras. Este tipo de conector tiene una buena durabilidad y es comercial, requiere de un mínimo de herramientas y habilidad para su aplicación y las pérdidas por conexión son menores a los 2 db. Este tipo de conectores tienen un cuerpo metálico con un orificio en el centro y una férula para la alineación primaria, la fibra es insertada por la parte posterior del conector y se asegura con epóxico. los miembros de tensión son crimpados entre el cuerpo del conector y la guía metálica externa, se remueve la fibra excedente y se pule para proporcionar las características ópticas adecuadas.



CONECTOR TIPO SMA

Conector tipo FC:

Este conector es muy durable y sus pérdidas son menores a 1 db, sin embargo, se requiere de equipo de pulido automatizado, para su correcta terminación. Además la fibra se descansa sobre un casquillo con una capilaridad en su interior para centrar y fijar la fibra (férula). Cuando se monta la fibra en el conector se aplica resina epóxica para lograr la fijación requerida.



CONECTOR TIPO FC.

Conector bicónico:

Este se usa por lo general para las transmisión de información en redes, ya que las pérdidas por conexión son menores a 1 db. Básicamente podemos decir que consiste en dos conos concéntricos que se encargan de alinear la fibra en el casquillo.

Conector de excentricidad ajustable:

Con este tipo se logran pérdidas menores a los 0.5 db, ello se logra a base de un alineamiento transversal preciso, mediante la rotación de una fibra con respecto a la otra, estando ambas excéntricamente montadas. Una vez que el alineamiento deseado se a logrado, las fibras son aseguradas para evitar su movimiento dentro del conector, sin embargo, se puede decir que su precio y el equipo requerido para su montaje lo ponen en desventaja contra sus compañeros, sin embargo las pérdidas obtenidos por este tipo de conector no son comparables por los demás, de ahí que donde las pérdidas por conexión sean un factor determinante, la inversión se justifica.

Finalmente cabe recalcar que debido a la presión requerida por los conectores v/o empalmes es recomendable que estos sean instalados por el fabricante del cable de fibra óptica o bien con el uso del equipo destinado para este fin, de manera que la inversión hecha en una instalación de este tipo no vendrá a ser demeritada por un conector mal aplicado.

Debido a la no estandarización de el conexionado para fibra optica no es posible mencionar un parámetro de aplicación uniforme, ya que dependera de la tecnología de aplicación del fabricante y de la construcción interna del conector.

SECCION TERCERA**SISTEMAS DE TRASMISION POR FIBRA
OPTICA**

Hasta ahora he habido de las características de la fibra y de cada uno de los elementos que de una o de otra manera se ven involucrados en un enlace por fibra óptica, sin embargo, y como lo apuntaba al principio el uso de la fibra no se limita a un mercado, sino que tiene una gran variedad de aplicaciones, entre las que podemos mencionar el área de comunicaciones, redes locales, sensores, etc.

En el área de sensores, actualmente se cuentan con sensores de fibra de:

Temperatura, presión, posición (desplazamiento), aceleración, niveles de alcalinidad de una sustancia (PH), flujo, niveles de líquidos, concentración de contaminantes en líquidos, presión de sondeo hidrófono, campo magnético, velocidad de rotación (giroscopio), etc.

En cuanto al área de comunicaciones, su uso en sistemas telefónicos, ha sido quizás el más socorrido, debido a que el cable de fibra pese a ser mucho más pequeño que el cable convencional, puede transmitir una mayor cantidad de canales de voz, a una mayor distancia, es más fácil de manejar y, prácticamente no requiere de mantenimiento preventivo. Una prueba de la gran aceptación de este tipo de cables es que actualmente Teléfonos de México está sustituyendo paulatinamente la comunicación entre centrales con cable de fibra óptica, algunos enlaces de larga distancia se están llevando a cabo con fibra óptica, y en las instalaciones de grandes usuarios la fibra ha venido a ser una solución a las complicadas y voluminosas cajas de distribución. Por otra parte es necesario mencionar que si bien ha sido de gran aceptación, aun no ha llegado el momento en que pudiera pensarse la sustitución total de cable de fibra hasta el abonado final, debido a alto costo que esto representa, sin embargo es una meta a futuro.

Otra área muy importante es la transmisión de señal de video, debido a que el gran ancho de banda con que cuenta la fibra óptica la hacen ideal para transmitir los canales de video con gran fidelidad y a grandes distancias, de manera que el enlace de algunas centrales de televisión por cable actualmente se hace por medio de fibra óptica. Al igual que en enlaces telefónicos la idea de llegar hasta el abonado final con fibra es aun remota.

Finalmente una meta para grandes usuarios y para redes públicas, es el poder ofrecer la red de servicios integrados, de esta manera se aprovecha completamente el ancho de banda de la fibra, al poder enviar por un solo canal de información transmisiones de voz, datos e imágenes. Aunque esta idea se ha visto limitada tanto por el costo que representa como por la electrónica que soportaría a equipos de esta índole.

En el área de computadoras, la fibra está abriendo un horizonte a los mecanismos tradicionales de información, es decir no solo se está concretando al enlace de máquinas, vía redes de banda base y de acceso local, sino a la posibilidad de "buses" y compuertas ópticas dentro de las máquinas.

Si bien algunas de estas metas son a futuro, otras cuantas ya son una realidad como por ejemplo el uso de discos ópticos, por otro lado, de llegar a concretarse la idea de buses, computeras y medios de almacenamiento ópticos, la velocidad de proceso se vería incrementada a grado tal que los tiempos de acceso de una máquina estarían muy cercanos a la velocidad de la luz.

En cuanto a redes, el uso de la fibra ha venido a ser una opción mas rentable que la transmisión de información por guías de onda. Hablando de redes locales, su uso esta restringido a la comunicación entre puntos remotos, a una necesidad de transmisión de grandes volúmenes de información, gran cantidad de usuarios y/o donde la interferencia magnética es un problema, ello debido al costo de los dispositivos ópticos, en otras palabras, es recomendable usar fibra óptica solo cuando su aplicación este perfectamente justificada.

2.0 Un enlace entre computadoras para los laboratorios de electrónica en la F.E.S.C.:

2.1 Justificación:

Como ya se ha venido mencionando se esta gestando una revolución en el área de la transmisión de información. Una revolución de la cual es conveniente estar al tanto si es que no se desea quedar al margen de los beneficios de ella, tal es el caso de la transmisión mediante fibra óptica.

La instalación de equipos de transmisión ópticos es actualmente una realidad, de ahí la necesidad de estar prevenidos y preparados para el manejo de esta nueva tecnología.

Si bien es cierto que teoría acerca de esta nueva tecnología puede ser implementada en los planes de estudio, la parte práctica es la que soporta, y en un momento dado estimula para indagar más acerca de ella.

Al poner en funcionamiento un enlace de este tipo, en primera instancia, se trata de estar en posibilidades de compartir recursos o información entre dos puntos remotos, como lo son los laboratorios de control digital y electrónica en la facultad.

En segunda instancia el objetivo consiste en traer tecnología de punta a la facultad, con el fin de preparar a los alumnos para manejar señales de tipo óptico, conocer e identificar las virtudes de una transmisión por fibra óptica.

Finalmente una inversión en fibras ópticas requiere de un valor agregado que la justifique, el valor agregado en este caso se refiere a dejar memorias técnicas de la instalación, y en su caso, puesta en operación del enlace, con el fin de que en un futuro se puedan aprovechar para la instalación de terminales remotas o bien como servidores en una red para servicios tanto administrativos como técnicos con computadoras personales.

Antes de continuar es conveniente remarcar que el enlace se planteará desde un punto de vista comercial, razón por la cual es necesario tomar en consideración las características y las especificaciones de los elementos existentes en el mercado para el uso que estoy proponiendo, para ello primeramente me concentraré en identificar los parámetros importantes, y/o necesarios para elaborar una solicitud de información con respecto a los equipos existentes; posteriormente se seleccionará el equipo de acuerdo a las virtudes que presenten y al costo que ello represente.

2.2 Cable óptico:

Como ya vimos anteriormente el mecanismo de propagación de una señal óptica se realiza a través de las fibras ópticas, vimos sus características, los procesos de fabricación, etc.

Este es el momento en que se debe de realizar la elección adecuada del tipo de cable óptico a usar en la instalación, para poder decidir el tipo de cable, es necesario, establecer la ruta por la cual el cable será instalado.

Puesto que los laboratorios de electrónica y control digital se encuentran dentro del mismo edificio, no es necesario establecer una ruta externa, es decir, no se requiere de una infraestructura de conducción por ductos subterráneos, o una instalación aérea autosoportada, sino una instalación para interiores.

De manera que a primera vista eliminaré la opción de cable para instalación subterránea o aérea, y pondré énfasis en cable para instalación de interiores.

La elección del cable para interiores se basa en el hecho de que no es necesario una protección para:

- a) Temperaturas extremas.
- b) Daño por viento.
- c) Daño por lluvia.
- d) Daño por acción directa de nieve y/o hielo
- e) Daño por exposición directa al agua.
- f) Daños por rayos Solares.
- g) Daños por terremotos.
- h) Daño por la acción de dispositivos o mecanismos ajenos a la fibra (cargas pesadas, tracciones ajenas a la instalación.
- i) Daño por roedores, insectos y aves.

Debido a que la instalación será en interiores se hace necesario un especial énfasis en parámetros tales como esfuerzos máximos, flexibilidad, y protección de acuerdo al medio de instalación, es decir requiere de una protección especial contra el hombre.

Para la elección adecuada y de acuerdo a los planteamientos anteriores, el cable requerido en un principio deberá tener:

Cubierta primaria: Toda la fibra óptica deberá estar protegida por una cubierta primaria de acrilato epoxico, ello con el fin de proteger a la fibra durante su manejo en la manufactura del cable, es colocada por el fabricante de la fibra.

Cubierta secundaria: Como ya se vio anteriormente se cuentan con dos tipos de cubiertas, de tubo holgado y cubierta de tubo apretado, la de tubo holgado, generalmente se usa cuando se va a canalizar mas de una sola fibra por un tubo holgado, ademas cuando los cambios de temperatura son tan extremos que en cierto momento podrian representar un daño para el desempeño de la fibra, de cualquier forma ninguno de los casos anteriormente citados aplican, por lo cual se requerirá una cubierta de tubo apretado, además, con la de tubo apretado se tendrá un cable de pequeñas dimensiones, flexible, ligero y fácil de manejar para empalmes y conexiones.

Miembro de tensión: recordando un poco, el miembro de tensión es el que tendrá por objeto concentrar todos los esfuerzos para lograr una buena resistencia mecánica; debido al tipo de instalación que se pretende realizar el miembro de tensión deberá contar con un módulo de elasticidad alto, buena flexibilidad y bajo peso por unidad de longitud, para una consulta acerca de los materiales usados consultar la sección 3.5 de este trabajo.

Por el momento me limitaré a mencionar que de acuerdo con las características requeridas el material que mas se aproxima es la Aramida mejor conocida como Kevlar, ya que cuenta con un alto modulo de elasticidad, y bajo peso por unidad de longitud.

Barreras contra la humedad: puesto que el cable no se encontrará bajo influencia directa de agua, la barrera contra la humedad no se hace necesaria.

Barreras térmicas: La barrera térmica tiene básicamente dos funciones, una es la de proteger a la fibra contra cambios extremos de temperatura y la otra es la de protegerla contra daños por las temperaturas alcanzadas durante el proceso de manufactura. Debido a que el cable no se encontrará en acción directa con el medio ambiente externo, no es necesaria.

Armadura: debido a que el cable no se encontrará sujeto a grandes riesgos de daños mecánicos ni a la acción directa de roedores, termitas o aves, la armadura no es necesaria, mas aún, el cable no deberá llevar este elemento.

Cubierta del cable: La cubierta que mas se adapta por su protección mecánica, térmica y química es el cloruro de polivinilo mejor conocido como PVC, ya que este material tiene buena resistencia a la fricción, es resistente al envejecimiento, al ozono, cuenta con un buen rango de temperatura de operación (-20° a 70°C), y lo mas importante para una instalación en interiores, no es propagador a la flama, es decir es autoextinguible.

Las Características mencionadas anteriormente definen a un cable de uso para interiores, sin embargo aun dentro de los cables designados como para interiores, hay cable de uso ligero, de uso rudo, monomodo, multimodo, etc. Para hacer una selección adecuada, en primera instancia se deben de verificar las características de cada uno de los cables:

	C. uso ligero	C. uso rudo
Peso (kg/km)	18.0	26.5
Temperatura de operación (°C)	-20/60	-20/70
Carga de tensión (Instalación)	840 N	1120 N
Radio mínimo de curvatura (cm)	4.0	6.0
* Valores típicos para un cable de 62.5/125, Multimodo.		

TABLA COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE CABLE PARA INTERIORES: USO LIGERO Y USO RUDO.

Como claramente se puede apreciar el cable de uso rudo presenta mas ventajas excepto en el radio mínimo de curvatura, en donde hay una diferencia apreciable; debido a que se pretende guiar a la fibra por el interior de algunos cubículos, al radio mínimo de curvatura es un factor definitivo para recomendar como la mejor opción al cable de uso ligero.

Debido a que el volumen y la distancia a transmitir la información no justifica el uso de un cable de tipo monomodo se usará un cable multimodo, para trabajo en la ventana de los 850 nm, el diámetro del núcleo y del revestimiento quedará abierto hasta que se haya hecho la selección adecuada del equipo.

