

56
2 es.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

AVANCES SOBRE FIBRA OPTICA Y DESARROLLO DE UNA BASE DE DATOS PARA DGSCA SOBRE LA RED DE FIBRA OPTICA DE CIUDAD UNIVERSITARIA

T E S I S

QUE PARA OTORGAR EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
AREA ELECTRICA ELECTRONICA

P R E S E N T A:

ROSANA ELIZALDE DI MARTINO

Director de Tesis: Ing. Miguel Angel Cruz León



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Ciudad Universitaria

1998

258494



Universidad Nacional
Autónoma de México

UNAM



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.



Avances sobre fibra òptica. Desarrollo de una base de datos para

DGSCA sobre la Red de Fibra Optica de Ciudad Universitaria

Ingeniería Mecánica Electricista
área Eléctrica- Electrónica

ROSANA ELIZALDE DI MARTINO

INDICE

	Página
Introducción	I
Capítulo I: Sistemas de comunicaciones por fibras ópticas	
1.1 Características de un sistema de comunicaciones por fibra óptica	2
1.2 Conceptos básicos	4
1.3 Tipos de fibra óptica	9
1.4 Atenuación	12
1.5 Aplicaciones	16
1.6 Clasificación de los sistemas	17
Capítulo II: Telecomunicaciones con fibra óptica	
2.1 Telecomunicaciones con señales digitales síncronas	21
2.2 Fuentes ópticas y detectores ópticos	25
2.3 Receptores ópticos	28
Capítulo III: Tipos de empalmes y conectores para fibra óptica	
3.1 Empalmes	35
3.2 Métodos de empalmes	38
3.3 Conectores	43

Capítulo IV: Diseño de un sistema de comunicaciones por fibra óptica

4.1	Requerimientos de un sistema	50
4.2	Análisis del nivel de potencia y pérdidas	55
4.3	Especificaciones del transmisor y receptor	56
4.4	Selección de la fibra óptica	58
4.5	Análisis del ancho de banda	59
4.6	Aplicaciones de la fibra óptica en diferentes tipos de sistemas de transmisión	60
	a) Red de Area Local (LAN)	61
	b) Interfaz de Datos Distribuidos por Fibra óptica (FDDI)	65
	c) Red Digital de Servicios Integrados (RDSI)	67

Capítulo V: Desarrollo de una base de datos para DGSCA sobre la Red de Fibra Optica de C.U.

5.1	Objetivo de la base de datos	70
5.2	Conceptos básicos	71
5.3	¿Por qué Access 7 para Windows 95 ?	72
5.4	Parámetros de diseño	75

Conclusiones	80
--------------	----

Bibliografía	85
--------------	----

Las telecomunicaciones se pueden definir como la transmisión o recepción de señales, sonidos o imágenes a distancia por medio de conductores eléctricos, ondas luminosas o hertzianas, o por cualquier otro procedimiento y según los tipos de información transmitida se clasifican en telegrafía, telefonía, radiodifusión y televisión. Los sistemas de telecomunicaciones son mecanismos y técnicas usadas para la transmisión de información a grandes distancias vía cable, radio o satélite. Una amplia variedad de información es transferida por estos sistemas, incluyendo sonido, imágenes visuales, datos procesados por computadora y señales de telégrafo.

Este trabajo se enfoca a la comunicación que emplea la luz como medio de transporte de la información, especialmente la que utiliza la fibra óptica como medio de transmisión.

Los comienzos de la comunicación óptica se remontan al hombre primitivo que se comunicaba por medio de señales manuales y de fuego. En 1084 A.C. para anunciar la caída de Troya se usaron señales de fuego. Un hombre importante fue Snell que en Holanda en 1626 estableció la ley con su mismo nombre, la cual es uno de los fundamentos de la óptica moderna. Maxwell, en 1791, revela que existen las ondas electromagnéticas y varios años más tarde en Alemania, Hertz reafirma esta existencia y la unicidad con la luz. En 1870 Tyndall demostró que la luz podía ser guiada a través de un chorro de agua.

Un hecho muy importante fue introducido en 1880 por Alexander G. Bell quien desarrolló el fotófono (Figura 1), el cual funcionaba como un teléfono óptico; este instrumento demostraba la posibilidad de comunicación por medio de ondas luminosas, pero no fue posible ir más allá debido a la falta de una fuente luminosa adecuada y un medio de propagación que fuera estable.

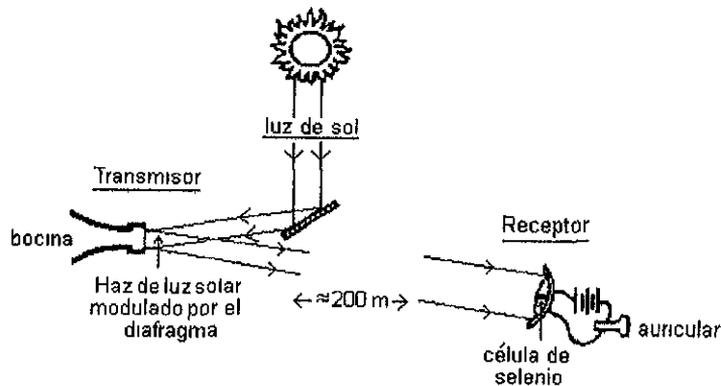


Figura # 1 Fotófono de Alexander Graham Bell.

“La fuente de luz empleada era el sol, con la ayuda de un espejo montado sobre un diafragma, se realizaba la modulación directamente con la voz humana. Posteriormente la señal modulada era guiada por medio de espejos hasta el detector que se encontraba a 200 m”.¹

No fue sino hasta 1960 con la aparición del láser como fuente de luz coherente y monocromática, que la idea de enviar información a través de la luz de un punto a otro recobró importancia, por lo que se probaron diferentes medios de propagación como lentes, espejos, gas, etc. Al probar con las fibras de vidrio, que parecía ser un medio de transmisión prometedor, se toparon con la dificultad de que se perdían varios miles de decibeles por kilómetro pero en 1966 Kao y Hockman del Reino Unido, publicaron que las pérdidas se debían a las impurezas que se introducían en el proceso de fabricación de la fibra óptica; en este mismo artículo publican resultados de bajos valores de atenuación en sílica fusionada.

Esto revolucionó los trabajos de investigación provocando que los esfuerzos fueran mayores y en 1968 se obtuvo la primera fibra de tipo comercial que presentó Uchida de la Nippon Sheet Glass. Dos años después en EE.UU., la Corning Glass Company fabricó una fibra de silicio dopado con atenuación menor a 20 dB/km. Estos hechos llevaron a la posibilidad de construir sistemas de

¹ Ing. F. Navarrete Montes de Oca, “V Concurso Internacional de Capacitación en Ingeniería de Transmisión Digital : Fibra Óptica”, JICA, México 1993, pps 4

comunicación que trabajaran en longitudes de onda ubicadas en el infrarrojo cercano, es decir de 0.8 a 1.6 μm .

Tabla # 1 Progresos alcanzados en la fibra óptica.

1970	<ul style="list-style-type: none"> • Primer láser de inyección compuesto con semiconductores AlGaAs.
1971 C.A. Burros	<ul style="list-style-type: none"> • Fuente incoherente tipo LED.
1972 Australia: Ogilvie y Esdaile	<ul style="list-style-type: none"> • Fibra con núcleo líquido . • Atenuación: 8 dB/km.
1973 Corning Glass Company	<ul style="list-style-type: none"> • Fibra de óxido de silicio. • Atenuación: 4 dB/km. • Método: Deposición externa de vapor. • Longitud de onda : 0.8 - 0.85 μm (1a ventana).
1974	<ul style="list-style-type: none"> • Atenuación: 4 dB/km. • Método: Deposición química de vapor modificada. • Longitud de onda: 0.8 - 0.85 μm.
1976 Japón	<ul style="list-style-type: none"> • Fibras de óxido de silicio. • Atenuación: 0.5 dB/km. • Longitud de onda: 1.3 y 1.5 μm. • Demostración de empalmes por fusión de arco eléctrico. • Desarrollo del diodo láser hecho de InGaAsP/InP (fósforo arseniuro de galio e indio sobre un sustrato de fósforo e indio).
1977 Chicago, EE.UU.	<ul style="list-style-type: none"> • Primer sistema comercial de fibra óptica.

Las comunicaciones vía fibra óptica comenzaron a emplearse en forma a partir de 1977, donde se desarrollaron técnicas que permitían conducir

información a través de fibras de vidrio finas y muy claras. Esto se logró en complemento con el láser y el diodo emisor de luz (LED) con lo que se podía transmitir grandes cantidades de información, a velocidades inusitadas y con amplia cobertura, mediante ondas luminosas modulándolas como se modulaban las corrientes eléctricas. Es decir, se trata de una onda electromagnética de la misma naturaleza que las ondas de radio, con la única diferencia que la longitud de onda es del orden de micrómetros en lugar de metros o centímetros.

Una fibra óptica esta formada por un núcleo cilíndrico, que generalmente esta hecho de vidrio o plástico, cubierto por el mismo material pero con diferentes características ópticas, lo que impide que se pierda la luz. Se fabrican a altas temperaturas y a base de silicio, se parte de un tubo de vidrio y mediante estiramiento se llega a tener la fibra en diámetros de 10 a 150 milésimas de milímetro, su grosor es similar al de un cabello humano, este diámetro pequeño permite su flexibilidad.

Entre sus características podemos mencionar que las fibras ópticas son compactas, ligeras y con mayor ancho de banda en comparación con el cable coaxial, con bajas pérdidas de señal, alta confiabilidad en transmisiones punto a punto debido a su absoluta inmunidad a la interferencia electromagnética de las radiofrecuencias, y amplia capacidad de transmisión. Con un cable de seis hilos de vidrio de alta pureza extremadamente compactos, se puede transportar la señal de mas de cinco mil canales o líneas principales, mientras que se requiere de 10,000 pares de cable de cobre convencional para brindar servicio a ese mismo número de usuarios, lo que nos provocaría un alto costo debido a que el cable de cobre ocupa gran espacio en los ductos y requiere de grandes volúmenes de material.

La aplicación de las fibras ópticas va desde un uso meramente decorativo (lámparas con manojo de fibras), hasta las técnicas más avanzadas en las

comunicaciones, pasando por la medicina, la telefonía, automatización industrial, computación, sistemas de televisión por cable y transmisión de información de imágenes astronómicas de alta resolución entre otras.

En poco mas de una década, la fibra óptica se ha convertido en una de las tecnologías mas avanzadas utilizadas como medio de transmisión; revolucionó todos los procesos de telecomunicaciones, desde lograr una mayor velocidad y disminuir prácticamente en su totalidad los ruidos y las interferencias, hasta multiplicar las formas de transmisión de información y recepción por vía telefónica.

Las fibras ópticas pueden emplearse en condiciones de alta tensión ya que no conducen señales eléctricas; son capaces de admitir altas diferencias de potencial careciendo de un circuito adicional de protección, sin provocar problemas de cortos circuitos. Debido a su gran ancho de banda pueden ser utilizadas para incrementar la capacidad de transmisión, reduciéndose así el costo del canal en comparación con el cable de cobre que tiene mayor volumen.

Una gran ventaja que presentan los sistemas de transmisión por fibras ópticas es que, debido a su poca atenuación (decremento o reducción de la onda o frecuencia), podemos instalar tramos de hasta 70 km sin necesidad de un repetidor para regenerar la señal transmitida, lo que hace al sistema y al material, ser económico y de fácil mantenimiento. Básicamente podemos decir que un sistema de transmisión por fibra óptica consiste de un transmisor que transforma las ondas electromagnéticas en energía óptica o luminosa; una vez transmitida la señal por la fibra encontramos, en el otro extremo, un detector óptico o receptor que se encarga de transformar la señal luminosa en energía electromagnética, parecida a la original. Podemos decir que la fibra funciona como medio de transporte de la señal luminosa que se genera por un LED o un láser.

Se pueden clasificar los sistemas de comunicaciones dependiendo, por ejemplo, de la forma en que se envía un mensaje: analógico o digital, en banda base o por medio de una portadora. En este caso clasificaremos a los sistemas de comunicaciones por el medio de transmisión empleado, esto nos dará de cada uno de ellos, características que los hagan insustituibles con respecto a otros sistemas con diferentes medios de transmisión, pudiendo clasificarse así en sistemas de radiocomunicación, sistemas por cable metálico y sistemas por fibras ópticas.

Los sistemas de radiocomunicación como los enlaces vía satélite y enlaces de microondas, emplean el espacio como medio de transmisión, transmiten la información por medio de ondas electromagnéticas no guiadas desde un transmisor hasta un receptor. Estos sistemas en su transmisión, para que puedan radiar información al espacio, deben transformar una señal de voltaje y corriente u ondas electromagnéticas guiadas por señales no guiadas, esto lo hacen por medio de un transductor de medios que es una antena transmisora, esta radia energía en todas direcciones o en una sola, dependiendo de las necesidades y aplicación del sistema. De igual manera en el receptor tenemos una antena con las mismas características que invierte el proceso.