Una vez expresado lo anterior, concluimos que el cable a usar es: CABLE DE APLICACION PARA INTERIORES USO LIGERO MULTIMODO DOBLE.



- CUBIERTA EXTERNA (POC)
- ▨ MIEMBRO DE TENSION (ARAMIDA)
- CUBIERTA SECUNDARIA (TERMO APRETADO)
- FIBRA OPTICA

ACOTACIONES EN MM

CABLE DE APLICACION PARA INTERIORES DE USO LIGERO MULTIMODO DOBLE

2.3 Instalación:

Ha quedado definido que la instalación definitivamente será en la planta interna. Las técnicas usadas para una instalación de fibra óptica, son similares a las de los cables convencionales, aunque se requerirá de cuidados especiales durante la instalación con el fin de minimizar los esfuerzos de tensión y doblez sobre el cable.

Sin embargo antes de seguir adelante se requiere establecer un criterio de instalación, es decir que ruta dentro de el edificio se seguirá y bajo que premisas, para ello existen tres opciones:

- a) Usar la infraestructura ya instalada como lo son ductos para la transmisión de energía eléctrica.
- b) Realizar una nueva instalación.
- c) Una combinación de ambas.

Revisando cada una de las opciones, en primera instancia se trata de aprovechar una infraestructura ya instalada o existente, con el fin de maximizar recursos; sin embargo varias precauciones y consideraciones son necesarias a este respecto, antes que nada es necesario revisar los planos de la instalación, comprobar que estos correspondan físicamente, revisar las condiciones de las mismas, la distancia entre puntos de distribución y su localización y lo más importante la factibilidad de que esta instalación pueda asimilar la adición del cable de fibra óptica.

Hay que recordar que el hecho de que un cable de fibra óptica sea instalado en la misma vía no representa problema alguno de seguridad para ninguna de las instalaciones, primeramente por que el material usado en el cable de fibra es totalmente dieléctrico y no propagador a la flama, y en segunda instancia, no representa problema alguno de inducciones electromagnéticas, finalmente su tamaño y peso no ponen en riesgo la instalación ya existente, sin embargo, se recomienda por seguridad que el cable de fibra óptica sea claramente identificado mediante leyendas de precaución y aviso en los lugares de acceso; por otro lado es importante considerar que si bien la instalación del cable de fibra no representa peligro alguno para la instalación ya existente, quizás esta instalación si represente un problema para el cable de fibra óptica, debido primeramente a las curvaturas de la misma, debemos recordar que el cable de fibra cuenta con un radio mínimo de curvatura, que no deberá ser excedido, ya que se pueden ocasionar daños irreversibles a la fibra.

Y en segundo término, deberá haber espacio suficiente para realizar las maniobras de tracción de cable dentro de los ductos sin que exista daño para cualquiera de las instalaciones, esto solo es posible constatarlo físicamente.

Por otro lado el instalar un sistema de ductos, canales o vías expresamente para este fin es lo más apropiado, ya que se construiría tomando en cuenta las limitaciones físicas de la fibra, y la ruta más apropiada para esta instalación, sin embargo, cabe señalar los costos inherentes a una nueva instalación.

Por lo tanto lo más apropiado sería, entonces, realizar la instalación como un conjunto, es decir usar la instalación existente en donde las condiciones lo permitieran, y en aquellos lugares donde no fuese posible, realizar una nueva canalización, de esa manera se aprovecha al máximo la infraestructura ya existente y se minimiza el costo de una nueva instalación.

En las instalaciones para cable de fibra óptica deben considerarse los elementos auxiliares tales como: cajas de empalmes, cajas de distribución, de manera que se acopien al espacio ya existente o a las condiciones de operación del sistema.

Como ya vimos, estos elementos tienen la finalidad de facilitar la instalación, trabajos de mantenimiento correctivo, la distribución de la señal y la posibilidad de llegar a lugares más remotos mediante la repetición de la señal.

La instalación que se pretende realizar no será la excepción, ya que si bien la distancia a recorrer es corta, se debe de pensar en la posibilidad de ampliaciones futuras o bien en los trabajos de instalación y mantenimiento.

Por otro lado, el uso de elementos de conexionado en un momento dado podrá llegar a servir como elementos atenuadores en caso de que los dispositivos receptores llegasen a ser saturados por la señal óptica. también sera un punto de medición, en caso de alguna falla.

En este caso no será necesario el uso de empalmes, puesto que un empalme es una unión definitiva que se usa para enlaces a mediana y larga distancia, por lo tanto tampoco serán necesarias las cajas de empalme, ni los distribuidores ópticos, sin embargo se requerirá de conectores y acopladores, para la unión de los tramos de cable, el tipo de conector y su acoplador quedara definido de acuerdo con el tipo de conectores que usen los dispositivos activos que se elijan, por lo tanto, en esta sección solo me limitaré a concretar el lugar en donde se realizará el conexionado y la ruta a seguir para la instalación.

Como ya se menciona anteriormente no será posible usar toda la infraestructura en la instalación de la fibra debido principalmente a los reducidos radios de curvatura de los ductos, de donde surge entonces la pregunta ¿hasta donde es posible usar la infraestructura ya existente?.

Comencemos desde el laboratorio de electrónica; el almacén de los laboratorios de electrónica se encuentra exactamente ubicado en la parte posterior de la caja de distribución eléctrica, por lo que surge la idea de canalizar el cable por los conductos ya instalados hasta llegar a la planta baja, en donde se tendrá que abandonar la tubería para la instalación eléctrica y comenzar a instalar un nuevo sistema de canalización en trayectoria recta, la trayectoria puede quedar tanto por la parte externa del edificio como por la parte interna del mismo, una ventaja evidente de usar tubería que vaya por la parte exterior es que no se tendrían que atravesar paredes o mover anaqueles que pudieran encontrarse en la ruta, sin embargo, la instalación quedaría a expensas de agentes externos no muchas veces controlables.

Finalmente el acceso al laboratorio de control digital será por el almacén, en donde se realizaran los arreglos necesarios para que la fibra tenga los menos dobleces posibles.

2.4 Transmisores y receptores:

Esta quizás es una de las áreas, mas competidas y conflictivas, ya que resulta todo un problema el decidir que tipo de equipo se va a usar, para no perdernos en el mar de equipos disponibles, es conveniente antes que nada hacer un compendio de las necesidades que los equipos de transmisión y recepción deberán tener, de esta manera tendremos una guía acerca de que tipo de equipo es el que se requiere:

a) **Módularidad.** debido a que se desea comunicar un par de computadoras personales a través del puerto serial, los módulos deberán ser conectables directamente a estas máquinas; Entre menos arreglos de circuitería interna se tengan que hacer dentro de las máquinas es mejor y finalmente es deseable que su alimentación eléctrica sea a través del mismo puerto.

b) **Velocidad de transmisión.** el equipo deberá tener una velocidad de transmisión tal que en conjunto con el sistema se tenga como mínimo la máxima velocidad de transmisión de información entre puertos (19.2 K bauds mín.).

c) **Potencia óptica.** Los equipos deberán tener la potencia mínima necesaria para transmitir y recibir la señal con la suficiente intensidad para que pueda ser procesada, debiendo tomar en cuenta para este aspecto, las pérdidas ocasionadas por el cable de fibra óptica, los conectores, el factor de seguridad, e inclusive las pérdidas por inserción en los transmisores y receptores mismos. Sin embargo es conveniente apuntar que debido a que la distancia que se pretende enlazar es corta, este parámetro no deberá presentar problema alguno.

d) **Alimentación.** Los equipos a seleccionar deberán en lo posible ser alimentados a través del mismo puerto serial, sin embargo si llegase a requerir de una fuente externa esta deberá de alimentarse con 110V.

e) **Temperatura de operación.** puesto que los equipos no se encontraran sometidos directamente a la intemperie o en un ambiente industrial, su rango de operación no requerirá ser mayor de las temperaturas que se alcanzan en los laboratorios.

f) **Tamaño.** puesto que se pretende que estos dispositivos sean colocados en el puerto de la máquina, su tamaño deberá ser tal que no interfiera con la operación de la computadora ni con el lugar donde esta este colocada.

g) **Compatibilidad,** es decir, las señales tanto del transmisor como del receptor deberán ser compatibles entre si, tanto en niveles de voltaje, como en protocolos de comunicación.

h) **Precio,** el precio deberá ser tomado en cuenta muy conservadoramente, por lo que, llegado el momento sera un factor determinante para la selección del equipo.

Es importante mencionar que si bien el precio es un factor determinante, este no deberá ser bajo ninguna circunstancia un factor que ponga en demérito la calidad del enlace, ello debido al alto costo de la inversión general.

1) Soporte técnico, fundamentalmente se refiere a que es recomendable que los dispositivos a usar sean de tipo comercial, ello debido a dos razones, la primera es que de esta manera se puede tener todo el soporte técnico, tanto en cuanto a refacciones, como a futuras expansiones o crecimientos, y la segunda razón es que a nivel industrial o comercial, difícilmente se encontrarán modelos a nivel experimental, por lo que es conveniente que se tenga un conocimiento de los elementos que la industria del ramo ofrece para cierta aplicación.

2.5 Enlace:

En la sección anterior revisamos los lineamientos básicos que se requieren para efectuar el enlace mediante la fibra óptica, sin embargo, es el momento de tomar decisiones basadas en los presupuestos tanto de potencia, ancho de banda y económicos.

Primeramente es necesario establecer que el enlace se puede llevar a cabo bajo tres premisas:

1) Un enlace a nivel experimental, en donde tanto los transmisores, como los receptores y toda la electrónica que los soporta sean diseñados y elaborados por el sustentante; esta proposición a nivel ensayo podría dejar antecedentes básicos interesantes tales como el cálculo de los elementos internos del detector y la fuente; No obstante el tiempo para su ejecución es incierto pues dependería en mucho de la disponibilidad de los componentes a nivel comercial, información técnica, construcción a nivel prototipo, pruebas y construcción final, el costo es incierto también, pero es seguro que sería mas alto que comprando los transmisores y receptores ya armados.

2) Enlace usando elementos comerciales, pero con el cálculo del enlace realizado por el sustentante, y de ser posible la instalación y puesta en funcionamiento como canal de comunicación, mismo que dependería de la disponibilidad de los transductores, y finalmente, las memorias técnicas de la instalación y puesta en funcionamiento; El tiempo de ejecución, es mas predecible, puesto que al usar elementos comerciales, podremos estar casi seguros de la efectividad de ellos, a su vez se cuenta con el respaldo de el fabricante, y por lo tanto una garantía que asegure el funcionamiento de ellos al menos por un periodo de tiempo, lo que en cierto momento viene a garantizar la inversión que se pretende realizar;

El tiempo de ejecución básicamente dependería de la disponibilidad de los componentes por parte del fabricante, y que regularmente es de 4/6 semanas despues de la orden de compra, mientras este periodo de tiempo transcurre, se podría ir adelantando en la instalación que soportara a la fibra de manera que una vez con los componentes se requieran de 2 a 3 semanas para la instalación.

3) Realizar el enlace por un contratista, por las características de una instalación de este tipo, el tiempo de ejecución es previsible y se obtiene la seguridad de que se tendrá un sistema "llave en mano". es decir el contratista se encargara de los presupuestos, la elección básica del equipo, el diseño del enlace, la canalización, sus pruebas y su puesta en funcionamiento; si bien esta parece ser la opción mas cómoda, tambien resultaría ser la mas cara, y sobre todo dejaría sin efecto el estudio realizado sobre las comunicaciones por fibra óptica.

Tomando en consideración los puntos anteriores, y los objetivos de este trabajo, se ha seleccionado la segunda opción, ello debido a que: el diseño de un enlace experimental nos dejaría al margen de los adelantos técnicos, con un margen de seguridad incierto y un tiempo de realización no predecible. Por otro lado el encomendar el enlace a un contratista eliminaría la posibilidad de aprender sobre los enlaces y mas aun, nulificaría los objetivos de este trabajo.

El diseño del enlace por el sustentante usando elementos comerciales asegura un funcionamiento aceptable del sistema, con tecnología de punta, a un costo razonable y con la experiencia necesaria para poder realizar otros enlaces de este tipo, lo que concuerda perfectamente con los objetivos de este trabajo.

Ahora bien con los elementos reunidos hasta este momento se debe hacer una solicitud de información tanto técnica como comercial a varias compañías que manejan este tipo de dispositivos, entre la información solicitada tenemos:

- Tipo de fibra.
- Ventana de operación.
- Potencia del transmisor.
- Tipo de fuente.
- Sensitividad en el receptor.
- Tipo de detector.
- Código de modulación.
- BER.
- Compatibilidad en las interfaces.
- Número de conectores.
- Número de empalmes.
- Requerimientos concernientes al medio ambiente.
- Requerimientos de tipo mecánico.
- Requerimientos de tipo especial.

Debido a que las empresas se encuentran ubicadas en los Estados Unidos, el intercambio e información se realizó en el idioma Ingles.

A continuación presento un listado de las compañías a las que se le solicitó la información:

All right computer Corp.	Fax no. (713) 777-6698.
Black Box Corp.	Fax no. (412) 746-0748.
Canoga Perkins Corp.	Fax no. (818) 718-6312.
Fibertron Corporation	Fax no. (213) 697-5360.
Gould Electronics.	Fax no. (301) 787-2831.
Lytel Inc. (subsidiary of AMP INC.).	Fax no. (201) 685-1282.
Mitsubishi international Corp.	Fax no. (212) 805-1746.