Estos sistemas, al no emplear un medio de transmisión físico para la transferencia de energía del transmisor al receptor, poseen algunas ventajas y limitaciones que en ciertas aplicaciones son óptimas, y para otras sería mejor emplear otro medio de transferencia.

Los sistemas de comunicaciones por cable metálico como el par trenzado y el cable coaxial, utilizan un medio físico como canal de transmisión, el cual debe ser conductor de electricidad.

Tabla 2.- Ventajas y desventajas de los Sistemas de Radiocomunicación y Sistemas por cable metálico.

Sistemas	Ventajas	Desventajas
Radiocomunicación	<ul style="list-style-type: none"> - Facilidad en las comunicaciones móviles. - Su reconfiguración es sencilla. - Comunicación multipunto. - Se pueden establecer enlaces en áreas de acceso difícil o sin infraestructura. - Pueden resultar más económicos y requieren de muy poco tiempo de instalación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Son susceptibles a las interferencias electromagnéticas o al medio ambiente. - Tienen un espectro electromagnético limitado. - Susceptibles a intercepciones de información. - Capacidad limitada.
Cable metálico: par trenzado, cable coaxial.	<ul style="list-style-type: none"> - Tiene la facilidad de conducir energía eléctrica. - Es menos susceptible a interferencias electromagnéticas. - En la capacidad de transmisión de información tiene menos limitantes físicas, y tiene mayor privacidad (difícil de interceptar la información). 	<ul style="list-style-type: none"> - Se necesita de un medio físico para transmitir, el cual emplea tiempo de instalación y un costo. - Es difícil de reconfigurar - La comunicación punto - multipunto es difícil. - Difícilmente se puede emplear en medios corrosivos. - Tiene problemas de diafonía². - Es sensible al medio ambiente y presenta problemas de bucles de tierra.

²Nota: Fenómeno de inducción al cual se debe que en una línea telefónica se oiga la conversación sostenida en otra línea, aunque no exista el menor contacto entre ésta y aquella.

En este trabajo de tesis se exponen las características de un sistema de comunicaciones por fibras ópticas, ventajas y cualidades de la fibra óptica y sus aplicaciones (Capítulo I), los elementos que se emplean en un enlace por fibras ópticas, desde el transmisor hasta el receptor y mencionando los códigos de detección de errores (Capítulo II), la conectorización de un enlace de fibra óptica, características de los empalmes y sus pérdidas, características de los conectores, las pérdidas que existen en ellos y la medición de las mismas (Capítulo III) y el análisis que se debe efectuar para la realización del diseño de un enlace de comunicaciones por fibra óptica (Capítulo IV).

Como aplicación de los conceptos descritos en los capítulos anteriores, se desarrolla una base de datos con el programa "Access 7 para Windows 95" (Capítulo V), donde se registran todos los enlaces de fibra óptica, partiendo de los nodos principales hacia los más pequeños, que tiene la Red de Fibra Óptica de la Universidad Nacional Autónoma de México campus Ciudad Universitaria, que se administra en el Departamento de Integración de la Dirección General de Servicios de Computo Académico (DGSCA). En este Departamento se había buscado la forma de tener disponible esta información, y se utilizó un sistema de levantamiento en papel, lo que rápidamente se volvió obsoleto y poco práctico puesto que la Red cambia rápidamente y no se tiene la disponibilidad de tiempo para volver a hacer el levantamiento de cada nodo. Fue entonces cuando se pensó en hacer una base de datos donde se pudiera consultar toda la información necesaria respecto a un punto de la red, y así simplificar el trabajo de investigar la existencia de un par de fibras disponibles que pudieran dar servicio a las diferentes Dependencias de Ciudad Universitaria que requirieran de este medio para transmitir información, servicio de videoconferencias o para un evento en especial.

Uno de los objetivos de esta tesis es tener un texto de consulta en el Departamento de Conectividad y que, tanto el personal de apoyo como el personal de servicio social, pueden familiarizarse con la fibra óptica de una manera fácil y concreta y se integren rápidamente al equipo de trabajo. Otro de los objetivos es hacer una investigación para encontrar algún avance que pueda mejorar el desempeño de la Red de fibra óptica debido a la creciente demanda de este medio de transmisión.

CAPITULO I

Sistemas de comunicaciones por fibras ópticas

1.1 CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES POR FIBRAS ÓPTICAS

Un sistema de comunicaciones de fibra óptica, como cualquier otro sistema de comunicaciones, puede resumirse en tres bloques que son: transmisor, medio de transmisión y receptor.



Figura # 1 Diagrama de bloques de un sistema de comunicaciones punto a punto

En la fuente de información podemos tener cualquier transductor que transforme la manifestación de un fenómeno físico en oscilaciones de voltaje y corriente, estas señales pueden ser analógicas o digitales aunque en general todos los transductores generan señales analógicas, pero éstas pueden digitalizarse antes de ser transmitidas. En el transmisor se le da la forma adecuada a la información que se quiere enviar a través del medio de transmisión, en el cual encontramos atenuación, distorsión y susceptibilidad a interferencias electromagnéticas.

En los sistemas de comunicaciones por fibra óptica, se emplea como canal de transmisión un medio físico dieléctrico; la información viaja en forma de ondas electromagnéticas guiadas, que requieren de transductores para el acondicionamiento de la señal útil a transmitirse y recibirse. En el transmisor requerimos un transductor de ondas de voltaje y corriente en ondas luminosas, en el receptor se requiere de un transductor de ondas luminosas en ondas de voltaje y corriente.

Podemos decir que algunas de las principales ventajas y desventajas de los sistemas de comunicaciones por fibras ópticas con respecto a los otros sistemas, se deben a las características inherentes al medio de transmisión, que es la fibra óptica. En la siguiente tabla mencionaremos algunas de las características principales y sus ventajas:

Tabla # 1 Características y ventajas del medio de transmisión : Fibra óptica

CARACTERISTICAS	VENTAJAS
ELIMINACION DE LAS INTERFERENCIAS ELECTROMAGNETICAS	Seguridad de alta calidad de transmisión Reducción de costos de protección contra el ruido Localización cercana a líneas de alta tensión
AISLAMIENTO ELECTRICO	Eliminación de los problemas de bucle de tierra Travesía segura en zonas peligrosas Seguridad contra descargas eléctricas
PERDIDAS PEQUEÑAS	Espaciamiento grande entre repetidoras Confiabilidad grande gracias al número pequeño de repetidoras Menor mantenimiento
ANCHO DE BANDA GRANDE	Gran capacidad de transmisión Eliminación de igualadores Atenuación independiente del ancho de banda del mensaje transmitido
DIAMETRO Y PESO PEQUEÑOS	Reducción de los costos de instalación y reparación

OTRAS CARACTERISTICAS ADICIONALES¹

1. Requieren de un medio físico como medio de transmisión: fibra óptica (vidrio :SiO₂ - medio de transmisión dieléctrico).
2. Alta privacidad de la transmisión.
3. Sensibilidad limitada por el ruido cuántico.
4. Niveles pequeños de potencia eléctrica en el transmisor.
5. Se facilita la movilidad en áreas reducidas (gracias a su peso y dimensiones menores en comparación con el peso y dimensiones de los conductores eléctricos).
6. Las derivaciones de la fibra óptica son mas complicadas e introducen mayores atenuaciones en comparación con las derivaciones con cable eléctrico.
7. Gran abundancia de la materia prima SiO₂ (dióxido de silicio).
8. Cableado de muchas fibras en un solo ducto.
9. Mayor economía para enlaces mayores de 2 km y velocidades mayores a 2 MB/s.

PRINCIPALES LIMITACIONES

1. Como en el caso de los enlaces por cable eléctrico, se requiere de un medio físico.
2. Movilidad reducida en comparación con los sistemas de radiocomunicación.
3. Mayor dificultad en comunicaciones multipunto: las derivaciones pasivas introducen grandes niveles de atenuación (idealmente 3 dB, para derivaciones 1:1).
4. Las fuentes ópticas son relativamente de una no linealidad alta.

1.2 CONCEPTOS BÁSICOS

Es importante conocer algunos conceptos cuando se habla de fibra óptica pero antes debemos conocer las partes básicas que componen una fibra en general:

¹ Jardón y Linares, "Sistemas De Comunicaciones Por Fibras Opticas", Alfaomega, 1995, pps. 7.

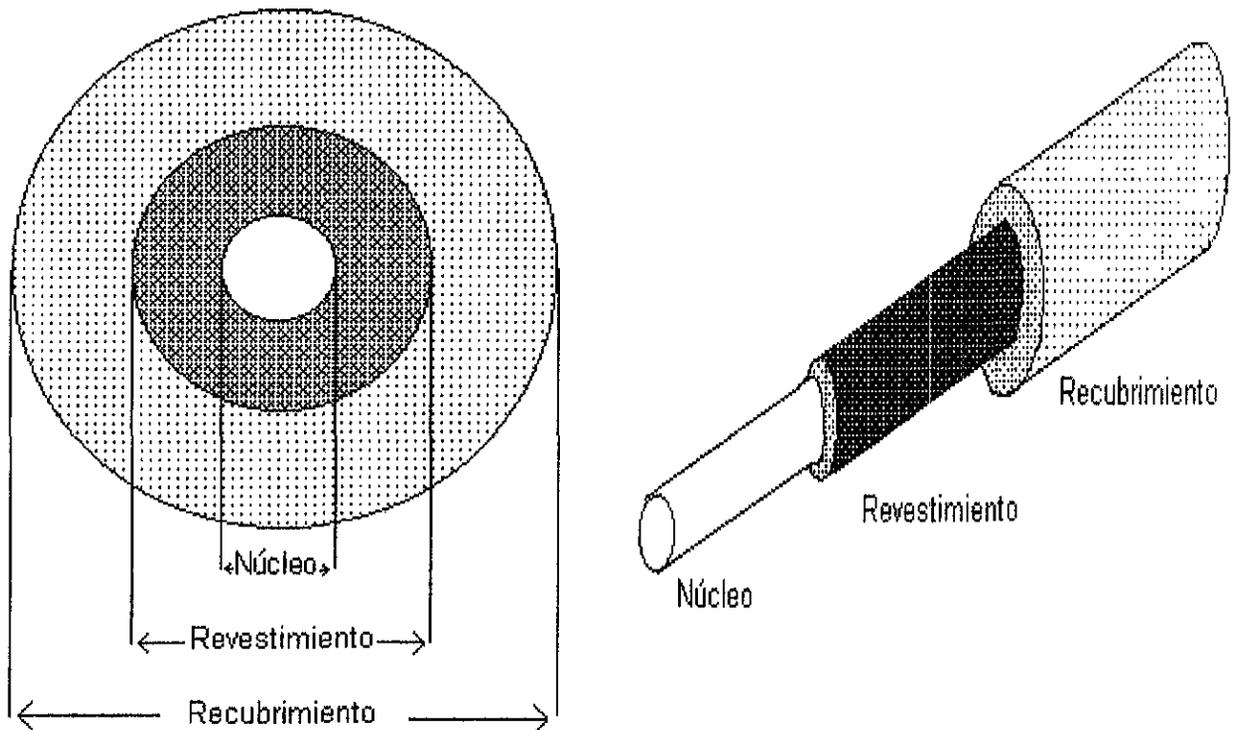


Figura # 2 Partes básicas que componen una fibra óptica

El **núcleo** esta compuesto de vidrio de cuarzo, químicamente llamado dióxido de silicio (SiO_2) que aparece por lo general en forma de cuartiza como componente de la arena. Sus propiedades ópticas y mecánicas varían en las diversas direcciones de sus cristales. La elaboración del vidrio de cuarzo de alta pureza tiene lugar mediante la separación de SiO_2 de la fase gaseosa, produciéndose, con el agregado de oxígeno y en virtud del desprendimiento de cloro gaseoso, la transformación del compuesto tetracloruro de silicio (SiCl_4). Mediante este proceso es como se fabrican los conductores de fibra óptica para las telecomunicaciones ópticas.

El **revestimiento o cubierta óptica**, también de dióxido de silicio, es la capa que cubre el núcleo y tiene diferentes características ópticas. Sin el revestimiento sólo una mínima porción de luz se mantendría dentro de la fibra. Es

en esta capa donde se le da el dopado a la fibra mediante diferentes óxidos, durante la fase gaseosa, para poder controlar su índice de refracción.

El **recubrimiento** es una delgada capa de plástico para proteger al núcleo y revestimiento, puede ser transparente o con una ligera tonalidad, cuando son más de una fibra, para diferenciarlas.

El principio de la transmisión de información a través de las fibra ópticas es mediante la reflexión de los rayos luminosos a través del núcleo y revestimiento. Para poder entender mejor este principio se explican los siguientes conceptos básicos:

Máximo ángulo de aceptación (θ_m) representa el máximo ángulo, con respecto al eje longitudinal de la fibra, al que puede incidir un rayo de luz en el núcleo para que todavía la porción de la luz transmitida sufra una reflexión interna total en el interior de éste y pueda ser guiada a lo largo de la fibra.

$$\theta_m = \text{ang. sen} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

n_1 es el índice de refracción del núcleo

n_2 es el índice de refracción del revestimiento

Si se excede el máximo ángulo de aceptación, no ocurrirá una reflexión interna total, y la posición de luz incidente que es transmitida al núcleo se perderá en el revestimiento.