Fuente: Revista "FIBEROPTIC PRODUCT NEWS"

En la carta se solicitó información para un sistema de comunicación de datos punto a punto entre computadoras personales usando el puerto RS-232 para una transmisión serial con fibra óptica.

La única compañía que no contestó fue Black Box; Gould Electronics, trabaja dispositivos para conexiónado y algunos dispositivos pasivos, por lo que no compete, en cuanto a las otras empresas presentamos un apartado de sus características de equipo que ofrecen:

ALL RIGHT COMPUTER CORPORATION:

8880 Bellaire Blvd, Suite E
Houston, TX, 77036.
Equipo FX-111.

Transmisión dual asíncrona a 19.2 Kbps.
Ganancia de 12db con fibra de 62.5/125, aunque acepta fibras de 50/125 y 100/140[µm].
No requiere de fuente externa de alimentación.
Su precio es de 195 USCY, libre a bordo la ciudad de Dallas, Texas, su tiempo de entrega depende de la disponibilidad al momento de hacer la orden de compra

CANOGA PERKINS CORP.

Distribuidor en México:
RETELCO, S.A. DE C.V.
Paseo de la Reforma 2977.
05000, México, D.F.
Equipo 2132.

Transmisión dual asíncrona a 56.0 Kbps.
Ganancia de 12db con fibra de 62.5/125[µm] y de 10db con fibra de 50/125µm, aunque acepta fibra de 100/140µm.
No requiere de fuente externa de alimentación.
Tiene un Bit Error Rate de 1×10^{-9} , trabaja a una longitud de onda de 850 nm y su conexiónado óptico puede ser con conectores ST ó SMA.
Su precio es de 232 USCY, libre a bordo la ciudad de México, su tiempo de entrega es de 21 días hábiles después de colocada la orden de compra.

FIBERTRON CORPORATION.

450 E. Commercial way.
La Habra, Ca. 90631.
Equipo ODL R5232.

Transmisión dual asincrónica a 19.2 kbps.
Ganancia de 12db con fibra de 62.5/125 μ m, aunque acepta fibra de 50/125 y 100/140 μ m.
Si requiere de fuente externa de alimentación.
Tiene un Bit Error Rate de 1×10^{-9} , trabaja a una longitud de onda de 850 nm y su conexasión óptica es con conectores ST.
Su precio es de 205 USCY (incluye la fuente externa de alimentación), libre a bordo la ciudad de La Habra, California, su tiempo de entrega es de 3 días hábiles después de colocada la orden de compra.

LYTEL INCORPORATED.

61 Chubb Way.
Somerville, New Jersey, 08876.
Equipo: Optimate ECL.

Transmisión simple asincrónica a 1000. Kbps mín.
Ganancia de 15 db con fibra de 62.5/125 μ m, aunque acepta fibra de 50/125 y 100/140 μ m.
Si requiere de fuente externa de alimentación, y de circuitería externa de manejo.
Tiene un Bit Error Rate de 1×10^{-9} , trabaja a una longitud de onda de 850 nm y su conexasión óptica es con conectores ST o FSMA.
Su precio es de 103 USCY, libre a bordo la ciudad de Harrisburg, Pa., su tiempo de entrega es de 45 días hábiles después de colocada la orden de compra.

MITSUBISHI INTERNATIONAL CORPORATION.

520 Madison Av.
New York, N.Y., 10022.
Equipo: DH121.

Transmisión dual asincrónica a 20.0 Kbps.
Ganancia de 15 db con fibra plástica de 250/1000 μ m.
Si requiere de fuente externa de alimentación.
Trabaja a una longitud de onda de 660 nm y su conexasión óptica es con conectores SMA.
Su precio es de 145 USCY (incluye la fuente externa de alimentación), libre a bordo la ciudad de New York, NY, su tiempo de entrega es de 35 días hábiles después de colocada la orden de compra.

Contemplando el hecho de que la mayoría de los equipos aceptan casi toda la gama de tamaños de fibra óptica es conveniente, complementar este estudio con los valores de cada una de las fibras que pueden ser empleadas, incluso las plásticas

Diámetro del núcleo (μm):	50	62.5	100	250	M.M.
Diámetro del revestimiento (μm):	125	125	140	1000	M.M.
Apertura numérica	0.2	.275	.290	.470	M.M.
Atenuación máx. a 650 nm (db/km)	-	-	-	230	-
Atenuación máx. a 850 nm (db/km):	4	4	5	-	-
Atenuación máx. a 1300 nm (db/km):	2.5	2.5	4	-	1
Ancho de banda mín. 850 nm (MHz/km):	400	160	100	-	-
Ancho de banda máx. 1300 nm (MHz/km):	400	500	200	-	-
Diámetro nominal (mm):	3/6.1	3/6.1	3/6.1	2/4.6	3.0
Material de la cubierta exterior:	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC
Peso del cable (kg/km):	16	18	18	8	9
Temperatura de operación ($^{\circ}\text{C}$):		- 20 / 80			
Carga máx. aplicable (en instalación)	840N	840N	840N	245N	250N
Radio mínimo de curvatura (cm):	4	4	4	2.5	4
Precio (USD/mt)	2.21	2.91	3.41	1.44	

TABLA COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO DE UN CABLE PARA INTERIORES OPERANDO A DIFERENTES LONGITUDES DE ONDA.

Ahora bien ¿Que tipo de transmisor y receptor se usara? La primera consideración se refiere a la ventana de operación, o bien a la longitud de onda de la luz, para lo cual se cuenta con:

650nm.
850nm.
1300nm.
1550nm.

La primera es muy cotizada para transmisiones en donde altas pérdidas pueden ser toleradas, y básicamente se usa en fibras plásticas.

La segunda es comercial, se usa para transmisión a distancias medias, en donde se pueden afrontar pérdidas regulares y con velocidades de transmisión medias.

La tercera es para transmisiones a velocidades altas, y distancias medias largas, su costo es mayor.

La cuarta es para transmisiones a velocidades muy altas a distancias largas y donde se requiere la menor atenuación posible, los transductores usados son dispositivos costosos y complicados.

A simple vista se puede confirmar que la longitud de onda a usar sera la de 650 nm o 850 nm, ya que el uso el cual estaria destinado el enlace no justificaria una inversion mayor tanto economicamente como en longitud de onda. Por otro lado, regularmente la fibra óptica de vidrio puede operar a una longitud de onda de 850 nm o 1300 nm, lo que automaticamente le da un punto a su favor, ya que si posteriormente se desea trabajar en la banda de los 1300 nm; no se requerira cambiar la instalacion; por las premisas expuestas anteriormente podemos concluir que trabajaremos en la longitud de onda de los 850 nm.

Por otro lado, hay un aspecto de importancia que debe ser tomado en cuenta, y es que para trabajar con los dispositivos de LYTEL se requiere de una velocidad mínima de transmisión de 1 Mbps, debido a que la velocidad que se genera en las máquinas es de 19.2 kbps, requeriríamos de un dispositivo especial para elevar la velocidad de transmisión aunado a la circuitería de manejo que requiere, ello evidentemente aumentaría el costo del sistema y por lo que esta opción es desechada.

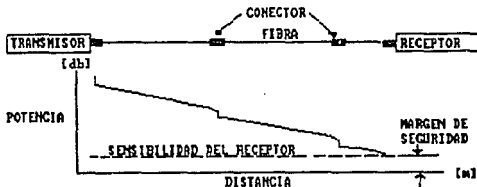
2.6 Presupuesto de potencia:

El presupuesto de potencia es una forma de analizar y cuantificar las pérdidas en un enlace. Debido a que la función básica del enlace es suministrar suficiente energía óptica al receptor, el cálculo adecuado del enlace traerá como consecuencia una recepción adecuada. Es decir, con el presupuesto de potencia lo que se intenta es cuantificar las pérdidas en el enlace, y compararlas contra la potencia óptica del transmisor y la sensibilidad del receptor, de manera que podamos conocer si el receptor estará recibiendo suficiente energía óptica para un funcionamiento adecuado.

Dentro del presupuesto de potencia además de usar todos los elementos que intervienen en una red, se debe de considerar un factor de seguridad, el cual es una reserva en la potencia que prevé pérdidas ocasionadas por el envejecimiento de la fuente y del detector óptico; pérdidas adicionales por mantenimiento correctivo, y pérdidas que pudieran ocurrir por curvaturas en el cable o exceso de carga aplicada durante la instalación.

Los valores típicos van desde 3 dB hasta 6dB; Debido al tipo de instalación que se pretende realizar por medio del presupuesto de potencia, podremos averiguar si el margen de seguridad con el que contamos es el adecuado, y por supuesto si el equipo recibirá suficiente energía óptica, según los parámetros que hemos fijado.

La siguiente figura es una representación gráfica del enlace y la forma en la cual la potencia óptica se vera demeritada.



REPRESENTACION GRAFICA DE LAS PERDIDAS EN EL ENLACE.

Para realizar el calculo de el presupuesto de potencia usare los datos de las fibras, el transmisor, y el receptor que se dieron en la seccion anterior: sin embargo hay que identificar el tipo de fibra para la cual existe una respuesta adecuada al presupuesto de potencia.

La forma de llevar a cabo el presupuesto de potencia es sustraerle a la potencia del transmisor la potencia minima requerida por el receptor, en aquellos casos en donde el presupuesto no se indique:

$$\text{Presupuesto} = \text{Pot. transmisor} - \text{Pot. receptor};$$

$$P.P. = P_{OH} - P_{IN}$$

	PRESUPUESTO DE POTENCIA PROMEDIO [db]			
	F	I	B	R A
	50/125	62.5/125	100/140	250/1000
FX111R		12		
2132	10	12		
ODLRS232		12		
DH121				14

PRESUPUESTOS DE POTENCIA DE LOS EQUIPOS EN ESTUDIO OPERANDO CON DIFERENTES TAMAOS DE FIBRA.

NOTA: LOS VALORES NO SEALADOS NO SON PROPORCIONADOS POR LOS FABRICANTES.

Como se puede observar en los resultados obtenidos anteriormente, la fibra de 62.5/125 es una buena opcion, ya que se encuentra contemplada en un 75% de los equipos que estamos evaluando.

Por otro lado, las perdidas totales se calculan sumando las perdidas debidas a la atenuacion por longitud en la fibra optica, más las perdidas por acoplamiento en los conectores (tanto como de apertura numerica como en el diametro del nucleo), las atenuaciones en los empalmes, y las perdidas en los derivadores opticos, conmutadores opticos o algún otro dispositivo.

Las perdidas por atenuacion en la fibra, se calculan multiplicando el coeficiente de atenuacion de la fibra por la longitud total de la fibra:

$$L_{LONG}[\text{db}] = k[\text{db/km}] * d[\text{Km}]$$

Fibra [µm]	Coefficiente de atenuacion [db/Km]*	Longitud [Km]	Pérdidas por fibra [db]
50/125	4*	0.075	0.3
62.4/125	4*	0.075	0.3
100/140	5*	0.075	0.4
250/1000	230**	0.075	17.3

* A una longitud de onda de 850nm.

** A una longitud de onda de 660nm.

PERDIDAS POR LONGITUD DEL ENLACE, EVALUANDO CON DISTINTOS TAMAOS DE FIBRA.

Las pérdidas por inserción del conector dependen básicamente de tres factores:

- 1) Pérdidas por el conector mismo, es un dato proporcionado por el fabricante y dependerá de una aplicación óptima, que este bien insertado y del tipo de conector (familia de conector, material de construcción y del fabricante).
- 2) Pérdidas por unión de fibras con diferente diámetro: esta pérdida solo tendrá validez cuando el diámetro de la fibra que transmite sea mayor que el diámetro de la fibra que recibe, ya que la luz proveniente de la primera fibra escapará por la sección que el diámetro de la segunda fibra no alcance a cubrir, se calcula de la siguiente manera:

$$L_{DIA} = 10 \log_{10} (d_{FIB2} / d_{FIB1}) \left\{ \begin{array}{l} \leftarrow \Rightarrow d_{FIB1} > d_{FIB2} \\ \leftarrow \Rightarrow d_{FIB1} < d_{FIB2} \end{array} \right.$$

- 3) Pérdidas por unión de fibras con diferentes aperturas numéricas, al igual que en el caso anterior tales pérdidas solo tendrán efecto si la apertura numérica de la primera fibra es mayor que la A.N. de la segunda fibra, y se calcula de la siguiente manera:

$$L_{A.N.} = 20 \log_{10} (A.N.FIB2 / A.N.FIB1) \left\{ \begin{array}{l} \leftarrow \Rightarrow A.N.FIB1 > A.N.FIB2 \\ \leftarrow \Rightarrow A.N.FIB1 < A.N.FIB2 \end{array} \right.$$

Ya se ha mencionado que las pérdidas por inserción del conector dependen básicamente del tipo y del fabricante del conector, puesto que ya hemos hablado con anterioridad de los diferentes tipos de conectores solo nos resta mencionar el aspecto referente a los fabricantes, una lista sugerida de fabricantes es la siguiente:

*AMP *LCS *MOLEX *NEC *SEIKO *3M

Entre otros; debido a que las características que ofrecen estos fabricantes en sus productos son muy similares, la selección final normalmente se hace en base a la experiencia comercial, la garantía del producto, el tiempo de entrega, el soporte técnico y finalmente el precio.

En este trabajo seleccionaremos fibra y conectores de la marca AMP, ello debido básicamente a su servicio y su disponibilidad.

Para nuestro caso debemos comentar que los requerimientos en una primera instancia son gran durabilidad (no. de ciclos inserción-extracción); un conexionado rápido, y un formato estandar. Considerando las Características mencionadas anteriormente, podemos decir que el conector que mas se apega a ellas es el conocido como 2.5mm bayoneta con férula cerámica.

Sintetizando, debido a que en nuestro caso se usará fibra de el mismo diámetro nominal y de la misma apertura numérica nominal, solo existirán pérdidas por inserción de conector, equivalentes a 0.6 db/con. mismas que son relativas al conector descrito anteriormente.

Para el enlace requeriremos de una cantidad de 4 conexiones por dirección, lo que implica:

Pérdidas por Conector [db]	Pérdidas por A.N. [db]	Pérdidas por Diámetros [db]	Cantidad de Conexiones [pz]	Pérdidas Totales [db]
0.6	0.0	0.0	4	2.4

PERDIDAS EN EL ENLACE POR INSERCIÓN DE CONECTORES.

También hay pérdidas por inserción de empalmes, y se rigen bajo los mismos lineamientos que por inserción de conectores, es decir, tienen pérdidas por:

- 1) Por inserción del empalme.
- 2) Por diferencias en diámetros, en las fibras a unir.
- 3) Por diferencias en aperturas numéricas en las fibras a unir.

Como ya se mencionó anteriormente los empalmes son uniones permanentes, en este caso no se requieren y por lo tanto no tendremos pérdidas debidas a empalmes.

Finalmente hablare de los accesorios ópticos, tales como son: conmutadores ópticos, derivadores de señal, multiplexores por división de longitud de onda, conmutador ópticos, etc.

Los conmutadores ópticos son elementos que nos permiten dirigir la señal óptica hacia un cierto nodo o punto de comunicación, de manera que la señal pueda dirigirse a un punto o otro.

Los derivadores de señal son elementos que permiten dividir la señal y dirigirla hacia dos o más puntos pero con la observación de que la señal óptica estará presente en todos los nodos a los cuales el derivador óptico se haya dirigido, la proporción de la señal o la atenuación que vea cada nodo dependerá del número de nodos, y de la relación que el derivador tenga para cada nodo.

Los multiplexores por división en longitud de onda son dispositivos que permiten tener dos o mas señales ópticas por una misma fibra al mismo tiempo, esto se hace emitiendo las señales en distintas longitudes de onda; la principal ventaja de un dispositivo de este tipo es que por lo menos nos permite duplicar la capacidad de transmisión en la información.

Cada uno de los dispositivos antes mencionados tiene pérdidas inherentes a su propio funcionamiento, y estas serán mencionadas por el fabricante y dependerán de la técnica de fabricación de cada uno de los dispositivos.

Para este caso no es necesario el uso de alguno de los elementos ya mencionados, por lo cual no existiran pérdidas por la inserción de estos dispositivos.

Resumiendo podemos decir que el presupuesto de potencia usando distintos tipos de fibra queda como sigue:

	F 50/125	I 62.5/125	B 100/140	R 100/140	A 250/1000	[μ m] 250/1000
Presupuesto de potencial[db]	10	12				14
Pérdidas por fibra [db]	0.3	0.3		0.4		17.3
Pérdidas por conector [db]	2.4	2.4		2.4		2.4
Pérdidas por empalmes [db]	0	0		0		0
Pérdidas por diámetros[db]	0	0		0		0
Pérdidas por A.N.[db]	0	0		0		0
Perdidas totales [db]	2.7	2.7		2.8		19.7
Margen de potencia [db]	7.3	9.3				-5.7

SINTESIS DEL PRESUPUESTO DE POTENCIA USANDO FIBRA DE DISTINTAS DIMENSIONES.

2.7 Presupuesto de ancho de banda:

El análisis del presupuesto de potencia cuantifica la potencia que recibirá el receptor para su operación, sin embargo, para tener un sistema que opere de acuerdo a nuestras necesidades también requeriremos estudiar el tiempo de respuesta del enlace, es decir que todos los componentes del sistema operen a una velocidad tal que el tiempo de respuesta del sistema completo sea por lo menos igual al requerido por la aplicación. A tal análisis se le conoce como PRESUPUESTO DE ANCHO DE BANDA.

La necesidad de contar con un presupuesto de ancho de banda proviene tanto de los transmisores y receptores así como de el cable de fibra óptica aunque no de conectores, empalmes o cualquier otro elemento no activo:

Es importante recordar que las fuentes y los detectores no trabajan solos, sino que requieren de una infraestructura electrónica para su manejo y operación, por lo que aunado al tiempo de respuesta de las fuentes y los detectores es necesario aumentar el tiempo de respuesta de los componentes electrónicos usados.

Cualquiera que sea el caso, estos datos son proporcionados por el fabricante de los componentes.

El tiempo de respuesta de los elementos puede ser calculado mediante la expresión:

$$t_r = 0.35 / (BW)$$

Donde: BW Es el ancho de banda en cuestión.

Por otro lado, el ancho de banda óptico de la fibra deberá ser ajustado a la longitud de la fibra, ello se logra realizando el cociente del coeficiente de ancho de banda óptico de la fibra y la distancia del enlace, a modo de evaluar el comportamiento de cada una de las fibras, veamos el siguiente cuadro comparativo:

Fibra [μ m]	Ancho de Banda O. [MHz-Km]	Distancia [Km]	Ancho de Banda O. [MHz]	Tiempo de Respuesta [10E-12Seg]
50/125	400	0.075	5,333	65.63
62.5/125	160	0.075	2,133	164.10
100/140	100	0.075	1,333	262.50
250/1000	N/A	0.075	N/A	N/A

ANCHO DE BANDA OPTICO DISPONIBLE EN EL CABLE PARA EL ENLACE CON DIFERENTES TAMAOS DE FIBRA

Por otro lado es importante hacer notar que el ancho de banda que estamos describiendo es el ancho de banda óptico o disponible en la fibra para transmisión de señales luminosas, sin embargo, a final de cuentas la naturaleza de la señal a transmitir es de tipo eléctrico, de manera tal que es necesario convertir el ancho de banda de la fibra o el ancho de banda de los dispositivos activos, mediante el siguiente factor de conversión:

$$BW_{OPTICO} = 1.41 BW_{ELECTRICO}$$

En este trabajo convertiremos el ancho de banda óptico de la fibra a un equivalente eléctrico de manera que al efectuar el presupuesto de ancho de banda del sistema tengamos parámetros semejantes. Tal conversión puede apreciarse en el siguiente cuadro:

Fibra [μ m]	Ancho de Banda O. [MHz]	Tiempo de Respuesta [10E-12Seg]	Ancho de Banda E. [Mbps]	Tiempo de Respuesta [10E-12Seg]
50/125	5,333	65.63	3,782	92.54
62.5/125	2,133	164.10	1,513	231.33
100/140	1,333	262.50	945	262.57
250/1000	N/A	N/A	N/A	N/A

ANCHO DE BANDA ELECTRICO DISPONIBLE EN EL CABLE PARA EL ENLACE CON DIFERENTES TAMAOS DE FIBRA

Como se puede apreciar el tiempo de respuesta para las diferentes dimensiones de fibra es distinto, sin embargo para nuestra aplicación cualquier dimensión y consecuentemente el ancho de banda de la fibra es funcional, mas aun, es superior a lo requerido, por lo tanto desde el punto de vista del presupuesto de ancho de banda cualquiera de las fibras puede ser empleada.

Tal como lo había indicado, los conectores, empalmes y derivadores, no afectan la velocidad del sistema, y por lo tanto no se requiere tomarlos en cuenta para el presupuesto de ancho de banda. No así los dispositivos activos tales como los conmutadores ópticos, los multiplexores por división en longitud de onda, y los conmutadores ópticos, cuyo tiempo de respuesta es proporcionado por el fabricante.

Cuando se tienen todos los tiempos de respuesta de cada uno de los elementos, se procede a calcular el tiempo de respuesta del sistema:

$$t_{rsys} = 1.1 \sqrt{(t_{r1}^2 + t_{r2}^2 + \dots + t_{rn}^2)}$$

Donde: t_{rn} Es el tiempo de respuesta de cada uno de los elementos que contribuyen al presupuesto de ancho de banda.

El 1.1 es un factor que permite prever un 10% de degradación del sistema, sin embargo tal factor debe de ser eliminado cuando se pretende averiguar el tiempo de respuesta de alguno de los elementos, ya que este 10% es por todo el sistema y no por cada uno de los elementos.

Cuando se trata de sistemas integrales en ocasiones los datos que nos proporciona el fabricante son: la velocidad de transmisión del equipo, por lo que se tendrá que calcular el tiempo de respuesta:

Equipo	Vel./transmisión (Kbps)	Tiempo de respuesta (μ seg)
FX111R	19.2	18.2
2132	58.0	6.2
ODLRS232	19.2	18.2
DH121	20.0	17.5

TIEMPO DE RESPUESTA DE LOS TRANSMISORES-RECEPTORES PROPUESTOS.

Como se puede apreciar el equipo que presenta un menor tiempo de respuesta es el 2132, aunque los otros equipos se encuentran en un límite de operación aceptable para transmisión de datos.

Finalmente para concluir el presupuesto es necesario calcular el tiempo de respuesta del sistema, tomando en consideración tanto los transmisores-receptores como la fibra:

FIBRA [μm]	50/125		62.5/125		100/140	
	T	V/T	T	V/T	T	V/T
EQUIPO	[μ seg]	[Kbps]	[μ seg]	[Kbps]	[μ seg]	[Kbps]
FX111R	20.02	17.48	20.02	17.48	20.02	17.48
2132	6.82	51.32	6.82	51.32	6.82	51.32
ODLRS232	20.02	17.48	20.02	17.48	20.02	17.48
DH121	19.25	18.18	19.25	18.18	19.25	18.18

PRESUPUESTO DE ANCHO DE BANDA DEL ENLACE. CONSIDERANDO LOS DISTINTOS TIPOS DE FIBRA Y LOS EQUIPOS PROPUESTOS.

Como se puede observar, para este caso, la velocidad de transmisión del sistema no tiene influencia del tamaño de la fibra, aunque se puede apreciar la disminución de la velocidad de los transmisores-receptores al acoplarse a la fibra.

Por otro lado, es importante hacer notar que para todos los equipos excepto el 2132 se tendrán problemas si la transmisión entre puertos se efectúa a una velocidad de 19.2Kbauds; Este es un factor que debe considerarse cuando se tome la decisión final.

2.6 Presupuesto económico:

Hasta ahora he mencionado cada uno de los elementos técnicos necesarios para establecer una comunicación satisfactoria, sin embargo aun falta tocar lo que quizás sea uno de los elementos determinantes para poder llevar a cabo un enlace, el presupuesto económico.

Se puede definir al presupuesto económico como la relación costo-beneficio mas apropiada para los requerimientos de un enlace.

Al hablar de una relación costo beneficio adecuada hay que buscar un balance entre las virtudes de los equipos que se pueden emplear contra su costo, es decir en algunas ocasiones no resultara lo mas adecuado usar equipo con altas características de operación si es que el enlace que se va a realizar no las requiere, por otro lado es importante mencionar a su vez que la calidad del equipo y del enlace podra ser la diferencia entre una comunicación adecuada o un rotundo fracaso: De ahí la importancia de seleccionar el equipo que mas se ajuste a nuestras necesidades.

Para llevar a cabo esta decisión se tomarán en cuenta los presupuestos antes mencionados, a manera de resumen:

Equipo	Tiempo de respuesta Sistema [μ seg]	Vel. de transmisión del Sistema [Kbps]	Presupuesto de potencia Del equipo [db]	Pérdidas Totales Sistema [db]	Margen de Potencia [db]
FX111R	20.02	17.48	12	2.7	9.3
2132	6.82	51.32	12	2.7	9.3
ODLRS232	20.02	17.48	12	2.7	9.3
DH121	19.25	18.18	14	19.7	-5.7

SÍNTESIS DE LOS PRESUPUESTOS DE POTENCIA Y DE ANCHO DE BANDA CONSIDERANDO CADA UNO DE LOS EQUIPOS PROPUESTOS.

En cuanto al material que se requeriría para enlazar:

Descripción	Cantidad [Pz]	Precio* P.U.	Precio* Total
Conector 2.5mm bayoneta, multi-modo, férula cerámica, tipo ST	12	9.10	102.20
Receptáculo acoplador 2.5mm bayoneta	5	5.42	27.08
Cable de fibra óptica 50/125 doble, de uso ligero	75 m.	2.21	165.87
Cable de fibra óptica 62.5/125 doble, de uso ligero	75 m	2.81	217.88
Cable de fibra óptica 100/140 doble, de uso ligero	75 m	3.41	255.84
Kit de aplicación para conector 2.5mm bayoneta(ST).**	1	8,000.00	8,000.00
Epóxico de uso general	1	91.17	91.17
Varios		100.00	100.00
Total con fibra 50/125			402.17
Total con fibra 62.5/125			454.16
Total con fibra 100/140			492.12

* Precios aproximados en dolares americanos L.A.B. México, D.F.