Con el máximo ángulo de aceptación, se define alrededor del eje longitudinal de la fibra un cono cuyo ángulo en el ápice es dos veces el máximo ángulo de aceptación, y representa la región para la cual todos los rayos que estén en ella e incidan en la fibra serán transmitidos a lo largo de ella, dicho cono es llamado **cono de aceptación**.

Coefficiente de reflexión (R) es la relación de la intensidad del campo reflejado a la intensidad del campo incidente cuando una onda electromagnética incide en la superficie de separación entre dos materiales dieléctricos con índices de refracción diferentes. Si, en incidencia oblicua, la componente de campo eléctrico de la onda incidente es perpendicular al plano de incidencia, el coeficiente de reflexión está dado por:

$$R_{\perp} = \frac{n_1 \cos \theta_i - n_2 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \cos \theta_t}$$

n_1 y n_2 son recíprocos de los índices de refracción de los medios de incidencia y transmisión respectivamente.

θ_i y θ_t son ángulos de incidencia y refracción.

Si, en incidencia oblicua, la componente de campo eléctrico es paralela al plano de incidencia, el coeficiente de reflexión será:

$$R_{\parallel} = \frac{n_2 \cos \theta_i - n_1 \cos \theta_t}{n_2 \cos \theta_i + n_1 \cos \theta_t}$$

n_1 y n_2 son recíprocos de los índices de refracción de los medios de incidencia y transmisión respectivamente.

θ_i y θ_t son ángulos de incidencia y refracción.

Estas ecuaciones son mejor conocidas como Ecuaciones de Fresnel.

Pérdidas de reflexión de Fresnel; es la pérdida de potencia que se produce en la superficie de separación de dos medios. Cuando una onda electromagnética incide sobre ella y una parte de la potencia incidente es reflejada, la pérdida por reflexión depende de muchos factores que incluyen los índices de refracción de los medios incidentes y refractados, la frecuencia, el ángulo de incidencia y la polarización de la luz incidente relativa al plano de incidencia. Las pérdidas por reflexión que se producen a la entrada y salida de una fibra, son debidas a la

diferencia entre los índices de refracción de la fibra y del medio de transmisión del cual la luz entra y sale.

Rayo meridional. En una fibra, un rayo de luz que pasa a través del eje de la fibra mientras éste es reflejado internamente y está confinado a un solo plano llamado plano meridional.

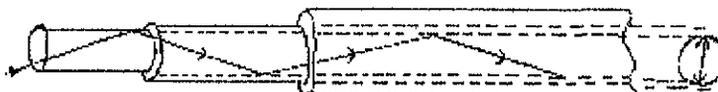


Figura # 3 Rayo meridional

Rayo oblicuo. En una fibra, un rayo de luz que no está confinado en un plano, no pasa a través del eje óptico, no es paralelo al eje óptico, pero es reflejado internamente, siguiendo así una trayectoria en zig-zag.

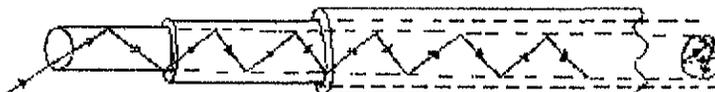


Figura # 4 Rayo oblicuo

Modo. Es una condición o arreglo específico de las ondas electromagnéticas en un medio de transmisión, particularmente en una guía de onda. El número total de modos que una fibra óptica puede aceptar está dado por:

$$N = \frac{2\pi^2 a^2}{\lambda^2} (n_1^2 - n_2^2)$$

a : radio del núcleo de la fibra

n_1 y n_2 : índices de refracción del núcleo y revestimiento

λ : longitud de onda en el espacio libre

Frecuencia normalizada. Un parámetro que puede ser utilizado para calcular o expresar el número de modos propagantes que una fibra es capaz de aceptar, expresado matemáticamente para una fibra de índice escalonado (que más tarde definiremos) es:

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

a : radio del núcleo de la fibra

n_1 y n_2 : índices de refracción del núcleo y revestimiento

λ : longitud de onda en el espacio libre

Si V es igual a 2.405 solo se propaga un solo modo por la fibra. Para un número más grande de modo, el volumen modal o número de modos esta dado por $N = \frac{1}{2} V^2$

1.3 TIPOS DE FIBRA OPTICA

Las fibras ópticas que se utilizan fundamentalmente para sistemas de comunicaciones son fibras tipo monomodo o multimodo y éstas a su vez se pueden fabricar con índice de refracción escalonado o índice de refracción gradual.

Fibras ópticas multimodo de índice escalonado.

Estas fibras tienen la característica del índice de refracción constante a lo largo del núcleo y en la frontera núcleo - cubierta óptica cambia abruptamente.

Para que un rayo quede atrapado dentro de la fibra óptica debe tener un ángulo de incidencia entre el crítico y 90° y solo ciertas direcciones de los rayos son permitidas, estas corresponden a los modos de la fibra óptica. La determinación de estos modos se puede obtener resolviendo las ecuaciones de Maxwell en la frontera núcleo - cubierta óptica. Los patrones estables de

interferencia se obtienen cuando el defasamiento de una trayectoria completa entre las fronteras es igual a un múltiplo entero de 2π .

Podemos variar el defasamiento total de un ciclo de trayectoria zig-zag si se conoce la longitud de onda, esto se puede hacer alterando el ángulo de incidencia que modificará la longitud de onda de la trayectoria. Esto nos indica que hay ciertas direcciones permitidas de propagación; las ondas que no cumplan con esta condición, serán disminuidas rápidamente por la interferencia destructiva.

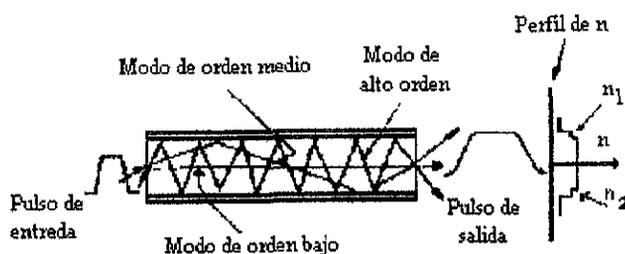


Figura # 5 Propagación a lo largo de una fibra óptica multimodo de índice abrupto

El defasamiento total será la suma de los defasamientos introducidos en las dos fronteras núcleo-cubierta óptica, más el defasamiento introducido en la trayectoria.

La máxima velocidad de transmisión de una fibra multimodo de índice abrupto queda en función de la longitud del enlace.

Fibra multimodo de índice gradual.

Sabemos que el índice de refracción es una medida de la disminución de la velocidad de la luz que viaja por la fibra, por lo que se puede hacer un núcleo donde el índice disminuya conforme se vaya acercando a la cubierta óptica. Así logramos que los rayos de modos altos (ángulo de incidencia cercano al ángulo crítico), lleguen al mismo tiempo que los rayos de modos de índice bajo (ángulo

de incidencia cercano a 90°) al otro extremo de la fibra óptica, disminuyéndose así la dispersión multimodal.

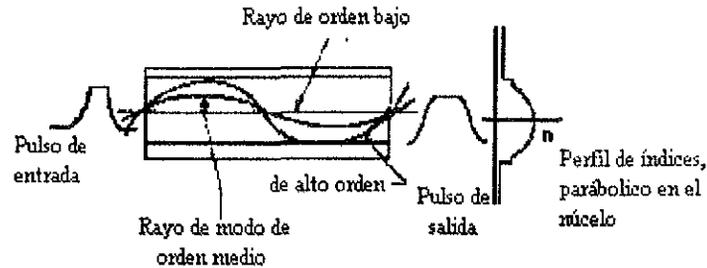


Figura # 6 Propagación a lo largo de una fibra multimodo de índice gradual

La dispersión multimodal se refiere a que los diferentes modos viajan de un extremo a otro con la misma velocidad, suponiéndose que son monocromáticos, pero no llegan al mismo tiempo al extremo contrario puesto que viajan distancias diferentes. Si la luz incidente viaja en forma de pulso en el otro extremo de la fibra, éste se presentará deformada. A este tipo de dispersión del pulso de luz es a lo que llamamos dispersión multimodal, y limita la velocidad máxima de transmisión. La dispersión de los pulsos se encuentra en función de la longitud de la fibra.

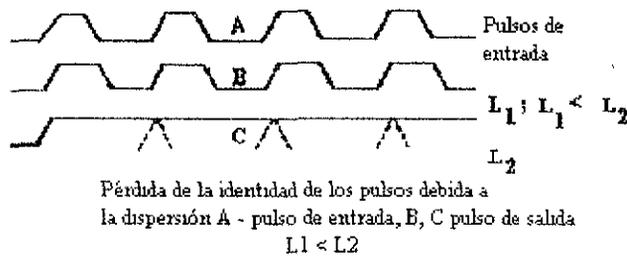


Figura # 7 Dispersión multimodal de una fibra multimodo de índice abrupto

En la fibra multimodo de índice gradual, se disminuye la dispersión multimodal con respecto a la dispersión que sufre el pulso de luz en la fibras multimodo de índice escalonado cuando se propaga a lo largo de ésta, por lo que podemos decir que se puede llevar información de mayor velocidad en las fibras

multimodo de índice gradual, teniéndose un enlace de cierta longitud, lo que no sería posible en las fibras multimodo de índice escalonado.

Fibra monomodo de índice escalonado.

En este tipo de fibras se reduce el diámetro del núcleo y se eligen la relación de índices de refracción del núcleo y de la cubierta óptica, logrando anular la dispersión multimodal propagándose el rayo por un solo modo.

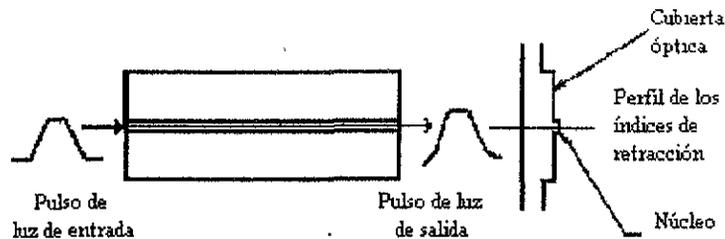


Figura # 8 Propagación a lo largo de una fibra óptica monomodo

Como se ha disminuido completamente la dispersión multimodal en estas fibras, puesto que solo tenemos un modo, se pueden transmitir simultáneamente mayores volúmenes de información en comparación con las fibras multimodo.

1.4 ATENUACIÓN

Esta es una de las características más importantes en una fibra óptica, ya que para las comunicaciones ópticas es indispensable disponer de fibras con baja atenuación. La atenuación se mide en decibeles por unidad de longitud (dB/km), es decir la atenuación aumenta directamente con la distancia y también varía según la longitud de onda utilizada. Esta atenuación es debida a diferentes mecanismos de pérdida, los cuales dependen de la composición del material, de la manera de fabricación y de la estructura de la guía de onda. Actualmente la atenuación que se ha logrado obtener en fibras comerciales es de 2.2 a 3.5 dB/Km en 850 nm y 0.2 a 1.0 dB/Km en 1300 y 1550 nm.

En el espectro infrarrojo, inmediatamente fuera de la región de ondas visibles, es decir longitudes de onda de 800 a 1600 nm, es donde se encuentran las regiones de menor atenuación. Estas atenuaciones se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- **Por absorción del material:** se refiere a la pérdida de potencia óptica que se transmite por medio de disipación de calor en la guía de onda; depende de la composición del material y del método que se emplee para fabricar la fibra. Se puede clasificar en 4 tipos:

- *Intrínseca:* Está relacionada con la pureza del óxido de silicio que se encuentra en la fibra. Es originada por dos causas:

- a) Las bandas electrónicas de absorción en la región ultravioleta; la absorción se relaciona con los espacios en el material amorfo del vidrio y se presenta cuando un fotón interactúa con un electrón en la banda de valencia, y lo excita a niveles de energía superiores.

- b) La vibración de las bandas atómicas, ocurre arriba de 1.2 μm y se produce por la absorción infrarroja inherente del material básico, y por los iones OH presentes.

Estas pérdidas pueden disminuirse seleccionando de manera adecuada la composición del material del núcleo y revestimiento.

- *Extrínseca:* es debida a la presencia de impurezas en el vidrio de la fibra; es una de las principales causas de pérdidas cuando se fabrica la fibra por el método de fundición directa. Estas impurezas son básicamente de dos tipos: iones metálicos en transición (cobre, hierro, cobalto, etc.) o iones OH o hidróxilo.