** Este articulo no se incluyo en la suma, por considerarlo inflacionario.

COSTO APROXIMADO DEL ENLACE USANDO DISTINTOS TAMAOS DE FIBRA.

Es necesario puntualizar lo siguiente:

Que el precio de los Transmisores, receptores y de los conectores no cambian de acuerdo al tamaño de fibra que se este usando.

Este es el momento en que se tendrá que evaluar las virtudes de cada uno de los equipos, de manera que se seleccione aquel que mejor se adapte a las características del enlace que se desea establecer:

En primera instancia se debe considerar el hecho de que el equipo propuesto por Mitsubishi (DH121) no es adecuado bajo la premisa de que esta diseñado para trabajar con fibra óptica plástica, el problema no es el uso de una fibra plástica, sino de las altas pérdidas que tiene, esto se puede constatar en el momento de realizar el presupuesto de potencia en donde nos damos cuenta que no habrá un margen de seguridad, mas aun, la potencia que se pierde en la fibra ocasionará que el receptor no cuente con la suficiente potencia optica como para poder llevar a cabo su trabajo en forma satisfactoria, si bien es cierto que es un equipo muy económico, al menos para nuestro enlace, este equipo no es el adecuado.

Ahora bien los tres equipos restantes cumplen con el ancho de banda mínimo para una transmisión de datos, sin embargo el 2132 cuenta con un ancho de banda superior lo que invita a pensar que si en un futuro se usan computadoras mas veloces no habrá la necesidad de cambiar los transductores ópticos, en cuanto al presupuesto de potencia los tres cuentan con un margen de seguridad superior a los 9.0 db, nada despreciables, esto quiere decir que en un futuro se puede hacer una unión mas larga o introducir mas elementos de conexionado o derivadores, de acuerdo a las necesidades futuras.

Si bien estos tres equipos se encuentran en un mismo nivel técnico no así en el económico, el equipo FX111R tiene un precio de 195 Dlls. por transductor L.A.B.. La ciudad de Dallas con lo que se asume que habría que añadir impuestos de exportación y flete, que incrementaría el precio en un 55% esto es un precio de 302 DLLS.. El equipo 2132 tiene un precio de 232 Dlls. por unidad L.A.B.. La ciudad de México, por lo que a este precio solo habría que añadirle el 15% de IVA lo que se elevaría a 266.85 DLLS.. El equipo ODLRS232 tiene un precio de 205 DLLS. L.A.B.. La ciudad de LA habrá en California, lo que requeriría de un tratamiento similar al primero, y por lo tanto su precio vendría siendo de 318 DLLS..

Puesto que basicamente los equipos restantes tienen el mismo presupuesto de potencia, la elección se hará en base al ancho de banda y al costo del equipo, de la siguiente manera:
La evaluación consistirá en efectuar el cociente entre la velocidad a la cual el sistema puede operar satisfactoriamente (150, 300, 600, 1200, 2400, 9600 ó 19200 bauds), esto se logra eligiendo el valor menor mas próximo a la velocidad disponible del sistema y el costo del sistema, el resultado sera directamente la evaluación para tal equipo, es evidente que el equipo con una evaluación mas alta sera el que nos presente una relación costo beneficio mas adecuada:

$$Ev = VT/\$$$

Equipo	Velocidad de trasm(Sys) [Kbps]	Costo L.A.B. CD. de Méx. [USCY]	Evaluación [bps/D11]
FX111R	9.6	302.00	31.79
2132	19.2	267.00	71.91
ODLRS232	9.6	318.00	30.19

RELACION COSTO BENEFICIO ENTRE LOS EQUIPOS PROPUESTOS.

Como se ha visto el máximo puntaje lo ha registrado el equipo 2132 seguido por el FX111R y por último el ODLRS232. De manera que en ese mismo orden sera la sugerencia de equipos a usar para el enlace.

3.0 Instalación y herramientas:

A lo largo de este, se han visto las características de los sistemas de comunicación por fibra óptica, su filosofía de funcionamiento, y aun más, las características técnicas del enlace, sin embargo, también se debe de tomar en consideración la instalación que dará servicio al enlace, para que se tenga servicio durable y libre de problemas, para ello hay que planear cuidadosamente la instalación, en donde se debe de tomar en consideración las propiedades mecánicas del cable de fibra óptica.

La instalación del cable de fibra óptica en algunos aspectos es mas sencilla que para el cable convencional o el cable coaxial, ello se debe a la fuerza de tensión que puede soportar, a su tamaño y a su flexibilidad. Pese a que cada instalación es única en su tipo, podemos mencionar ciertas sugerencia básicas para llevar a cabo una buena instalación:

1) USE EL SENTIDO COMUN: Es la medida mas preciada y a su vez a la que menos se acude, y se puede expresar como "Una habilidad del individuo para no correr riesgos innecesarios", en otras palabras si existe alguna duda en cuanto a la fuerza que se le esta aplicado al cable o si el radio de curvatura es el adecuado, o bien si el método de aplicación del conector es el adecuado, lo indicado a hacer es: ¡¡PREGUNTAR!!!. Haciendo así se ahorra tiempo, dinero y esfuerzo.

2) VERIFIQUE LA RUTA por la cual se instalara el cable, ya que pudiera haber cambios que no se hubieran realizado en planos o bien se debe de cuidar que los aspectos anotados para la instalación del cable coincidan físicamente, como lo son rutas de fácil acceso, libre de rebabas o secciones filosas, evitar los dobleces, y si los hay no instalar una sección de cable con mas de tres vueltas prolongadas.

Evitar en lo posible introducir la fibra por ductos donde su capacidad instalada sea igual o superior al 75%, evitar en lo posible que el cable pase por áreas sujetas a la acción de químicos y solventes, a temperaturas extremas o áreas muy transitadas y finalmente se debe intentar instalar el cable en lugares de acceso restringido.

3) MANEJE EL CABLE CON CUIDADO, pese a que la fuerza que resiste el cable es considerablemente alta, debe cuidarse de no sobrepasar su máximo especificado, pues la fibra como ya se sabe es frágil. Debe evitarse pisar el cable y/o dejar caer o descansar objetos sobre ella.

4) VERIFIQUE que el cable se encuentra en buen estado antes y después de instalarlo, de manera que se identifique algún problema con anticipación.

5) NO EXCEDA EL RADIO MÍNIMO DE CURVATURA, tal parámetro es vital, por lo que se deberá cuidarlo durante la instalación y durante el servicio del sistema.

6) Asegúrese de que la TRACCIÓN del cable (si la hay) se haga antes de algún punto de curvatura y sobre el miembro de tensión.

7) Deje por lo menos un 5% en EXCESO de cable para cualquier imprevisto.

8) DOCUMENTE la instalación, de manera que cualquier trabajo posterior pueda ser efectuado con rapidez y seguridad.

3.1 Resistencia a la tensión y radio mínimo de curvatura:

Debido al material con el cual se ha construido la fibra óptica, hay dos características mecánicas que deben de tomarse en consideración cuando se planea una instalación, ellas son la resistencia a la tensión y el radio mínimo de curvatura, ambas importantes tanto en el momento de la instalación como cuando se encuentre en servicio, de manera que en ningún caso se vean excedidos los límites establecidos por el fabricante.

Cabe señalar que tanto la resistencia a la tensión como el radio mínimo de curvatura difieren en cuanto a sus valores para instalación como para servicio; por ejemplo la carga permitida durante la instalación sobre el cable es mayor que la carga que se permite una vez que el enlace está en servicio, de igual manera el radio mínimo de curvatura es mayor durante la instalación que cuando el enlace se encuentra ya instalado.

Por otro lado, se puede indicar que un exceso en tensión en el cable de fibra óptica originará una atenuación reversible, que si se ve incrementada causará una atenuación no reversible y finalmente si aumenta la fibra se colapsará.

Ya que conocemos el tipo de cable que se usará durante la instalación, podemos obtener sus valores típicos tanto de carga como de radio mínimo:

Carga maxima durante la instalación.....	840(N)(189 lbs.)
Radio minimo de curvatura en instalación.....	4.0(cm)(1.57in)

* Valores para una fibra 62.5/125 multimodo, uso ligero, doble, con cubierta exterior de PVC. ϕ_{nom} 3.016.1(mm).

Bajo ninguna circunstancia durante la instalación se deberá de sobrepasar una fuerza de tensión equivalente a 840N y no se deberá doblar o curvar la fibra mas alla de un radio de 4 cm.

3.2 Instalacion en interiores:

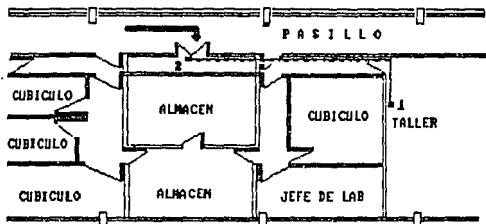
Un aspecto que es fundamental para decidir si el cable puede ser guiado por conductos ya existentes es el diámetro del cable y en su caso, si el cable ya se encuentra conectorizado. Ambas posibilidades tienen sus ventajas y sus desventajas, es decir, tener el cable previamente conectorizado, de la posibilidad de realizar la aplicación de los conectores en el cable en un ambiente controlado, mientras que por otra parte el cuidado durante la instalación se incrementa considerablemente; no obstante el conectorizar el cable hasta que este se encuentre ya instalado nos libera de cuidados especiales durante la instalación, aunque se requiere transportar el equipo de aplicación al lugar donde se va a instalar el conector y esta sujeto a las condiciones en las que este lugar se encuentre.

El siguiente paso a seguir es seleccionar la ruta por la cual el cable de fibra óptica será colocado, como ya lo había indicado anteriormente, el plan consiste en comenzar desde el almacén de los laboratorios de electrónica en el L9 planta alta, de donde se irá a la caja de distribución eléctrica, posteriormente se usará la infraestructura ahí establecida para ir a la planta baja, de donde se saldrá de la caja de distribución electrica para continuar el recorrido por la seccion interne del edificio hasta llegar a la bodega de el laboratorio de electronica digital, en donde se encuentra localizado el punto final de contacto:

La primera consideración que hay que tener dentro de la ruta seleccionada es que no haya bajo ninguna circunstancia salientes o esquinas filosas.

Posteriormente debe de tomarse en consideración los cambios de dirección, en donde deberán llevarse a cabo de manera tal que no excedan los 4.0 cm, por otro lado debido a que las secciones longitudinales de fibra no son iguales, es necesario contar con una caja de conexión en la planta baja, y otra en la planta alta.

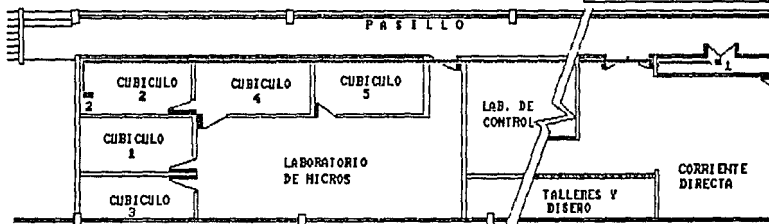
Considere la siguiente propuesta de instalación:



TUBO CONDUIT PARA GUIA DE FIBRA OPTICA COLOCADO A 2.0 mt
ESQUINAS USE CODO RADIO MINIMO DE 4CM.

- 1 ■ SALIDA DE FIBRA OPTICA USE UNA CAJA DE PARED
- 2 ■ ENTRADA DE FIBRA OPTICA A CANALIZACION EXTERNA DE LUZ
USE UNA CAJA DE CONEXIONADO.

DIBUJO SECCION PLANTA AL
EDIFICIO L-9
AREA ALMACENES LABORATOR
DE ELECTRONICA
NTS.



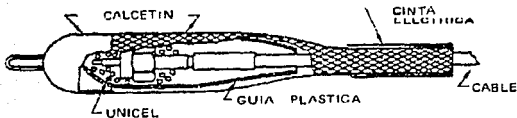
TUBO CONDUIT PARA GUIA DE FIBRA OPTICA COLOCADO SOBRE PLAFON
ESQUINAS USE CODO RADIO MINIMO DE 4CM.

- 1 ■ SALIDA DE FIBRA OPTICA DE CANALIZACION EXTERNA.
- 2 ■ SALIDA DE FIBRA OPTICA USE CAJA DE PARED COLOCADA A 2.0MT

DIBUJO SECCION PLANTA BA
EDIFICIO L-9
AREA ALMACENES LABORATOR
DE ELECTRONICA
NTS.

En el tendido del cable de fibra optica del piso superior al piso inferior, se debe tener en consideración que el propio peso del cable originará una fuerza de tensión sobre el cable de aproximadamente 0.25 N/m (0.16 lbs/ft), si el cable bajara aproximadamente 3 mts., implica que habrá una carga adicional de 0.75 N ó 0.48 lbs, mismos que tendrán que ser considerados en la carga máxima al cable a la hora de instalar.

Ya sea que el cable que se instala tenga previamente colocados los conectores o no, la fuerza de tracción deberá aplicarse directamente sobre el miembro de tensión, que en este caso es la fibra de Kevlar o sobre la cubierta exterior. El método para efectuar la tracción sobre la fibra consiste en sujetar a la fibra de Kevlar a un alambre de tracción, mismo que deberá ser sujeto a un anillo metálico de por lo menos el mismo diámetro que el cable o los conectores si es que ya se encuentran instalados, el anillo metálico por su otro extremo se sujetara a un alambre de tracción que en el extremo de carga deberá tener algún elemento de medición (tensiómetro de carga o dinamómetro) para estar monitoreando constantemente la carga que se le aplica al cable, este aditamento deberá ser cubierto con una manga termocontráctil, misma que antes de usar se le llenará con unicel; por otro lado si los conectores han sido ya instalados, el elemento de tracción deberá sujetarse a la cubierta exterior con alguna cinta autoadherible en una relación aproximada de 10 cm por cada 10 mts., debiéndose usar un dispositivo semejante al descrito anteriormente y como se detalla en la siguiente figura:



Si el cable de fibra óptica debiera pasar por un área muy concurrida de cables, se le debe de aplicar lubricante para disminuir la fricción sobre el conjunto de cables.

Cada vez que el cable salga ya sea de los conductos o de la instalación que lo contendrá será necesario embobinar el cable de fibra óptica en figuras de "8", cuyo diámetro sea por lo menos el diámetro del carrete de transporte, ello con el fin de evitar que el cable se enrede y se pueda torcer provocando un colapso de la fibra, una vez que todo el cable ha sido embobinado la operación inversa debe llevarse a cabo volteando las bobinas del cable, de manera que la punta del cable sea accesible para continuar con el proceso de inserción.

Finalmente mencionare que, si las circunstancias así lo permitieran, sacar el cable al exterior antes de una vuelta prolongada.

Es el momento de decidir sobre el conectorizado del cable, ya anteriormente se han expuesto las ventajas y desventajas de aplicar los conectores previamente, no obstante es conveniente comentar algunos puntos de apoyo para sustentar esta decisión:

1) Si el enlace será a distancia cortas, la longitud del cable deberá estar perfectamente determinada y establecida, razón por la que se deben de controlar todas las variables que puedan intervenir durante el conexionado del cable, ya que de no ser así es posible que el cable tenga que ser cortado para eliminar una mala aplicación y con ello reducir la dimensión del cable, lo que probablemente haga que la nueva dimensión no sea la adecuada para la aplicación prevista, por ello se sugiere que los conectores sean aplicados al cable por el fabricante del cable quien es quien puede tener todas las variables controladas.

2) Cuando el enlace es a distancias medias o largas, se hace extremadamente difícil poder controlar la longitud del cable a usar, es entonces que si es indispensable aplicar conectores, estos sean aplicados en el lugar en donde estará la instalación, de manera que aseguremos que la longitud del cable sea la adecuada, aplicando los conectores en el lugar mas indicado.

No obstante lo expuesto anteriormente es importante recalcar que todo ello estará sujeto al tipo de equipo de aplicación con que se cuenta, esto es si se cuenta con un equipo de fácil transporte, de adecuado manejo y seguro, se pueden instalar los conectores en el lugar en donde estará el enlace.

Para nuestro caso, hay dos consideraciones que debemos tomar en cuenta:

a) Pese a que el equipo de aplicación esta considerado dentro del presupuesto económico, la adquisición de este no se justifica para la cantidad de conectores que se van a aplicar, de ahí que de entrada eliminamos la posibilidad de poder manejar un equipo propio y nos tendremos que avenir a los lineamientos de quien nos lo vaya a facilitar para realizar este trabajo. "El equipo debe permanecer en la compañía."

b) Dado que tampoco contamos con los equipos de medición y dada la importancia que ello tiene para cuantificar las pérdidas, se hace necesario aplicar los conectores antes, de manera que se puedan enviar para evaluar las aplicaciones hechas.

Como se puede apreciar para este caso en particular resultado necesario aplicar los conectores antes de realizar la instalación del cable, de manera que en primera instancia se pudieran aplicar y en segunda se pudieran evaluar; A su vez por este medio deseo agradecer a AMP de Mexico, S.A. y Conductores Latincasa por su colaboración en la aplicación de los conectores y en la evaluación de las aplicaciones respectivamente.

La lista de material requerido para la instalación se presenta en la siguiente sección.

3.3 Conectorizado del cable:

Ahora bien no obstante se coloquen los conectores antes o despues de haber instalado el cable es conveniente seguir ciertos lineamientos generales para tener un buen conexionado:

- a) Siga las instrucciones del fabricante al pie de la letra, ello es debido a que como ya se habia comentado anteriormente el diseño de cada conector depende del fabricante y con ello el método de aplicación, es así que no es posible indicar un procedimiento de conexionado uniforme.
- b) La instalación de los conectores solo deberá llevarse a cabo por personal que haya sido entrenado expresamente para este fin, ya que de no ser así puede ocasionar daños considerables no solo al conector sino al cable y al enlace.
- c) Extrema limpieza, el área en que se aplicarán los conectores debe estar tan limpia como sea posible, libre de corrientes de aire, ello debido básicamente a dos razones:
 - 1) A que si en el proceso de pulido del conector llegase a introducirse alguna basura entre el conector y la lija, la superficie de la fibra se dañaría, incrementando considerablemente las pérdidas.
 - 2) Si se llegase a quedar alguna basura en la superficie de la fibra una vez pulido el conector, esta seria un obstáculo para la libre trayectoria de la luz, originando de igual manera pérdidas.

Por otro lado, todo el equipo de aplicación deberá estar en un lugar seguro y protegido de manera tal que no este al alcance de polvo y/o objetos ajenos a él. A su vez el equipo deberá limpiarse antes y despues de usarse, y en caso de periodos prolongados de uso, el equipo debe ser limpiado periódicamente de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Finalmente se deben de tener las manos lo mas limpias posibles.

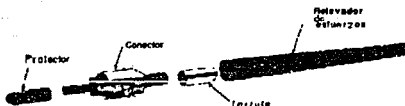
- d) No se deben ingerir alimentos, tampoco se debe fumar cuando los conectores se esten aplicando a la fibra óptica.
- e) Es muy importante cuidar de los trozos de fibra sobrante, ya que puede dañarnos al astillarnos o saltarnos a los ojos en el momento de cortarla o retirarla, de aqui que sea indispensable usar lentes de seguridad cuando se esten aplicando los conectores, a su vez se debe tener nota de el lugar en donde se deja la fibra que ha sido retirada, para tener un control más estricto se sugiere, que el material sobrante sea colocado sobre una cinta adhesiva.

El siguiente paso consiste en seguir las instrucciones del fabricante, mismas que resumimos a continuación:

NOTA: EL PROCEDIMIENTO QUE SE DESCRIBIRA A CONTINUACION ES VALIDO UNICAMENTE PARA APLICAR CONECTORES 2.5mm TIPO ST DEL PROVEEDOR AMP

1) Se debe verificar el contenido completo de las piezas que el paquete de conector trae sin sacarlas de su bolsa protectora, en caso de no estar completo se debe regresar al proveedor para su reemplazo.

- Contenido:
- * Un relevador plástico de esfuerzos.
 - * Una férula metálica.
 - * El cuerpo del conector.
 - * Un protector plástico.
 - * Dos aditamentos de sujeción auxiliar.

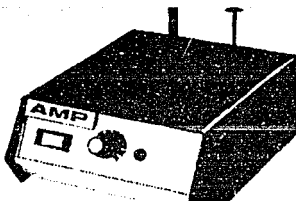


PARTES DEL ENSAMBLE DEL CONECTOR AMP P.N. 501380-1

2) Se debe verificar que se tenga el equipo y el material de aplicación completo:

- * Pinzas para corte de cubierta plástica.
- * Pinzas para retirar la cubierta primaria.
- * Tijeras.
- * Jeringa.
- * Termómetro.
- * Microscopio.
- * Lentes de seguridad.
- * Algodón.
- * Epóxico.
- * Lija de 1 μm .
- * Horno de curado.
- * Guías de curado.
- * Pinzas de aplicación.
- * Cortador de fibra.
- * Guía de pulido.
- * Alcohol isopropílico.
- * Lija de 5 μm .
- * Lija de 0.3 μm .

3) Se pone a calentar el horno de curado hasta alcance a una temperatura de 115°C, para controlar efectivamente la temperatura use el termómetro.



HORNO DE CURADO.

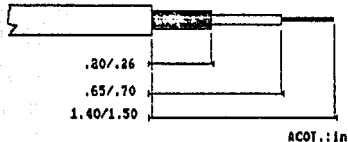
4) Se aconseja cortar un trozo del cable en el extremo a conectar, ello con el fin de evitar usar un segmento dañado de fibra.

5) Abra el paquete que contiene las partes del conector y coloque el liberador de esfuerzos en el cable dejando la sección mas ancha del liberador en el extremo en donde se aplicara el conector.

6) Coloque la férula metálica sobre el cable, dejando la sección abocardada del lado de aplicación del conector.

7) Con ayuda de las pinzas para el corte de la cubierta plástica, descubra una sección de cable equivalente a 35.56 mm (1.4 in.).

PREPARACION DEL CABLE OPTICO PARA LA APLICACION DE CONECTORES OPTIMATE 2.5mm BAYONETA CERAMICOS



PREPARACION DE LA FIBRA.

8) Con ayuda de las tijeras remueva la sección sobrante del miembro de tensión; de manera que tenga una longitud de 6.35mm, (0.25 in.) medidos a partir del extremo de la cubierta plástica.

9) Colóquese los lentes de seguridad.

10) Con ayuda de las pinzas para retirar la cubierta secundaria, esta debe ser retirada de manera tal que solo quede una sección de 16.51mm (0.65 in.) cubierta, se aconseja hacer esto en dos pasos, ya que así se disminuye la tracción que se requiere efectuar sobre la fibra al momento de retirar la cubierta secundaria.

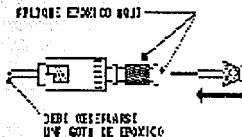
NOTA: LAS PINZAS TIENEN UNA DIRECCION DE ARRASTRE DENTADA POR UNA FLECHA EN LAS PUNTAS DE LAS PINZAS, ESTA DIRECCION DEBERA SEGUIRSE PARA NO DAMAR LA FIBRA.

11) Limpie la fibra con alcohol.

12) Prepare el epóxico, de acuerdo con las instrucciones del fabricante, mezclando tanto la resina como el endurecedor, el compuesto restante debe depositarse en una bolsa para que pueda ser inyectado libremente a la jeringa.

13) Cargue el epóxico a la jeringa.

14) Inyecte el epóxico dentro del conector hasta que salga por el extremo opuesto del conector una pequeña gota.



APLICACION DE EPOXICO EN EL CUERPO DEL CONECTOR.

15) Retire la jeringa, mientras la retira continúe inyectando epóxico, únicamente debe tener cuidado de que al llegar al extremo del conector el epóxico no se derrame.

16) Inserte la sección de cable ya previamente preparada con cuidado dentro del conector, hasta que la fibra se haga visible dentro del extremo opuesto del conector.

NOTA: LA FIBRA DEBE DE ENTRAR LIBREMENTE AL CONECTOR, SI PRESENTE RESISTENCIA SE DEBE SACAR LA FIBRA Y REINTENTAR SU INGRESO AL CONECTOR.

17) Aplique epóxico en el área moleteada del conector y coloque las fibras de aramida sobre esta zona.

18) Deslice la férula metálica sobre el conector hasta que cubra la sección moleteada del cuerpo del conector.

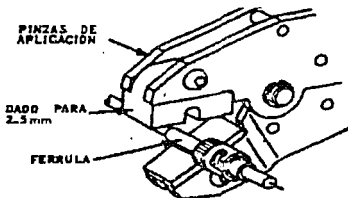
19) Coloque en el conector la guía de curado.

20) El siguiente paso es asegurar la férula sobre el conector ello se hace presionando la férula contra la base moleteada, para ello se deben usar las pinzas de aplicación, estas pinzas tienen un seguro de crimpado, por lo tanto no será posible liberar el conector hasta que haya sido aplicada la presión correcta sobre la férula y el conector.

NOTA: LAS PINZAS TIENEN UNA DIRECCION DE APLICACION, MISMA QUE DEBERA SER OBSERVADA CON DETENIMIENTO A LA HORA DE COLOCAR EL CONECTOR SOBRE LAS PINZAS, YA QUE DE OTRA MANERA, EL CONECTOR SERA DAÑADO.

21) Aplique epóxico sobre la férula, no en exceso.

22) Deslice el relevador de esfuerzos hasta que cubra la férula metálica.



APLICACION DE LA FERRULA SOBRE EL CONECTOR.

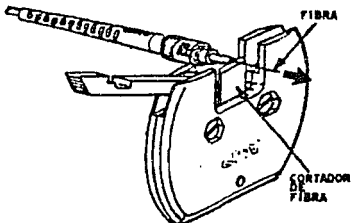
23) Coloque el conector dentro del horno de curado por un periodo de 15 min. asegúrese de que la temperatura se mantiene en 115°C.

24) Retire el conector del horno y permita que este se enfríe libremente a la temperatura ambiente.

25) Retire la guía de curado con cuidado para no trozar la fibra que sale del conector.

NOTA: UNA VEZ RETIRADA LA GUIA, LA FIBRA OPTICA DEBERA SER VISIBLE, DE LO CONTRARIO, EL PROCESO DE CONEXIONADO NO FUE APLICADO CORRECTAMENTE, Y SE TENDRA QUE REPETIR TODO EL PROCESO, RETIRANDO PREVIAMENTE EL CONECTOR MAL APLICADO.