- *Por hidrógeno*: son debidas a la filtración del hidrógeno desde la parte externa de la fibra hasta su núcleo. La fibra óptica contiene un material plástico formado por átomos de hidrógeno que con el paso del tiempo pueden descomponerse, produciendo moléculas de hidrógeno que causan aumento en las pérdidas. Esta penetración al interior de la fibra es un proceso lento.
- *Por radiación*: cuando la fibra se somete a radiación de rayos γ , se produce un defecto de absorción de luz que provoca un aumento en la pérdida de transmisión. Esto sucede cuando se somete a la fibra a radiaciones intensas, como sucedería dentro de un reactor nuclear durante explosiones.
- **Por esparcimiento**: éstas se presentan como una transferencia de potencia de un modo que se propaga a otro modo diferente, percibiéndose en un incremento de la atenuación de la señal que se transmite. Podemos dividir las en dos tipos:
 - *Lineales*: se transfiere de manera lineal la potencia total de un modo de propagación a otro, en forma total o parcial; también puede transferirse a un modo no propagante y aumentar la atenuación de la fibra. A su vez pueden clasificarse en dos tipos:
 - a) Rayleigh. Se refiere al cambio en el índice de refracción del vidrio a lo largo de pequeñas distancias en comparación con la longitud de onda. Este esparcimiento es debido a tres causas:
 - 1.- A defectos de fabricación en la fibra como burbujas de gas atrapadas, regiones cristalizadas y materiales sin reacción al inicio.

2.- Cambios en la composición de los diferentes óxidos (SiO_2 , GeO_2 , P_2O_5) que forman la fibra, es decir, alguna variación en la composición del vidrio.

3.- Cambios casi imperceptibles en la densidad molecular del material.

Se considera que este esparcimiento es la causa principal de pérdidas trabajando a longitudes de onda abajo de $1\mu\text{m}$.

b) Mie. Se produce por defectos con magnitud comparable a la longitud de onda utilizada. Es provocado por imperfecciones en la geometría de la fibra o porque a lo largo de la fibra haya diferencias en el índice de refracción entre el revestimiento y el núcleo. Este esparcimiento se produce en dirección al receptor y se puede evitar perfeccionando la fabricación de la fibra y aumentando la diferencia entre los índices de refracción.

– *No lineales*: provoca un defasamiento en la frecuencia ya sea en dirección hacia el receptor o hacia la fuente. Esto sucede casi siempre en fibras monomodo y es de dos tipos: el efecto BRILLOUIN o el RAMAN.

a) Brillouin. Un fotón incidente produce un fotón de frecuencia baja y también un fotón de esparcimiento, lo que causa defasamiento de la frecuencia que varía con el ángulo de esparcimiento.²

b) Raman. Es semejante al Brillouin, la diferencia está en que en el Raman el fotón incidente produce un fotón de frecuencia alta y en el segundo el fotón es de frecuencia acústica. Llega a ser hasta tres veces mayor en magnitud al Brillouin.

² Ing. Navarrete Montes de Oca, "V Curso Internacional de capacitación en Ingeniería de Transmisión Digital", México, 1993, pps, 76.

Lo anteriormente escrito puede ser resumido en el siguiente cuadro sinóptico:

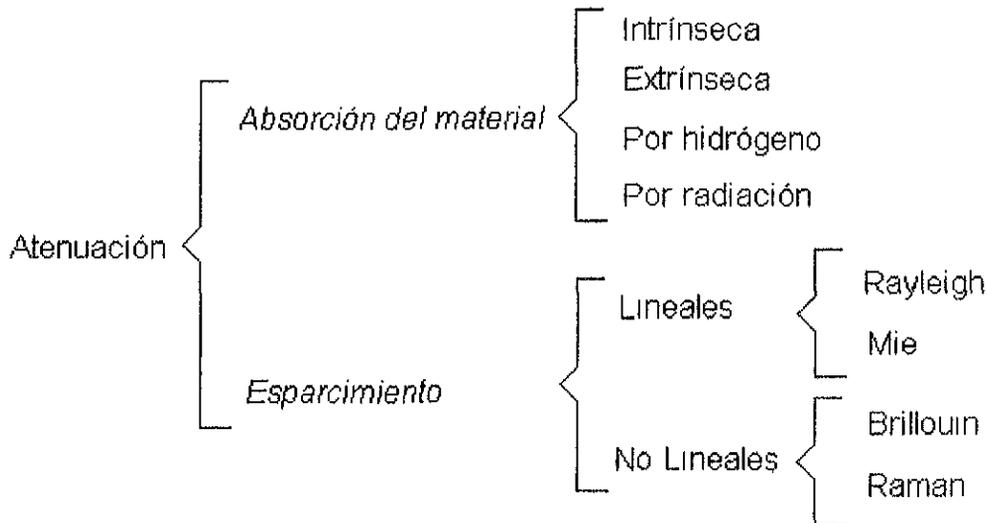


Figura # 9 Cuadro sinóptico sobre la Atenuación en fibras ópticas

1.5 APLICACIONES

Existen numerosas aplicaciones para este tipo de sistemas como son:

- a) Aplicaciones a telefonía
- b) Enlaces urbanos
- c) Enlaces de larga distancia
- d) Empalmes de abonados
- e) Sistemas de transmisión de video
- f) Aplicaciones de computadoras
- g) Aplicaciones en sistemas de potencia

Los sistemas de comunicaciones por fibras ópticas han encontrado una gran aceptación en diversos sectores, debido principalmente a la gran versatilidad para el manejo de grandes volúmenes de información a altas velocidades. Sus

propiedades intrínsecas, antes mencionadas, le han permitido su aplicación en zonas expuestas a grandes interferencias, como son las plantas nucleares y las plantas generadoras de electricidad.

Los medios de comunicación convencionales como el par telefónico, el cable coaxial y las microondas, entre otros, poseen problemas de congestionamiento de las líneas; por ello se ha acudido al empleo de los sistemas de comunicación por fibras ópticas, los cuales presentan grandes ventajas para su empleo en corta y mediana distancia (menor a 30 Km), pero ciertas desventajas a larga distancia (mayor de 30 Km), con respecto a los sistemas de microondas.

1.6 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS

Los sistemas de comunicaciones por fibras ópticas se pueden clasificar en dos grandes grupos: sistemas analógicos y sistemas digitales.

En los **sistemas analógicos** se emplea principalmente la modulación en frecuencia (FDM), mientras que en los sistemas digitales se utiliza principalmente la modulación por división de tiempo (TDM). Estos son aplicados principalmente en la transmisión de canales de televisión.

Aunque los sistemas con fibra óptica se han encaminado en la transmisión de señales digitales, también pueden ser utilizados con señales analógicas. Se puede decir que es mejor modular cualquier señal analógica para poder evitar problemas de atenuación o distorsión de la señal bajo la presencia de ruido; claro que desde un punto de vista económico un sistema resulta de menor costo eliminando los conversores analógico - digital y digital - analógico y disminuyendo también los costos de multicanalización en el sistema; por ejemplo en un sistema de transmisión de televisión se tienen señales típicas de 5 MHz de ancho de banda con lo que se utilizaría un codificador que puede convertir esta señal a una

velocidad de 10 Mbps codificando las muestras mediante 9 bits. Debido a esto se requiere una capacidad de transmisión de 90 Mbps por canal de video lo cual lo hace económicamente imposible.

En los **sistemas digitales** se requiere de un mayor ancho de banda que en los sistemas analógicos para el mismo número de canales, esto se debe a que una señal senoidal debe ser muestreada según el teorema de Nyquist, por lo menos dos veces por ciclo para asegurar una correcta representación digital. Además permiten la transmisión de información, de código de protección, control y alarma, de manera que se pueden satisfacer las diversas necesidades que se presenten.

Entre las características de transmisión de estos sistemas tenemos que se requiere llevar flujos de datos de un punto a otro con la menor cantidad de errores, para lo cual se requiere saber el formato de los datos. Por ejemplo si se transmite una cadena larga de "ceros y unos" se puede perder fácilmente la sincronía en la recepción, una posible solución es el uso de un código de retorno a cero (RZ), lo que requiere de un ancho de banda del doble comparado con un código de no retorno a cero (NRZ).

Haciendo un análisis comparativo con otros sistemas de comunicaciones, por ejemplo el cable metálico, encontramos varias ventajas a favor de la fibra óptica como:

- La inmunidad de la fibra a la interferencia electromagnética, debido a que es hecha de un material dieléctrico de manera que la inducción electromagnética en el medio no influye en la transmisión de la información, además las señales ópticas no causan radiación electromagnética lo que evita que se afecte la comunicación de otros usuarios.
- Otra ventaja muy importante es que el diámetro de una fibra multipar es mucho menor que el de un cable metálico multipar para la misma capacidad de transmisión, lo que influye cuando se hacen instalaciones en ductos saturados.

- La fibra tiene una gran resistencia a altas temperaturas y a la corrosión lo que permite que se instale en medios que el cable metálico no resistiría.

Tabla # 2 Comparación entre las características del cable coaxial con las de un cable de fibra óptica

	Cable de 144 fibras ópticas a 45 Mbps.	Cable coaxial de 22 elementos a 274 Mbps	Unidades
Capacidad	45,000	40,000	Canales de voz
Diámetro	0.5	3.0	Pulgadas
Sección transversal	0.2	7.0	Pulgadas cuadradas
Peso	0.1	10	Libra/pie
Costo de materiales	C O M P A R A B L E		
Espaciamiento entre repetidores	4	1	Millas

Tabla # 3 Comparación entre el cable coaxial y las fibras ópticas para aplicaciones en la televisión por cable³

Aplicación	Diámetro (")	Pérdida por (Km)	Frecuencia (MHz)	Costo por Km en dólares
GRAN TRONCAL				
Cable coaxial	1	23	300	1600
Fibra óptica	½	4	300	1000
TRONCAL				
Cable coaxial	½	42	300	415
Fibra óptica	3/8	4	300	600
DISTRIBUICION				
Cable coaxial	3/8	55	300	305
Fibra óptica	¼	4	300	500

³ Ing. Villalon Arellano, "Ingeniería de Transmisión Digital: fibras ópticas", México 1991, pps 22

CAPITULO II

Telecomunicaciones con fibra óptica

1.1 TELECOMUNICACIONES CON SEÑALES DIGITALES

En sistemas diseñados para las telecomunicaciones por fibra óptica se utilizan generalmente señales digitales síncronas, que en esencia son señales binarias con velocidad de reloj constante; cuyo objetivo es transmitir la información contenida en la señal binaria desde un punto de origen A hasta un punto de destino B, con un mínimo de errores. En telefonía las velocidades típicas son:

Tabla # 1 Velocidades típicas utilizadas en telefonía (con fibras ópticas monomodo se llegan a usar velocidades hasta de 565 Mbit/s)¹

Jerarquía	Mbit/s (32 canales)	Mbit/s (24 canales)
1	2.048	1.544
2	8.448	6.312
3	34.368	44.736
4	139.264	274.176

A continuación se muestra un diagrama de un sistema digital síncrono de comunicaciones por fibras ópticas:

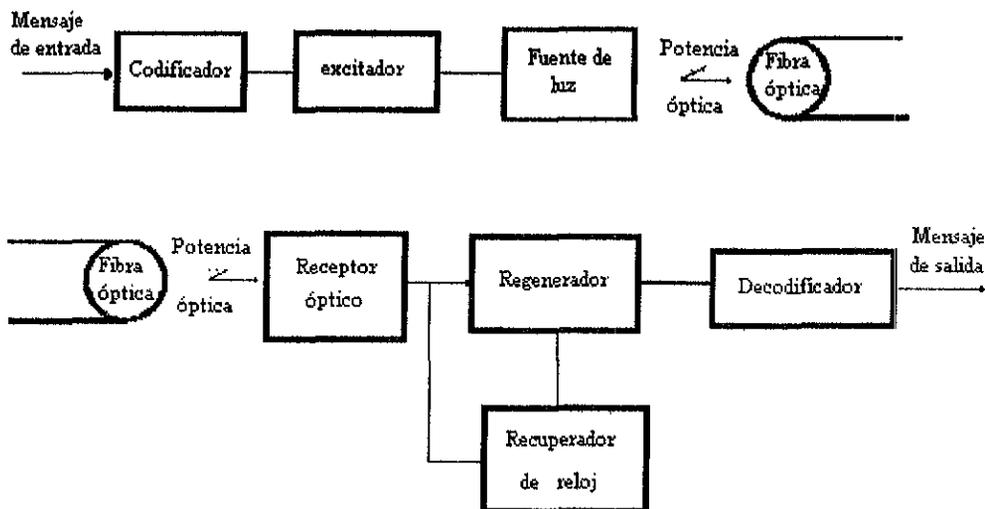


Figura # 1 Diagrama a bloques de un sistema digital síncrono de comunicaciones por fibras ópticas²

^{1 y 2} Fernando Navarro M. de O, "Telecomunicaciones por fibra óptica", IPN, Escuela Superior de Ing. Mecánica y Eléctrica, mayo 1994, pps.1-14

Cuando se codifica la señal del mensaje de entrada (datos y reloj) obtenemos señales con pocos componentes de baja frecuencia y con densidad de transiciones apropiada. Acoplamos la señal codificada al circuito excitador de la fuente de luz y así modulamos la potencia óptica transmitida a través de la fibra. En el receptor óptico tenemos un fotodetector que convierte la potencia óptica que incide en señal eléctrica, la cual se amplifica generando una señal de nivel bastante grande para manejarse en los circuitos subsecuentes. Al salir la señal del receptor se excitan el circuito recuperador de reloj (filtro o PLL) y el circuito regenerador. Finalmente se decodifica la señal obtenida del regenerador y así se obtiene el mensaje transmitido.