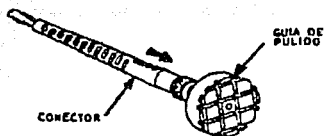
26) Con el cortador de fibra, realice un ligero corte en la fibra, al ras del conector. es importante notar que en este paso no se debe de cortar la fibra en su totalidad, sino unicamente marcarla.



PROCESO DE CORTE DE LA FIBRA ECEDENTE.

27) Retire la fibra excedente con los dedos. Únicamente ejerciendo una fuerza perpendicular al conector, una vez retirada la fibra esta deberá colocarse en un lugar en donde no se pierda, se sugiere adherirla a un trozo de cinta adhesiva.

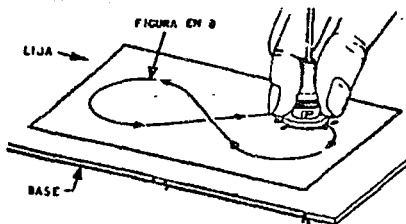
28) Inserte la guía de pulido sobre el conector.



PROCESO DE INSERCIÓN DE LA GUIA DE PULIDO SOBRE EL CONECTOR.

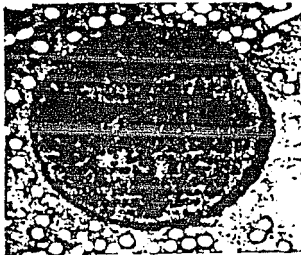
29) Verifique que las lijas se encuentren limpias y libres de objetos extraños, en caso que así lo requiera limpie las lijas con un chorro de agua.

30) Con la lija de 5 μm pule el conector, hasta que el color del epóxico sea claro. Use agua en el proceso de pulido, pero no en exceso; la acción de pulido deberá llevarse a cabo haciendo figuras de "8" sobre una superficie semirrigida, limpia y libre de imperfecciones en su superficie.



PROCESO DE PULIDO DEL CONECTOR.

31) Use la lija de un nastro que al observar la superficie del conector al microscopio no se vean imperfecciones. Al igual que en el proceso anterior es importante usar agua en el proceso de pulido, hacerlo mediante figuras de "8", y que la superficie de la lija no tenga imperfecciones, objetos extraños u alguna otra cosa que pudiera rayar la superficie del conector. Finalmente la accion de pulido debera llevarse a cabo sin ejercer una presion excesiva sobre el conector.



PULIDO DEL CONECTOR.

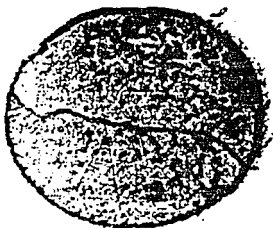


LIMITE DE ACEPTABILIDAD EN EL PULIDO DEL CONECTOR.

32) Si se desea lograr un nivel interior de perdidas, debera emplear la fibra de 0.3um en un proceso extra de pulido, cuidando todos los aspectos mencionados en el inciso anterior.

NOTA: ES IMPORTANTE QUE AL TERMINAR DE PULIR UN CONECTOR LAS LIJAS SEAN LIMPIADAS CON UN CHORRO DE AGUA, Y DEJARLAS QUE ESCURRAN LIBREMENTE, HASTA QUE SE HAYA ELIMINADO EL EXCESO DE AGUA, ELLO CON EL FIN DE ELIMINAR CUALQUIER OBJETO EXTRAÑO, QUE PUDIERA DAÑAR LA SUPERFICIE DEL PROXIMO CONECTOR A PULIR.

POR OTRO LADO EN CASO DE QUE LAS LIJAS SUFRIERAN ALGUN DAÑO, ESA SECCION NO DEBERA USARSE, PUES PODRIA DAÑAR LA SUPERFICIE DEL CONECTOR.



PULIDO Y/O SUPERFICIE OPTICA DAMADA DEL CONECTOR.

33) Limpie la superficie de contacto con alcohol, en caso de que la superficie del conector no mejore con la acción de pulido, el proceso de aplicación deberá repetirse nuevamente. Se puede tomar como una base las fotografías mostradas para tener un criterio de selección: Considere el pulido apropiado como el mostrado en la figura superior de la página anterior: El límite de aceptabilidad está denotado por la figura inferior de la página anterior: Una superficie inaceptable es como la mostrada en la figura de esta hoja.

34) Limpie el equipo de aplicación incluyendo las lijas, antes de comenzar el proceso nuevamente. Por otro lado, es conveniente hacer notar que es posible aplicar más de un conector a la vez, de manera que se aproveche al máximo el epóxico preparado y el calor del horno de curado.

35) Coloque los protectores plásticos sobre la férula cerámica del conector, y este está listo para trabajar.

4.0 Equipo de prueba diagnóstico y equipo alterno:

Hasta ahora se ha comentado todos los detalles para la puesta en operación del sistema, sin embargo es necesario verificar que el enlace está operando adecuadamente, para lo cual se usan dispositivos y equipos de prueba especiales:

4.1 Comprobación de la fibra óptica:

Estas son pruebas que se le hacen a la fibra óptica por el fabricante tanto de la fibra como del cable, sin embargo debido a su naturaleza se requieren de equipos especializados, por lo que no habrá la posibilidad de efectuarlas en la facultad y solo se mencionan a manera de especificación.

Las pruebas que se efectúan sobre la fibra óptica son:

- 1) Verificación del diámetro del núcleo.
- 2) Verificación del diámetro del revestimiento.

- 3) Verificación de los índices de refracción tanto del núcleo como del revestimiento.
- 4) Verificación de la concentricidad y ovalamiento.
- 5) Verificación de la apertura numérica.
- 6) Verificación de la atenuación.
- 7) Prueba de tensión.
- 8) Atenuación por envejecimiento por temperatura.
- 9) Ciclado de temperatura/humedad.

Las pruebas que se realizan sobre el cable de fibra óptica por el fabricante deberán de ser por lo menos en:

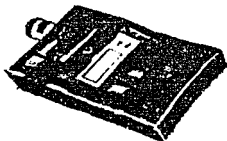
- 1) Atenuación
- 2) Prueba de impacto.
- 3) Prueba de compresión.
- 4) Prueba de torsión.
- 5) Prueba de flexión.
- 6) Prueba de tensión a ruptura.
- 7) Prueba de ciclado térmico.

El cable de fibra óptica que se adquiera deberá venir con las especificaciones concernientes a las características de operación como son el tipo de fibra de que se trata, los diámetros tanto del núcleo como del revestimiento, la apertura numérica, su atenuación, y si es posible la carga máxima permisible, y el radio mínimo de curvatura.

Las demás pruebas se realizan pero generalmente no se reportan, ello es con la finalidad de asegurar la calidad tanto de la fibra óptica como del cable de fibra óptica.

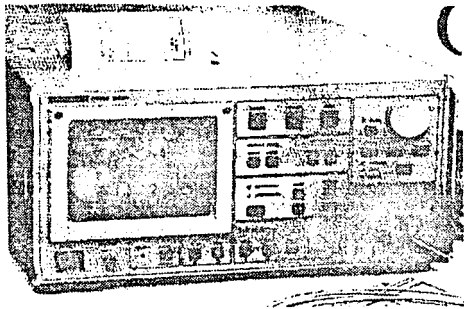
Cabe hacer mención aquí que existen una gran variedad de cables de fibra, ello de acuerdo al tipo de instalación que las contendrá, y de acuerdo al tipo de fibra que se trate pueden incrementarse, eliminarse o cambiar las especificaciones de las pruebas a petición del cliente, por otro lado, si el cliente así lo desea y se justifica económicamente por la envergadura del proyecto se pueden solicitar otro tipo de pruebas.

4.2 Equipo de medición: En esta sección mencionaré al equipo de medición que se usa para evaluar las pérdidas a través de la fibra, ellos son el par fuente-detector cuya función es exclusivamente detectar las pérdidas en el enlace que se este midiendo.



PAR FUENTE DETECTOR.

El reflectómetro mas bien conocido como OTDR (optical time domain reflectometer), este aparato además de medir las pérdidas del enlace establece gráficamente la longitud del enlace, las pérdidas del enlace y el esquema de pérdidas a través del enlace, de manera que se puede identificar en que parte se tiene alguna pérdida que requiere de verificación, se pueden comprobar las pérdidas de empalmes, conectores, o algun otro dispositivo, definitivamente una de las ventajas de este equipo es que no requiere un canal de retorno para la señal que esta enviando, ya que su filosofía de funcionamiento se basa en cuantificar la señal luminosa que se regresa por el canal al encontrar alguna falla o característica que así lo genere. como es de imaginarse este equipo es costoso.



OTDR (REFLECTOMETRO OPTICO EN EL DOMINIO DEL TIEMPO).

Lo mejor para cuantificar los niveles de pérdida en un enlace sería usar el OTDR, sin embargo y debido a su alto costo, en algunos casos únicamente se evalúan las pérdidas mediante un par fuentes-detector.

En cuanto a nuestro caso se refiere, se requería realizar la medición de atenuación en los conectores, para verificar que todos tuvieran pérdidas aceptables y que el cable de fibra óptica no hubiera sufrido daño alguno, idealmente esta medición debe realizarse antes y después de instalar el cable, sin embargo debido a que no contamos con equipo para realizar dicha medición, únicamente tuvimos la oportunidad de realizarla después de haber aplicado los conectores. El método que se uso para efectuar dicha medición fue el de PERDIDAS POR INSERCIÓN que básicamente consiste en medir la atenuación en un segmento de cable de referencia (Comunmente llamado jumper de prueba), acoplarlo al cable en donde se desea realizar la medición, una vez que los dos segmentos de cable se han unido, se realiza otra vez la medición, anotando este valor. la atenuación por inserción del conector se obtiene realizando la diferencia de la segunda medición contra la primera.

Este método se basa en el principio de considerar despreciable la atenuación por longitud en el segmento a medir.

Los valores obtenidos como resultado de esta medición fueron: 0.3, 0.4, 0.4, 0.5, 0.6, 0.6, 0.6, 0.8, 0.8, 0.8, 1.2 & 1.4 [db]. Valor promedio igual a 0.7 [db], si consideramos que el valor máximo permitido de atenuación para un conector de este tipo es de 1.5 [db], podemos considerar que obtuvimos un buen conexionado.

Una vez que se haya concluido la instalación del enlace, la única medición que se podrá realizar será la de verificación de continuidad, y se lleva a cabo poniendo una fuente de luz en un extremo y verificando su salida por el otro.

El funcionamiento final del enlace tendrá que ser verificado a través de el envío de señales eléctricas debidamente adecuadas, mediante los canales de transmisión.

5.0 Memoria Técnica:

A través de este trabajo he hablado sobre el funcionamiento de los dispositivos ópticos y del cable, así como de su justificación y planeación, sin embargo, comercialmente hablando la mayoría de estos datos no se dan a conocer, sino que se menciona una ficha técnica llamada MEMORIA TÉCNICA, esta memoria contiene todos los detalles técnicos necesarios del enlace, es decir, indica desde el croquis general del proyecto, hasta los protocolos de recepción del enlace, si es llave en mano. Además contiene la información necesaria para mantenimiento correctivo, y en su caso para una expansión futura, en otras palabras es el documento oficial comercial del enlace.

Como es de comprenderse en algunas ocasiones la instalación planeada no se lleva acabo como se había concebido en planos desde un principio, ello se debe a imponderables que se encuentran a la hora de la instalación, tales excepciones a los planos también son asentados en la memoria técnica, estos cambios deberán hacerse previo conocimiento del cliente, ya que pudieran afectar los derechos de un tercero.

A su vez, como ya se había expresado anteriormente, este trabajo no es llave en mano, y por lo tanto no incluye los protocolos de transmisión para el enlace de las máquinas, sino que únicamente el cálculo de la instalación y la instalación de la fibra óptica, razón por la cual no serán incluidos los protocolos de recepción del enlace.

MEMORIA TECNICA.

INSTALACIÓN DE UN ENLACE PARA TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN POR MEDIO DE FIBRA ÓPTICA ENTRE DOS LABORATORIOS DE ELECTRONICA DE LA F.E.S.C.

OBJETIVO: Dotar a la F.E.S.C. con un sistema de transmisión de información usando fibra óptica como medio.

ALCANCE: Diseño, instalación y puesta en operación de un sistema de transmisión de información entre dos puntos usando la fibra óptica; este trabajo no incluye el diseño, programación y/o puesta en operación de los protocolos necesarios para la comunicación entre las computadoras, dado que ello dependerá de el programa que se pretenda instalar para este fin, y del uso que se le de en cada momento al enlace. El diseño del enlace es modular, de manera tal, que cuando las circunstancias así lo requieran, existe la posibilidad de crecimiento, mantenimiento correctivo, etc, sin necesidad de cambiar toda la instalación sino, solo aquellos elementos que así lo requieran.

DESCRIPCIÓN DEL ENLACE: Enlace realizado mediante fibra óptica de las siguientes características:

- * Cable óptico multimodo dúplex sin elementos híbridos.
- * Para uso ligero con recubrimiento externo de PVC negro para interiores.
- * Retardante a la flama, estilo UL 1666 (OFNR)
- * Protección moderada contra radiaciones ultravioleta, no tiene relleno, armadura, protección a las radiaciones nucleares, ni al ataque de agentes químicos.
- * Resistencia al impacto de 550 n/cm².
- * Cada sección longitudinal de cable óptico cuenta con dos fibras ópticas:
 - * Multimodo.
 - * Diámetro de núcleo y revestimiento 62.5/125[μm]
 - * Longitud de onda 160 Mhz-km a 850nm o 500 Mhz-km a 1300nm.
 - * Atenuación 4 db/km a 850nm o 2.5 db/km a 1300nm.
 - * Apertura numérica 0.275.
 - * Dimensiones externas 3.0x6.1 mm.