En estos sistemas existe una limitante que es la distancia de transmisión, ya que se presenta una atenuación por kilómetro y distorsión de retardo. La atenuación se presenta únicamente cuando la atenuación de la fibra, conectores, empalmes y el margen del sistema, es igual a la diferencia existente entre la sensibilidad del receptor y la potencia de salida del transmisor. La distorsión de retardo se presenta cuando se expanden los pulsos en la transmisión, lo que causa interferencia entre pulsos.

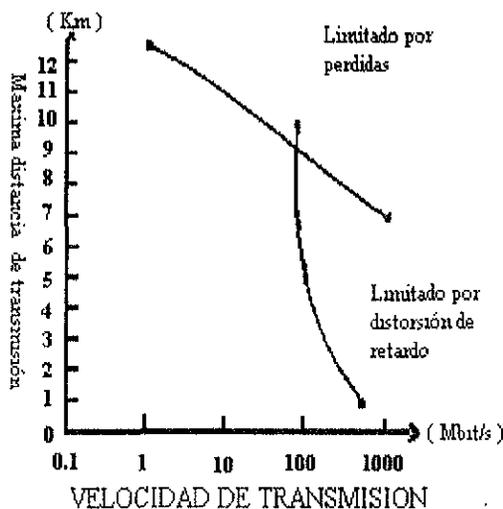


Figura # 2 Curva de distancia contra velocidad de transmisión por fibra óptica a 850 nm con tasa de error de $10e-9$.³

³ Fernando Navarro M. de O., "Telecomunicaciones por fibra óptica", IPN, Escuela Superior de Ing. Mecánica y Eléctrica mayo 1994, pps.1-17

Un sistema que utiliza señales digitales asíncronas por fibras ópticas, es llevado a cabo en tiempos arbitrarios y se utilizan dos estados: encendido y apagado. En estos sistemas, la fuente de luz del transmisor es modulada directamente a través de un circuito excitador de dos niveles de señal: alto y bajo. Para comprobar su confiabilidad de transmisión usamos la fidelidad de reproducción de las transiciones. Pero en estos sistemas se presenta una dificultad en el amplificador de control automático de ganancia del receptor ya que no tiene un nivel confiable de referencia que fije la ganancia del amplificador y/o los niveles de umbral, debido a esto es necesario un control estricto del nivel de señal en el receptor, reduciendo su intervalo dinámico. Estos sistemas son usados en transmisiones de datos a distancias cortas, por su sencillez y bajo costo.

El constante desarrollo de los sistemas de telecomunicaciones es debido en gran parte, a que se requiere obtener un sistema de transmisión de gran capacidad que cubra grandes distancias, es decir, un sistema de alta velocidad de transmisión con un mínimo de repetidores. Actualmente existen sistemas de fibra óptica que pueden transmitir a altas velocidades sobre distancias grandes (2 Gbit/s en 130 Km).

Existen cinco generaciones en el progreso de los sistemas de telecomunicaciones por fibras ópticas. En la figura 3 podemos ver el aumento progresivo de cada generación mediante la separación entre sus repetidores.

Podemos observar que en la primera generación tenemos 800 nm de longitud de onda con fibras ópticas tipo multimodo rebasando así la capacidad de transmisión de los cables metálicos. La mayor limitación es la atenuación de la fibra y el exceso de dispersión cromática cuando se usa un LED como fuente de luz. En la segunda generación tenemos 1300 nm de longitud de onda lo que nos da mayor espacio entre repetidores, pero tenemos la limitante del ancho de banda

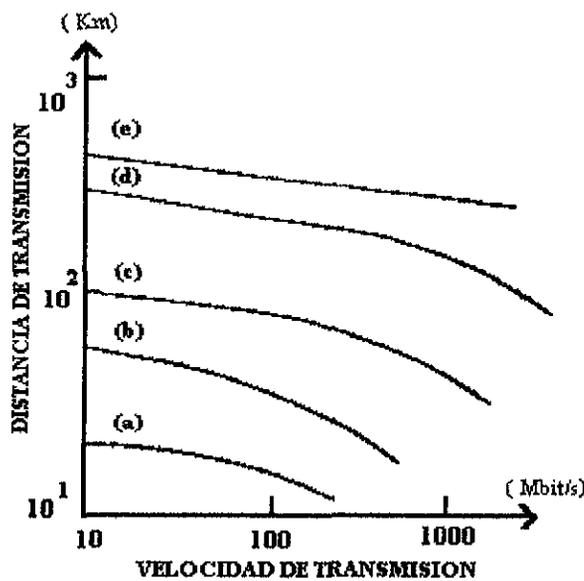


Figura # 3 Generaciones de los sistemas de telecomunicaciones por fibras ópticas.⁴

- (a) PRIMERA GENERACION
(800 nm fibra multimodo)
- (b) SEGUNDA GENERACION
(1300 nm fibra multimodo)
- (c) TERCERA GENERACION
(1300 nm fibra monomodo con láser multifrecuencia)
- (d) CUARTA GENERACION
(1500 nm fibra monomodo con láser de una sola frecuencia)
- (e) QUINTA GENERACION
(Sistemas coherentes)

de la fibra, y si usamos un láser como fuente de luz se presenta la interferencia entre los modos de propagación de la fibra lo que causa ruido, este ruido es conocido como ruido modal.

Para la tercera generación se buscaba ampliar el ancho de banda y disminuir las pérdidas así que se cambió la fibra multimodo por una monomodo logrando un mucho mayor espaciamiento entre repetidores y en la transmisión de velocidades altas (140 Mbps).

Con una longitud de onda de 1500 nm aparece la cuarta generación donde la atenuación de la fibra es mínima pero se aproxima al límite de dispersión de Rayleigh. Esta generación usa como fuente de luz el láser que causa algunas distribuciones de potencia espectral, que al propagarse a través de la fibra causan fluctuaciones de la señal, esto es debido a que se parte la potencia total

⁴ Fernando Navarro M. de O., "Telecomunicaciones por fibra óptica", IPN, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, mayo 1994, pps.1-19.

en diferentes modos espectrales, lo que causa ruido y limita el máximo espaciamiento entre repetidores del sistema.

Hasta la cuarta generación, sólo se habían tenido avances en los sistemas de fibra óptica desarrollando las fuentes de luz y las fibras, pero no se había obtenido un mejoramiento significativo en los repetidores. La quinta generación se dedicó a los repetidores ópticos, para esto se utilizaron los métodos de detección heterodina u homodina de la señal óptica. A estos sistemas se les llama coherentes, por los requerimientos de alta coherencia en el láser.

2.2 FUENTES OPTICAS Y DETECTORES OPTICOS

Actualmente los sistemas de comunicaciones por fibra óptica se han desarrollado ampliamente por su enorme capacidad de transmitir información y su bajo costo. Todo esto es debido a los grandes avances tecnológicos, como son el desarrollo de dispositivos ópticos de alta calidad y confiabilidad entre los que se encuentran: fuentes ópticas, LED, LD, detectores ópticos - PIN y APD.

Una fuente de luz para sistemas de telecomunicaciones debe ser compatible con la fibra: pequeña, confiable y modulable a la velocidad de transmisión que utiliza el sistema de comunicación. Existen dos fuentes de luz que cumplen con estas características: los diodos emisores de luz (LED) y los diodos láser (LD), los cuales son diodos semiconductores que trabajan en polarización directa y emiten su luz cuando los huecos y electrones se recombinan en la zona activa. Para realizar la modulación en estos dispositivos, se varía la corriente de excitación de los diodos utilizando un circuito que proporciona una corriente modulada de niveles altos (10 mA - 100 mA). Todo esto nos proporciona la suficiente energía para transmitir información a varios kilómetros a través de las fibras ópticas. Si se desea variar la potencia de salida, se puede lograr con la variación de la corriente de operación para frecuencias de

modulación del orden de MHz. En la Tabla 2 se muestran longitudes de onda, en micrómetros, para diferentes compuestos (E es una característica del material que puede cambiar como función del tipo de contaminante empleado en el semiconductor).

Tabla # 2 Materiales empleados para fuentes ópticas.⁵

Compuesto	$\lambda, \mu\text{m}$	E_{gap}
AlGaAs (aleación aluminio-galio-arsénico)	0.8 - 0.9	1.4
InGaAs (aleación indio-galio-arsénico)	1.0 - 1.3	1.4 - 1.55
InGaAs	0.9 - 1.7	0.73 - 1.35

El transmisor se encarga de transformar las ondas electromagnéticas en energía óptica o en luminosa, se puede decir que la fibra óptica es el medio de transportación de la señal luminosa, generada por el transmisor de diodo emisor de luz (LED'S) y diodos láser (LD). Los diodos emisores de luz y los diodos láser, son fuentes adecuadas debido a que su salida se puede controlar fácilmente por medio de una corriente de polarización, además de su tamaño pequeño, su luminosidad, longitud de onda y bajo voltaje, necesarios para manejarlos.

La diferencia fundamental entre un LED y un LD es que la luz de un LED es producida por una emisión espontánea (no coherente), y por lo tanto un espectro amplio, en cambio la luz de un LD es producida por una emisión simultánea y produce un espectro estrecho. Para un sistema de transmisión de fibra óptica, la selección de un LED sobre un LD depende de los siguientes factores:

1. Potencia de salida requerida
2. Acoplamiento eficiente
3. Ancho espectro
4. Tipo de modulación
5. Ancho de banda
6. Costo

⁵ Fernando Navarro M. de O., "Telecomunicaciones por fibra óptica", IPN, Escuela Superior de Ing. Mecánica y Eléctrica, mayo 1994, pps. 3-12

Si comparamos al LED con el LD, podemos ver que este tiene mayor estabilidad térmica, tiempo de vida mas largo, es más lineal, es menos susceptible a transitorios, es más robusto, más económico y requiere un circuito de excitación simple. Puede modularse hasta 200 MHz dependiendo del nivel de contaminación de su material, el cual afecta al tiempo de vida de los portadores. El ancho de banda espectral es menor de 50 nm. Su potencia óptica de salida contra corriente de excitación se muestra en la figura 4 a).

Ahora comparando al LD con respecto al LED, este es mucho más rápido, su potencia de salida es mayor y su haz es coherente, por lo que acopla más potencia óptica a la fibra, su construcción es más compleja, su potencia óptica de salida depende fuertemente de la temperatura, es bastante susceptible a transitorios, es más costoso y requiere de un circuito de excitación con compensación de temperatura, con compensación contra envejecimiento, y de protección contra transitorios. Tiene una alta eficiencia de acoplamiento, puede modularse a velocidades altas (Ghz) y su ancho espectral es menor de 5 nm. Su potencia óptica contra corriente de excitación se muestra en la figura 4 b).

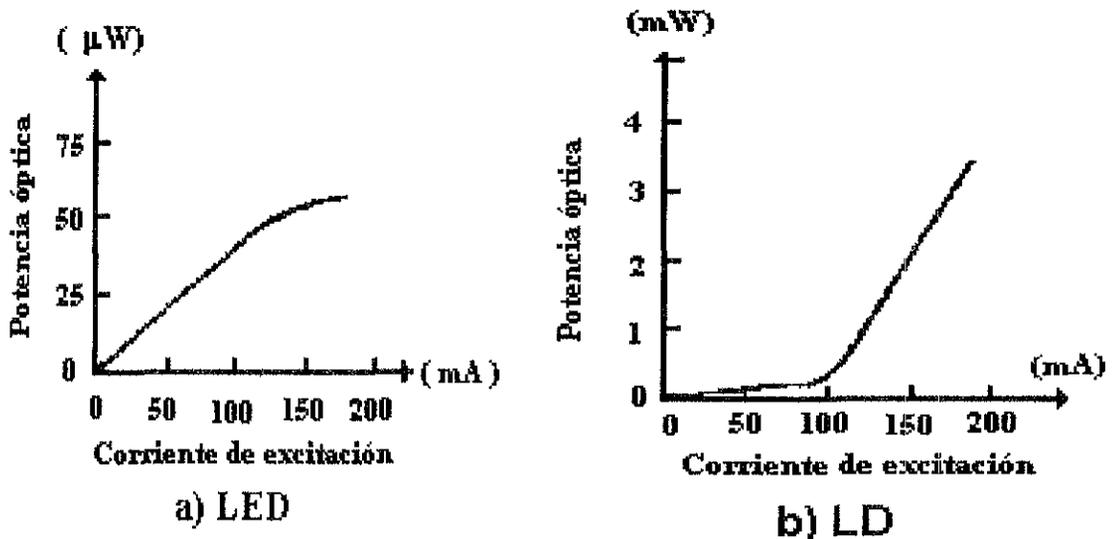


Figura # 4 Comportamiento de la potencia óptica de salida contra corriente de excitación. a) LED, b) LD.⁶

⁶. Hildeberto Jardón Aguilar, "Sistemas de Comunicaciones por fibras ópticas", Alfaomega, pps 67

2.3 RECEPTORES ÓPTICOS

Un receptor en un sistema de telecomunicaciones, tiene la finalidad de extraer la información de una portadora óptica que incide en el fotodetector. Cuando existe una transmisión analógica el receptor, tiene la función de amplificar la salida del fotodetector, demodulándola después para obtener la información. Cuando es transmisión digital, la función del receptor es producir una secuencia de pulsos eléctricos, unos y ceros, la cual lleva la información del mensaje que se transmitió.

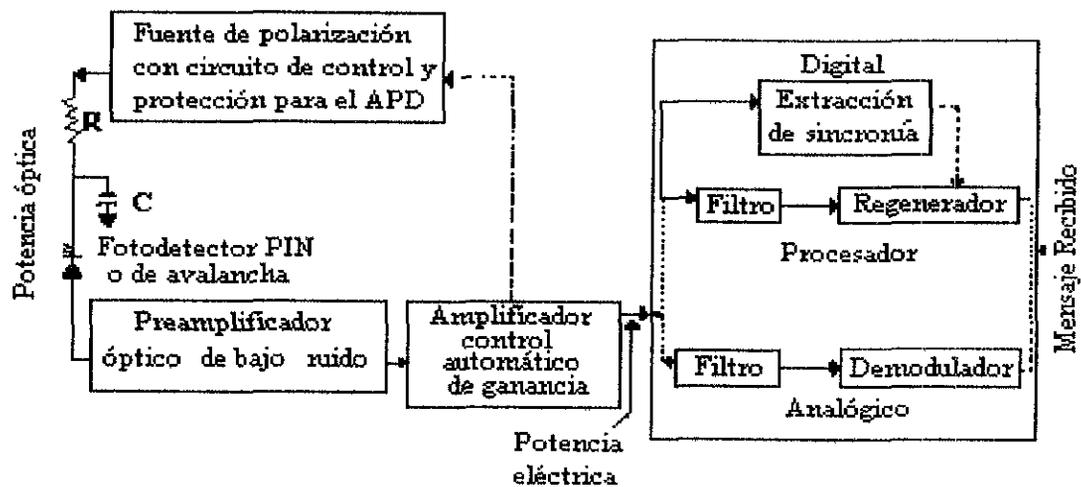


Figura # 5 Diagrama de bloques de un receptor óptico.⁷

La función del fotodetector es convertir la potencia óptica que incide en corriente eléctrica, esta potencia generalmente se encuentra en banda base. Como la corriente que se obtiene de la salida del fotodetector es muy débil (nanoampers), debe de amplificarse con preamplificadores diseñados para que trabajen con detectores ópticos. Finalmente se procesa eléctricamente la señal con un filtro, un demodulador o un regenerador.

⁷ Hildeberto Jardón Aguilar, "Sistemas de Comunicaciones por fibras ópticas", Alfaomega, pps 104

Como el fotodetector es un elemento esencial en un sistema de telecomunicaciones por fibra óptica, debe cumplir con ciertas características como son:

1. Alta sensibilidad a la longitud de onda a la que opera el sistema.
2. Su ruido debe ser mínimo de manera que casi no contribuya al ruido total del receptor.
3. Debe tener una respuesta rápida, es decir un ancho de banda amplio.
4. Debe ser estable con respecto a los cambios en el medio ambiente.
5. Debe ser compatible con las dimensiones físicas de la fibra óptica.

Para los sistemas de comunicaciones con fibras ópticas, tenemos básicamente dos tipos de fotodetectores para receptores ópticos. Uno de ellos es el fotodetector PIN que genera un sólo par electrón - hueco por fotón absorbido. Otro de ellos es el APD o comúnmente conocido como fotodetector de avalancha, el cual genera más de un par electrón - hueco por el proceso de ganancia de avalancha, que es un proceso de ionización de impacto; este último es bueno para receptores donde se requiere alta sensibilidad, pero se debe tener en cuenta el ruido causado debido al proceso de multiplicación de ionización de impacto, lo que afectaría a la sensibilidad del receptor. Además de que depende de la temperatura el que obtenga ganancia que necesita para voltajes de polarización altos.

Fotodetectores PIN

Estos fotodetectores son los más usados en un sistema de transmisión por fibra óptica. En general un fotodetector se diseña para funcionar con ciertas condiciones de operación específicas, aunque puede funcionar fuera de estas especificaciones, es decir hacerlo operar fuera del voltaje estipulado por el fabricante. Si variamos el voltaje de polarización del fotodetector, se verán afectados los siguientes parámetros: tanto en la zona desértica (libre de

portadores) como en la no desértica, variarán la capacitancia y la resistencia, la responsividad que es la relación de la fotocorriente con respecto a la potencia óptica, la corriente de oscuridad o mejor conocida como ruido y por último la velocidad de respuesta entre otros parámetros.

Para que un fotodetector funcione eficientemente a alta velocidad, su área activa debe estar lo más próxima a la zona de iluminación. También es importante la eficiencia cuántica del fotodetector, que se define como la relación de los electrones generados por segundo, al número de fotones por segundo, y también esta relacionada con la responsividad.

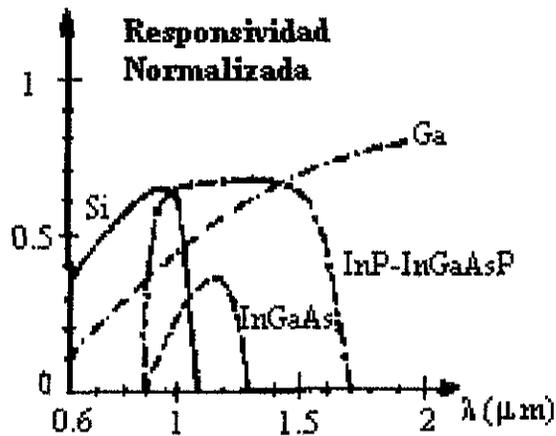


Figura # 6

Variaciones de responsividad para diversos materiales utilizados en la fabricación de fotodetectores.⁸

En esta figura podemos apreciar que los fotodetectores de silicio y de fósforo arseniuro de galio e indio sobre un substrato de fósforo e indio, presentan una mayor eficiencia cuántica y un intervalo de operación de longitudes de onda amplio, por lo que resultan mas atractivos.

Fotodetectores de avalancha o APD

El fenómeno de avalancha es cuando, a un dispositivo, se le aumenta el voltaje de polarización provocando que la corriente crezca incontrolablemente hasta la destrucción del mismo, llamándose región de avalancha donde la

⁸ Hildeberto Jardón Aguilar, "Sistemas de Comunicaciones por fibras ópticas", Alfaomega, pps 110

corriente aumenta. Al controlar el fenómeno de avalancha en esta región, aumentamos notablemente la sensibilidad del dispositivo. Debemos controlar esta corriente ya que no debe rebasar la capacidad de disipación del dispositivo, esto se debe hacer limitando la corriente para un determinado voltaje de polarización.

Aunque la utilización de sistemas de telecomunicaciones por fibra óptica es generalmente para sistemas de transmisión digital, cada vez más se aplican a sistemas de transmisión analógica, esto es debido a la evolución en la tecnología de las fuentes de luz y de los fotodetectores, los cuales han mejorado su estabilidad y su linealidad. En el fotodetector de un receptor, la potencia óptica incidente puede estar modulada en modulación directa o banda base, en doble banda lateral, en fase o en otras más.

Modulación directa o banda base. Es también conocida como de intensidad ya que la información va sobre las variaciones de potencia óptica. Con esta modulación el receptor óptico no necesita de un demodulador, ya que la señal está en banda base y la amplitud del nivel de voltaje de salida del preamplificador es proporcional al mensaje.

Modulación en doble banda lateral única. Cuando existe esta modulación, excitamos a la fuente de luz con la señal eléctrica que resulta de la modulación de una portadora, lo que nos proporciona dos modulaciones, la llamada portadora óptica que se encuentra en la señal óptica, y la llamada subportadora que está en la señal eléctrica. En este caso debemos incluir en el receptor óptico, un filtro paso banda y un demodulador para poder recuperar el mensaje.

Modulación en fase. En este tipo de modulación, el receptor puede ser un discriminador o un PLL (red de amarre de fase).

Estos sistemas de transmisión analógicos pueden ser usados en un circuito de voz individual de 4 kHz o hasta en video de 5 MHz multiplexadas. Es muy importante que en estos sistemas se tome en cuenta la relación señal a ruido alta

en la salida del receptor y la linealidad, cuidando esto podemos evitar interferencias entre cada uno de los componentes de frecuencia de la señal analógica. Como criterio práctico de confiabilidad, podemos tomar al error cuadrático medio, es decir el valor promedio del cuadrado de la diferencia de los mensajes de salida y entrada.

En los receptores ópticos para sistemas de transmisión digital, tenemos como componentes básicos: un fotodetector, una serie de circuitos de amplificación, un circuito de excitación de sincronía y un regenerador. Tenemos una potencia óptica, que es una secuencia de pulsos binarios, es decir "unos" o "ceros" en un cierto intervalo de tiempo, incidente en el fotodetector, la cual se convierte en señal eléctrica que se amplifica para que tenga el nivel suficiente para ser manejada por el circuito recuperador de reloj y regenerador, y finalmente la señal de salida del regenerador ya sea que se decodifique para producir la réplica del mensaje transmitido, o se use para excitar una fuente de luz para retransmitir el mensaje.

En estos sistemas de transmisión digital, el transmisor óptico transforma una secuencia de pulsos eléctricos a una secuencia de pulsos ópticos, que son transmitidos a través de la fibra óptica, esta señal, antes de ser convertida a señal eléctrica por el receptor óptico, ha sufrido de atenuación y distorsión; debido a esto debe introducirse a un regenerador para obtener una réplica del mensaje original, ya que la señal de salida es una versión distorsionada del mensaje transmitido, y no puede ser retransmitida directamente de la salida del receptor.

" El receptor óptico debe tener la máxima sensibilidad posible, el mayor intervalo dinámico, respuesta amplitud - frecuencia plana, e introducir el mínimo de interferencia entre símbolos. También debe proporcionar en su salida un nivel de señal constante, con el fin de tener diferentes distancias entre repetidores y la versatilidad de utilizar fibras ópticas de diferentes atenuaciones o transmisores

con variación en el nivel de la potencia óptica, además de poder absorber los problemas de envejecimiento de los componentes del equipo y los efectos causados por variaciones de temperatura".⁹

El BER (probabilidad de error o tasa de error de bit), es la probabilidad de que a la salida del receptor se presente un pulso cuando no incida luz en el fotodetector, más la probabilidad de que en el fotodetector y en la salida del receptor óptico se presente un pulso, cuando incide luz. Este es un buen criterio de confiabilidad para el diseño de un sistema de telecomunicaciones digitales.

En un sistema de transmisión digital se utiliza el código de retorno a cero (RZ), o el código sin retorno a cero (NRZ), conocidos también como códigos unipolares. El código RZ tiene como ventaja que requiere de menor potencia de transmisión y presenta muy poca interferencia entre símbolos, debido a que sólo ocupa la mitad del ancho de pulso asignado al periodo de un bit; pero tiene el inconveniente de requerir un mayor ancho de banda.

⁹ Fernando Navarro M. de O., "Telecomunicaciones por fibra óptica", IPN, Escuela Superior de Ing. Mecánica y Eléctrica, mayo 1994, pps. 3-36.

CAPITULO III

Tipos de empalmes y conectores para fibra óptica

Es muy importante en un sistema de comunicaciones por fibras ópticas la conexión de los elementos. En estos sistemas se utilizan conectores que son uniones removibles, y usualmente se emplean para unir al transmisor y al receptor con la fibra. Los empalmes son uniones permanentes que se usan para unir tramos de fibras ópticas, y son empleados en su mayoría en la planta externa.

Ambas uniones deben cumplir con ciertas características como es el tener muy poca atenuación, un tamaño compatible con la fibra óptica, alta confiabilidad, el promedio de vida debe ser compatible con la fibra, gran repetitividad y por supuesto un costo moderado; para unir los cables de fibra óptica se usa lo que se conoce como cierre o caja de empalmes.

Una conexión óptica no es tan fácil de realizar, ya que necesita alineamiento y conexión precisa del núcleo de la fibra, lo cual, debido a las dimensiones de la fibra, se dificulta bastante; en cambio una conexión eléctrica sólo requiere de un contacto eléctrico, retorciendo y soldando los conductores metálicos.

3.1 EMPALMES

Una conexión óptica tiene como objetivo la transferencia de potencia óptica de un punto a otro, pero tenemos la existencia de pérdidas en el elemento de conexión que pueden ser:

Extrínsecas: estas pérdidas están en función de la técnica de unión, son producidas por defectos en las terminaciones del extremo de la fibra, desalineamiento del núcleo que puede ser angular, transversal o longitudinal, y las reflexiones de Fresnel, estas dos últimas causan pérdidas acumulativas.