LINEAMIENTOS OPERACIONALES DEL SISTEMA:

- * Uso transmisión de señales entre computadoras.
- * Mediante señales digitales, código de operación NRZ (sin retorno a cero).
- * Velocidad máxima de operación 19.2 kbps.
- * Bit error rate 1x10E-9.
- * Longitud de onda 850nm.
- * Lógica tipo TTL.
- * Equipo terminal con conector RS-232 de montaje libre sobre puertos.
- * Alimentación eléctrica: directa de los puertos de las computadoras.

Equipo empleado: interfaz óptica (transmisor-receptor) Canoga Perkinings modelo 2132.

Emisor de tipo diodo y el detector fotodiodo pin.

DISTRIBUCION DEL SISTEMA:

* Enlace localizado en ambas plantas del edificio de laboratorios L-9 de la Facultad de Ingeniería en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan, campo 4.

* Ruta de tendido del cable: una punta terminal esta localizada en el laboratorio de micros, en el cubiculo donde esta instalado el gráficator. el cable se conduce al plafón del edificio por la parte interna de la canceleria de aluminio, de donde sale para colocarse en la parte superior del laboratorio, el cable rodea el laboratorio por la sección de cubículos, terminando esta es trasladado en forma paralela a los tubos de conducción de energía eléctrica, es así que atraviesa los laboratorios de control analógico, hasta llegar al cubiculo de distribución eléctrica, donde fue instalado una caja de interconexión, el cable sale del cubiculo conducido nuevamente por la parte externa de la tubería de conducción eléctrica, debido a que la tubería cambia de dirección terminando los cubículos de profesores de los laboratorios de la sección eléctrica, se traslada la fibra a la pared para continuar en la misma dirección, es así que se llega al segundo cubiculo de distribución eléctrica, la fibra se traslada al primer piso, en la caja de distribución eléctrica del primer piso se coloca una caja de interconexión, la fibra sale del cubiculo en la misma dirección de tendido sujeta a la pared, hasta llegar al taller de micros, de donde es direccionada aproximadamente dos metros para que después decienda.

NOTAS: Se planteaba en un principio que el cable fuese colocado en las secciones horizontales a través de una tubería conduit, a la hora de realizar la instalación dicha tubería no se encontraba instalada, por lo que no fue posible canalizar la fibra por dicha tubería, la fibra fue colocada en su mayoría a 2.00 metros sobre el nivel del piso, para evitar daños no intencionales, sin embargo para evitar que esta pueda ser dañada intencionalmente se recomienda instalar guías plásticas de conducción eléctrica sobre la pared, estas guías pueden ser adquiridas autoadheribles, por lo que no sería necesario perforar la pared para colocarlas, el cable de fibra fue colocado con holgura suficiente para permitir que llegado el momento pueda ser trasladado de los tubos a la pared y ser cubierto por las guías de conducción eléctrica.

Por otro lado no fue posible canalizar el cable de fibra óptica por los tubos de conducción eléctrica existentes ya que estos tenían tramos con direcciones y longitudes definidas que no correspondían a la trayectoria de nuestro trabajo. El cable fue sujeto a las paredes a través de sujetadores plásticos fijos a la pared por medio de taquetes, donde se usaron tubos para ayuda a la canalización se usaron cinturones plásticos para la fijación.

* La longitud del enlace es de 75 mts colocados de la siguiente manera, 30 mts. del laboratorio de micros en la planta baja a la caja de distribución eléctrica en la misma planta baja, 30 mts. de la caja de distribución eléctrica de la planta baja a la caja de distribución eléctrica en la planta alta, y 10 mts. de la caja de distribución eléctrica en la planta alta al taller de micros.

* En los puntos de unión fueron colocadas cajas de interconexión para protección de los conectores pese a que la trayectoria del cable de fibra óptica es en algunos momentos paralela a los tubos de conducción eléctrica ambas instalaciones son inmunes una de la otra.

PRESUPUESTO DE POTENCIA:

Fibra (um)	62.5/125
Presupuesto de potencia[db]	12
(Pot. del emisor-Pot. min. req. receptor)	
Pérdidas totales por longitud de fibra [db]	0.3
Pérdidas totales por inserción de conector [db]	2.4
Pérdidas totales por inserción de empalmes [db]	0
Pérdidas por diferencias en diámetros en la F.O.[db]	0
Pérdidas por diferencias en A.N. En la F.O.[db]	0
Pérdidas totales [db]	2.7
Margen de potencia [db]	9.3

PRESUPUESTO DE ANCHO DE BANDA:

Velocidad de transmisión requerida [Kbps]	19.2
Velocidad disponible en la interfaz [Kbps]	56.0
Ancho de banda disponible en el cable [Kbps]	2'133,333.3
Ancho de banda disponible en accesorios ópticos [Kbps]	0
Velocidad de operación del sistema [Kbps]	51.3
Reserva [kbps]	32.1

REVISION GENERAL DEL SISTEMA:

Consideraciones	Operación
Velocidad de transmisión del sistema[Kbps]	19.2
Bit Error Rate	1x10E-9
Código digital de operación	NRZ.
Receptor tipo:	PIN
Emisor tipo:	DIODO
Ventana de operación [nm]	850
Fibra óptica (um)	62.5/125
Ancho de Banda [MHz-Km]	160
Atenuación en la ventana de operación [db/km]	4
Longitud del enlace [mts./dirección]	75
Número de empalmes	0
Número de conectores (por dirección)	6
Número de conexiones (por dirección)	4
Atenuación total por inserción de conector [db]	2.4
Pérdidas totales del sistema [db]	2.7
Margen de potencia [db]	9.3

COSTO DEL SISTEMA:

QTY.	DESCRIPCION.	PRECIO (U. S. C. Y.)	
		UNITARIO	TOTAL
12	Conectores	9.10	109.20
6	Interconectores	5.42	27.08
2	Interfaces ópticas	232.00	464.00
75	Metros de cable óptico	2.21	165.67
2	Cajas metálicas de interconexión	8.55	17.10
1	Caja plástica	10.00	10.00
	Etiquetas de aviso	10.00	10.00
	Costos de instalación	33.00	33.00
	Costos de evaluación	60.00	60.00
	TOTAL		896.25

SECCION CUARTA**CONCLUSIONES.**

A través de este trabajo se han estudiado los elementos mínimos necesarios para poder construir un sistema de transmisión por fibra óptica, los cuales han sido tratados de una manera sencilla e ilustrativa, observando desde su construcción hasta los parámetros de funcionamiento, a su vez se vió como es que estos parámetros de cada uno de los elementos interaccionan entre sí para conformar un sistema que opera bajo la influencia de las características de sus conformantes.

Las particularidades de los dispositivos analizados fueron proporcionadas por las compañías que se consultaron para tal efecto, de manera que fue posible observar y analizar la información que nos es proporcionada a nivel comercial para el diseño de los sistemas de transmisión a través de fibra óptica, de esta manera al tener varias fuentes de información se pudo confrontarlas y seleccionar aquella que mejor supliera nuestras necesidades y nos brindara la mejor relación costo beneficio.

Cabe mencionar que debido a que para el desarrollo de este trabajo se usaron elementos comerciales y el enlace se construyó de manera modular, se está en posibilidad de crecer tanto en tamaño como en capacidad en la medida que se requiera.

Por otro lado, en vista de que la reforma educativa en nuestra Universidad es prácticamente un hecho, y debido a que los nuevos planes de estudio para Ingeniería contemplan ya a la fibra óptica como medio de transmisión, este enlace y la información contenida en este trabajo vienen a soportar de manera definitiva estos nuevos planes de estudio, ya que por vez primera en este plantel se tendrán instalados los soportes didácticos aun antes de comenzar la promoción de las materias que así lo requieran.

De igual manera es importante mencionar que con la instalación de este enlace nuestro plantel ahora cuenta con los recursos necesarios para preparar a los futuros profesionistas el área, de manera tal, que puedan afrontar lo retos a nivel comunicación que nuestro país como nación en desarrollo tiene de una manera decisiva y certera.

Es importante mencionar que por primera ocasión en La Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan se cuenta con un enlace de fibra óptica para transmisión de información. El uso que se le da a este enlace y como consecuencia su aprovechamiento final dependerá de la decisión y el empeño no solo del personal académico involucrado, sino de toda la comunidad universitaria.

La ficha técnica planteada en este trabajo proporciona toda la información necesaria para un mantenimiento correctivo y en su caso una futura expansión, un resumen, de esta ficha técnica ha sido colocado en cada una de las cajas de interconexión de manera que se tengan todos los datos indispensables concentrados en el lugar del enlace.

Al momento de finalizar este trabajo, aún no se contaba con los transductores ópticos, ello debido al tiempo que la proveduría de la Universidad se toma para su adquisición, sin embargo, debido a que todos los cálculos y las mediciones indicadas se han efectuado, lo único que restará por hacer cuando estos dispositivos se encuentren disponibles es el colocarlos al puerto serial por el lado de la computadora, y por el otro lado a las secciones de la fibra en los puntos terminales. Una aclaración que es pertinente hacer en este momento se refiere a que si bien el sistema fue calculado para operar con ciertos dispositivos, ello no lo exime de que pueda operar con otros elementos, siempre y cuando los parámetros de operación y conexión sean ajustables y compatibles con los del cable de fibra óptica instalado (Consulte la ficha técnica), expresado lo anterior podemos decir que el sistema una vez instalado y verificado está en disposición de poderse considerar como operable, aunque para efectuar la transmisión de datos entre computadoras será necesario esperar hasta que se dispongan de los transductores ópticos.

Un comentario más que es conveniente hacer al respecto es el hecho de que si bien la fibra se ha colocado a un nivel en donde no es posible que sufra daño en forma inadvertida, se hace necesario por protección el instalar guías de conducción plástica, de manera que el cable tenga una protección adicional.

Finalmente me gustaría mencionar que México es un país que tiene recursos que lo convierten en una nación candidata a un próspero desarrollo, sin embargo ese es un trabajo responsabilidad de todos y cada uno de nosotros, en la medida de que contribuyamos lograremos hacer de México una nación fuerte; El enlace que se ha concluido queda a disposición de la comunidad Universitaria para contribuir a su desenvolvimiento como individuos, mi deseo es que sea empleado con responsabilidad pues se han invertido una gran cantidad de recursos tanto económicos como humanos para llegar a su conclusión. Si para el lector este trabajo y/o usuario del enlace han sido de utilidad, las personas, las instituciones que colaboraron en éste, a quienes por cierto doy las gracias, y el sustentante habremos rebasado los objetivos de éste y podremos sentirnos más que complacidos con el trabajo realizado, aunque ello no significa que detendremos esfuerzos para lograr de México una nación próspera.

SECCION QUINTA.**BIBLIOGRAFIA.**

Technician's guide to fiber optics.

Sterling, Donald.
Delmar publishers Inc.
U.S.A., 1987.

Designers guide to fiber optics.

AMP Inc.
U.S.A., 1982.

Fiber optics communications.

Killen, Harold.
Prentice Hall.
U.S.A., 1991.

Fiber optics systems.

Edwards, Terry.
John Wiley & Sons.
U.S.A., 1989.

Fiber Optics Interconnection guide.

AMP Inc.
U.S.A., 1989.

Power Budgeting in multimode optical systems.

Kever, James.
AMP Inc.
U.S.A., 1988.

Fibre-Optical communications.

Lilja, Lennart.
Ericsson.
Suiza, 1981.

Fiber optic interconnection system.

AMP Inc.
U.S.A., 1989.

Build your own universal computer interface.

Chubb, Bruce.
Tab book Inc.
U.S.A., 1989.

Apuntes de fibras ópticas.

Olivarez V, Jorge.
Latincasa, S.A. de C.V.
México, 1990.

Fibras ópticas.

Centro de óptica ITESM. Campus Monterrey.
Mexico, 1990.

Introducción al sistema de cableado Ericsson/Latincasa.

Latincasa, S.A. de C.V.
Mexico, 1990.

Installing Fiber optic cable in buildings.
AMP Inc.
U.S.A., 1989.

Why fiber optics?
AMP Holland BV.
Holland, 1989.

Wire & cable engineering guide.
Low, Ernest.
Brand-Rex Corp.
U.S.A., 1989.

Designers guide to EMI control.
Dowling, Edward & Sterling, Donald.
AMP Inc.
U.S.A., 1985.

Fiberoptic product news.
Gordon Publication.
November, 1990. Volume 5, Number 12.
U.S.A.

Fiberoptic product news.
Gordon Publication.
December, 1990. Volume 5, Number 13.
U.S.A.

Fiberoptic product news.
Gordon Publication.
March, 1991. Volume 6, Number 3.
U.S.A.

Fiberoptic product news.
Gordon Publication.
May, 1991. Volume 6, Number 5.
U.S.A.

Fiberoptic product news.
Gordon Publication.
June, 1991. Volume 6, Number 6.
U.S.A.

Fiberoptic product news.
Gordon Publication.
July, 1991. Volume 6, Number 7.
U.S.A.

Fiberoptic product news.
Gordon Publication.
September, 1991. Volume 6, Number 9.
U.S.A.