Intrínsecas: estas son debidas a variaciones en las características de la fibra, es decir en el diámetro del núcleo, apertura numérica, índice de refracción, que pueden variar en el proceso de fabricaciones y entre fibras del mismo fabricante.

Cuando realizamos empalmes tenemos, además, atenuaciones causadas por desalineamiento de ejes, inclinación de las caras, diferencia del diámetro de los núcleos, diferencia entre los índices de refracción de los núcleos entre otros. En la fibra se pueden presentar uno o varios de estos factores de atenuación.

En la Tabla 1 podemos observar algunos niveles típicos de atenuación introducida por factores de pérdidas que afectan la conexión en fibras multimodo de índice gradual (GI) y en fibras monomodo (MM), estos factores afectan más a una fibra MM que a una GI debido a que la primera tiene menores dimensiones.

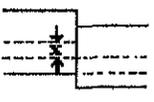
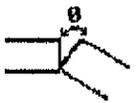
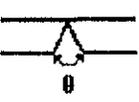
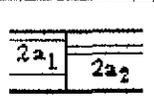
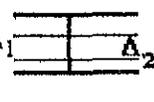
Causas que introducen pérdidas	Empalme	Error	
		Monomodo	Gradual
Desalineamiento		$x = 2 \mu\text{m}$	$x = 2 \mu\text{m}$
		0.74 dB	0.06 dB
Inclinación de ejes		$\theta = 1^\circ$	$\theta = 1^\circ$
		0.46 dB	0.15 dB
Inclinación de las caras		$\theta = 1^\circ$	$\theta = 1^\circ$
		0.21 dB	0.03 dB
Diferencia de núcleos		$2a_1 = 10 \mu\text{m}$ $2a_2 = 8 \mu\text{m}$	$2a_1 = 50 \mu\text{m}$ $2a_2 = 48 \mu\text{m}$
		0.02 dB	0.15 dB
Diferencia de índices		$\Delta_1 = 0.2\%$ $\Delta_2 = 0.25\%$	$\Delta_1 = 1.0\%$ $\Delta_2 = 0.8\%$
		0.03 dB	0.32 dB

Tabla # 1 Atenuaciones típicas introducidas por desalineamiento, inclinación, diferencia de diámetros e índices de los núcleos.¹

¹ Hildeberto Jardón Aguilar, "Sistemas de Comunicaciones por fibras ópticas", Alfaomega, pps 50.

a) Pérdidas extrínsecas

Deslizamiento transversal: Este factor es el que introduce mayor pérdida en los empalmes. Si estamos empalmando una fibra monomodo, debemos tener más cuidado y realizar un alineamiento transversal más preciso, ya que el efecto es mayor que si empalmáramos una fibra multimodo. Por ejemplo, en una fibra de índice gradual de diámetro igual a $50\ \mu\text{m}$ en el núcleo y un desplazamiento de $5\ \mu\text{m}$, la pérdida producida es de 0.6 dB; si tenemos una fibra monomodo de $11\ \mu\text{m}$ de diámetro con un deslizamiento de $2\ \mu\text{m}$, obtendremos una pérdida de 0.5 dB.

Desalineamiento angular: Cuando se realiza un mal corte en la fibra, puede quedar con un cierto ángulo de inclinación que provoca pérdidas, ésta va aumentando conforme aumenta el ángulo de inclinación. En fibras monomodo se permite una inclinación de 1 grado y en fibras de índice gradual se permiten 3 grados, ya que la pérdida aumenta rápidamente cuando aumenta el ángulo. Se debe procurar tener un ángulo lo más pequeño posible.

b) Pérdidas intrínsecas

Variación en el diámetro del núcleo: Es decir, si empalmamos una fibra de índice gradual transmisora de diámetro A con una fibra receptora de diámetro B menor que A, se verá afectado el enlace por una gran pérdida provocando atenuación, por ejemplo, si tenemos una fibra de diámetro igual a $50\ \mu\text{m}$ y otra de diámetro igual a $47.5\ \mu\text{m}$, la atenuación será de 0.5 dB debido a la diferencia del 5 % en los diámetros.

Índice de refracción: Si tenemos una diferencia de índices de refracción, el efecto provocado no será tan perjudicial como la variación de los diámetros del núcleo, es decir, una diferencia del 10 % entre parámetros de índice de refracción relativos, nos causará una pérdida de 0.2 dB aproximadamente en el empalme.

Tenemos diferentes tipos de empalmes o mejor dicho métodos para empalmar dos tramos de fibra óptica, debido a que la fibra se fabrica en tramos de 12 Km. y muchas veces se requiere de mayor longitud para algunos enlaces. Un empalme puede ser mecánico o por fusión; el mecánico es cuando la sujeción y el alineamiento de la fibra se realizan por medios térmicos, adhesivos o mecánicos, éste se auxilia de un gel transparente que ayuda a eliminar cualquier variación del índice de refracción que pueda existir en los núcleos. El más común es por fusión y consiste en aplicar a las fibras una alta temperatura que las funde, quedando unidas permanentemente al normalizar la temperatura, este método es el que se emplea con mayor frecuencia y es realizado por medio de microflama, por láser o por arco eléctrico, siendo este el más eficiente.

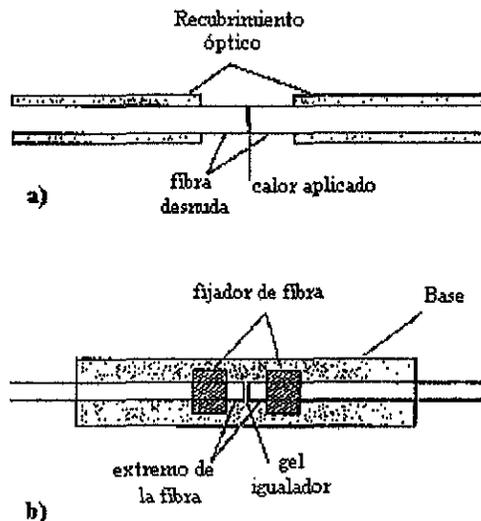


Figura # 1 Empalmes:
a) Empalme por fusión.
b) Empalme mecánico.²

En ambos métodos se realizan diferentes pasos antes de empalmar la fibra, ya que viene envuelta por diferentes capas. Se empieza por remover todas las cubiertas y envolturas hasta quedar la fibra solamente con la cubierta primaria y secundaria (núcleo y revestimiento). Para remover las siguientes dos cubiertas se debe tener mucho cuidado, ya que se puede fracturar la fibra causando una reducción en su resistencia aumentando así la probabilidad de falla; se debe

² Zanger & Zanger, "Fiber Optics Communication and other applications", Macmillan Publishing Company, 1991, pps 132.

remover primero la secundaria y luego la primaria. Para remover la cubierta secundaria existen unas pinzas como las que se usan en conductores metálicos delgados; para remover la cubierta primaria se puede usar un papel humedecido con alcohol, pero se debe cuidar de no fisurar la fibra con el frotado del papel porque disminuye la resistencia de la fibra considerablemente; existen otros métodos para remover esta cubierta que evitan las fisuras, como la reducción de la adhesión del recubrimiento por calor, solventes orgánicos como el benceno, etc.

Cada método de empalme usa una forma diferente de alineación de las fibras. En el método de fusión por arco eléctrico, se usa un aparato que permite la alineación en cualquier dirección de dos fibras. Primero los dos extremos son alineados por medio de la aplicación de una pequeña presión. Después se aplica calor por medio de un arco eléctrico, terminada la aplicación del arco las fibras quedan unidas en una sola, y sólo resta protegerlas con un recubrimiento plástico para evitar daños en la instalación y manejo del enlace. La atenuación introducida por esta fusión es aproximadamente de 0.1 dB. Para obtener un empalme de buena calidad y bajas pérdidas, se debe procurar no tener imperfecciones en los extremos de las fibras, variar la presión de la unión y variar la energía al calentar, al evitar esto, prevenimos la formación de burbujas y curvaturas; una manera de mejorar las condiciones del empalme es realizando una prefusión, calentando ligeramente los extremos a unir.

Normalmente este tipo de empalme se realiza en un laboratorio, empleando un sistema local de inyección y detección de luz para obtener el mejor alineamiento posible; este sistema está compuesto de un transmisor óptico y un receptor que son conectados en los extremos de las fibras a fusionar, el receptor toma la lectura de la potencia óptica recibida, donde se obtenga la mayor potencia es donde las fibras están mejor alineadas, entonces se fijan en esta posición y se aplica el calor de fusión.

En un empalme mecánico, el alineamiento y fijamiento de las fibras se auxilian de un aparato posicionador y cemento óptico o epóxico. En la figura 2 se muestran las diferentes configuraciones para el empalme mecánico; el propósito de la ranura en V, de los tres rodillos y de la férula o manga, es alinear las dos fibras, una vez alineadas y acomodadas en alguna configuración, se fijan por medio de cemento óptico, tubería o cinta.

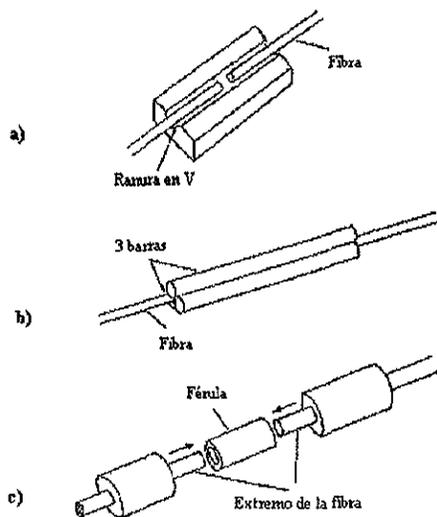


Figura # 2³ Alineamiento de empalmes mecánicos:

a) Ranura en V

b) Tres barras

c) Férula

Otro tipo de empalme mecánico llamado *empalme elastomérico*, fue patentado por General Telephone and Electronics, Inc. (GTE), este aparato alinea las fibras por medio de una tubería triangular hasta que topen; para reducir las pérdidas por reflexión se introduce un gel en el área de unión, después se pone una cubierta hexagonal sobre el tubo triangular para proporcionar una fuerza mecánica, quedando así ensamblado el empalme y protegido del manejo de la fibra.

³ Zanger & Zanger, "Fiber Optics Communication and other applications", Macmillan Publishing Company, 1991, pps 136.

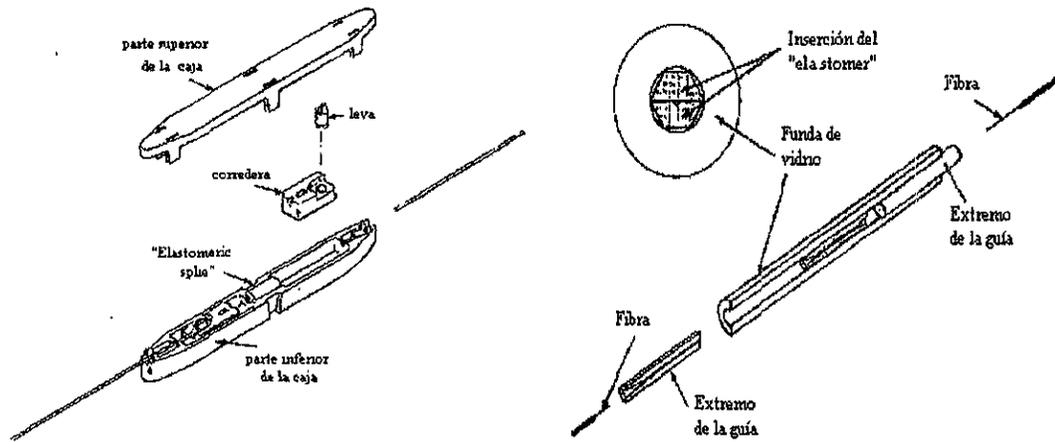


Figura # 3 a) Empalme Elastomérico. b) Caja protectora del empalme⁴

Para proteger el empalme se han desarrollado diferentes protectores o refuerzo de empalme, ya que la fibra pierde gran parte de su resistencia al someterse al esfuerzo mecánico de quitarle la cubierta primaria y al interactuar con impurezas en el calentamiento térmico de la fusión. Los más comunes son el tubo de refuerzo de encogimiento térmico, el refuerzo plástico moldeado por inyección y el refuerzo sandwich.

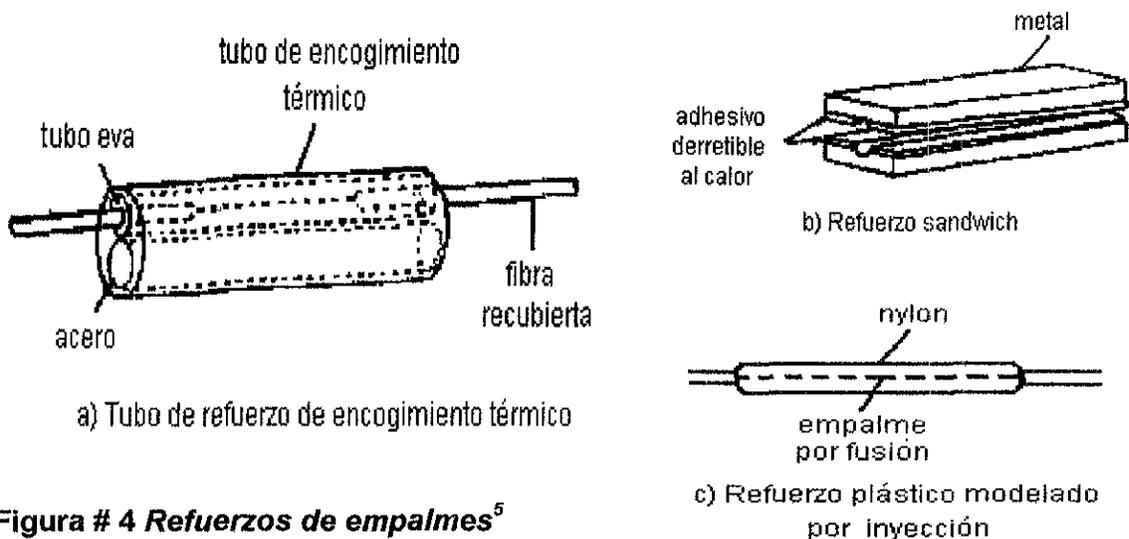


Figura # 4 Refuerzos de empalmes⁵

⁴ Zanger & Zanger, "Fiber Optics Communication and other applications", Macmillan Publishing Company, 1991, pps 136.

⁵ Fernando Navarro M. de O., "Telecomunicaciones por fibra óptica", IPN, Escuela Superior de Ing. Mecánica y Eléctrica, mayo 1994, pps. 5-25

El más usado es el tubo de encogimiento térmico que consiste de un tubo de plástico que se encoge con el calor el cual proporciona la resistencia adecuada por medio de una barra de acero. Todo tipo de protector debe cumplir con requisitos como el aumento de resistencia a la tensión y curvatura, estabilidad en resistencia y transmisión, facilidad y rapidez de ejecución y por último, bajo costo.

En la siguiente tabla mostramos una comparación de algunos empalmes mecánicos contra el de fusión.

Tabla # 2 Propiedades comparativas entre dos tipos de empalmes mecánicos y el de fusión⁶

Metodo	Perdida en empalme	Dimensiones del refuerzo	Tiempo de empalme	Propiedades
Ranura V	0.1 dB	4*6*30 mm	Grande	- Requiere habilidad - Variaciones potenciales de tiempo
Manga	0.3 dB	4*5*60 mm	Grande	- Difícil de operar - Variaciones potenciales de tiempo
Fusión	0.1 dB	3*3*60 mm	Corto	-Se requiere equipo sofisticado

Finalmente después de que el empalme quedo terminado, se protege con una caja o cierre de empalmes para dar a la unión las características funcionales del cable original (Figura 3b). Cada caja debe tomar en cuenta en su diseño diferentes aplicaciones, por ejemplo, si el empalme se va a usar para líneas de centrales o abonados, los cuales también pueden ser de paso o derivación.

El tipo de instalación también es importante ya que puede ser aéreo, submarino o bajo tierra, es decir, si el cable va a estar en un lugar muy húmedo o

⁶ Fernando Navarro M. de O., "Telecomunicaciones por fibra óptica", IPN, Escuela Superior de Ing. Mecánica y Eléctrica, mayo 1994, pps. 5-27

con agua, se debe de tener cuidado con el sellado de la caja para mantener el empalme seco, ya que se podrían modificar sus propiedades. Es importante que el cierre o caja de empalme pueda ser reabierto, se pueda reempalmar, derivar, etc.

3.2 CONECTORES

Un conector óptico tiene la finalidad de interconectar fibras y conversores electro - ópticos como LED, LASER, PIN y APD. Tiene la característica de ser removible y ensamblable fácilmente. Dependiendo del tipo de conector y de la aplicación en fibras monomodo o multimodo, encontraremos diferentes niveles de pérdida de inserción. Es decir, con una longitud de onda de 1550 nm, usada normalmente en enlaces largos, y una atenuación característica de las fibras monomodo de 0.2 dB/km, podemos llegar a tener una atenuación de 3 dB usando dos o más conectores ópticos, considerando la atenuación por conector de 1 dB; esto nos está produciendo la pérdida de la mitad de la potencia, reduciéndose considerablemente la longitud del enlace. Por esto debemos tener mucho cuidado al elegir un conector óptico, ya que representa un papel muy importante en un enlace de comunicación por fibra óptica.

*Características de los conectores ópticos:*⁷

- Inserción de pérdida baja (menor a 1 dB).
- Conexión y desconexión fácil.
- Limpieza y mantenimiento sencillos.
- Extremos de la fibra con protección adecuada.
- Mecánicamente robusto.
- Efectos ambientales despreciables (temperatura, polvo, etc.).
- Buen número de conexiones y desconexiones conservando sus propiedades.
- Instalación - armado sencillo y rápido.
- Optima relación costo/beneficio.

⁷ Fernando Navarro M. de O. "Telecomunicaciones con Fibra óptica" IPN, Escuela Superior de Telecomunicaciones, pps 5-27.

Un conector tiene la función de transferir el máximo de potencia óptica de la salida de una fibra hasta la entrada de otra, con el mínimo de pérdidas posible, esto depende de que los núcleos se alineen exactamente, y que el acabado de la sección transversal de los extremos de las fibras sea de buena calidad.

En los conectores así como en los empalmes, tenemos pérdidas intrínsecas que son debidas a la fibra en sí, y extrínsecas que son producidas por el desalineamiento de los núcleos de las fibras y defectos en el acabado del conector. Estas también se deben al diseño del conector y a la calidad de terminado del mismo.

De acuerdo a su funcionamiento los conectores se pueden clasificar en:

- **Conector en base a principios de lentes o sistema expensor de luz.** Este conector esta compuesto básicamente de dos lentes, una para colimar la potencia óptica en la fibra transmisora, y otra para reenfocar la potencia óptica en el núcleo de la fibra receptora. En este tipo de conector tenemos pérdidas de inserción bajas, su ensamblado es prácticamente simple y es poco probable que se contamine.
- **Conector en base a mecánica de alta precisión.** El principio de estos conectores es a base de una férula de alta precisión, ha tenido un gran desempeño y puede ser utilizado en cualquier diseño o estructura, por lo que son los mas usados en la actualidad.

En el mercado tenemos diferentes tipos de conectores, a continuación mencionaremos algunos:

Conector SMA (subminiatura tipo A). Es un producto elaborado por AMPHENOL PRODUCTS, su atenuación va desde 0.5 dB a 2 dB, esto depende de la versión. Este conector es un estándar respaldado por normas militares (MIL - 1863A); en los 70's el mercado se vio inundado por estos conectores debido a su fácil uso

pero en la actualidad se encuentra en desuso. Fueron diseñados para enlaces multimodo y se usan principalmente en LAN's, redes de procesamiento de datos, terminaciones de aparatos activos, instrumentación, etc.

Conector ST. Este conector está hecho por AT&T, es el estándar para cualquier tipo de red como la Token Ring de IBM. Este conector puede ser usado tanto para enlaces multimodo como monomodo, tiene las ventajas de contar con férulas prepulidas para enlaces multimodo, atenuación de inserción de 0.34 dB y un alto desempeño en enlaces monomodo con atenuación de inserción de 0.15 dB. Tiene aplicaciones en redes LAN's y redes de procesamiento de datos.

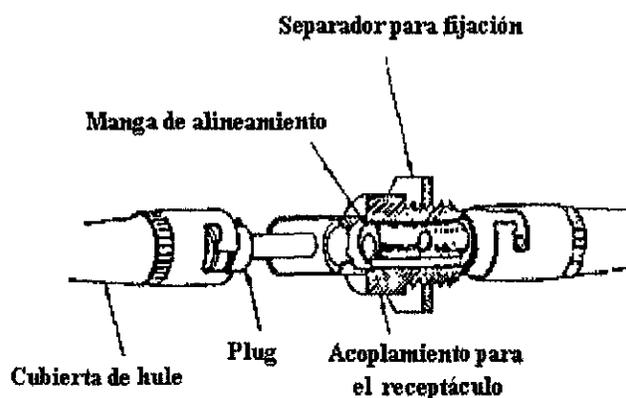


Figura # 5 Par de conectores ST con acoplador ST-ST⁸

Tiene mas o menos la misma configuración de un SMA pero sus características son superiores, como por ejemplo:⁸

- 1) Férula cerámica de precisión que mejora el alineamiento al tener tolerancia de 2 μm .
- 2) Dispositivo de fijación, que evita la rotación obteniendo así mayor repetitividad.
- 3) La tuerca de acoplamiento no es roscada, sino del tipo bayoneta que hace la conexión y desconexión más rápida.
- 4) Atenuación típica de 0.4 dB.

⁸ Fernando Navarro M. de O. "Telecomunicaciones con Fibra óptica" IPN, Escuela superior de telecomunicaciones, pps 5-35.

Conector NTT-FC. Fue desarrollado por la NTT (Nippon Telephone & Telegraph) de Japón, consta de una férula mecánica con un elemento cerámico capilar que se encarga de alinear la fibra. No causa una atenuación mayor a 1 dB debido a su tolerancia en concentricidad y su diámetro de orificio que no sobrepasan 1 micra. Otra parte característica es una rondana de ajuste que tiene ocho posiciones distintas, ésta sirve para asegurar la menor atenuación y mayor repetitividad cuando se fija la posición de la férula. Fueron diseñados específicamente para aplicaciones en telecomunicaciones. Su atenuación típica de inserción es de 0.15dB para monomodo y 0.34 dB para multimodo. Su aplicación principal es en redes de telecomunicaciones, terminaciones de aparatos activos e instrumentación.

Conector FC/P. Este es un conector de contacto físico que se diseñó para disminuir el efecto Fresnel y obtener una atenuación aproximadamente de 0.15dB. Este contacto se logra haciendo un pulido convexo entre las dos caras. Se usa principalmente para fibras monomodo.

Tabla # 3 Valores típicos de atenuación del conector FC y FC/PC.⁹

Conectores	Inserción (dB)	Retorno (dB)
FC	0.7	13
FC/PC	0.2	18

Conector bicónico. Este conector fue desarrollado por AT&T. Está formado por una férula bicónica insertada en un cuerpo metálico y una tuerca de acoplamiento de material plástico; es un dispositivo de haz expandido. En la cara de la fibra encontramos epóxico moldeado para que haga la función de una lente. Su atenuación típica está entre 0.4 y 1.2 dB. Estos conectores son usados para conectar una fibra con otra fibra, o una fibra con algún equipo. Como características tiene una pérdida por unión en promedio de 0.5 dB con un máximo de 1 dB, su atenuación por retorno es de 30 dB, que resulta adecuada para

⁹ Fernando Navarro M. de O. "Telecomunicaciones con Fibra óptica" IPN, Escuela superior de telecomunicaciones, pps 5-36.

sistemas de transmisión de alta velocidad en transmisión monomodo; pueden ser conectados y desconectados fácilmente. Se utilizan básicamente en LAN's, sistemas de procesamiento de datos, instrumentos mecánicos, telemetría y cable de televisión. Este conector prácticamente se encuentra en desuso.

Conector SC. Este conector usa un mecanismo push-pull para conectarse. El conector SC básico esta formado por un plug montado en una férula, el cual entra en un adaptador que alinea la férula. Una de las ventajas de este conector, es que puede conjuntarse con varios plugs y formar un conector de multiposiciones. Esta capacidad es práctica para construir conectores duplex (de dos posiciones), pudiendo así una fibra llevar información en una dirección, mientras que la otra la lleva en otra dirección. Estas características lo hacen ideal para prevenir pérdidas por desalineamiento. Tiene la ventaja de ser fácilmente insertado y removido en par en una conexión. Construido bajo las normas EIA/TIA (Asociación de Industrias Electrónicas) de cableado estándar para telecomunicaciones. Este conector se diseñó para mantener la polaridad de la fibra en redes de telecomunicaciones y de datos; entre otras características tenemos una pérdida de inserción de 0.15 dB para monomodo y 0.34 dB para multimodo. Existen adaptadores SC - SC y SC - ST. Se aplica generalmente en redes de telecomunicaciones, ATM, redes de transmisión de datos y canales de fibra óptica.

Conector D4. Fabricado por NEC para fibras monomodo con una cubierta de acero y para una sola fibra. Entre sus características destacan la pequeñas pérdidas de aproximadamente 0.2 a 0.5 dB, es estable, tiene diferentes diseños para diferentes aplicaciones, se puede ensamblar en campo y tiene un rango de temperatura de -20C a 80C.

Conector Diamond. Fabricado por Diamond S.A y diseñado para conexión de fibra a fibra con un dispositivo mecánico de ajuste y pérdidas de 0.6 dB. En este conector, se inserta la fibra en un casquillo que gira 30° con respecto al conector hasta fijar su posición y disminuir las pérdidas por conexión.

Conector Radiall. Fabricado por CIT ALCATEL, está diseñado a base de contacto entre esferas que se encuentran en el centro del adaptador y la concavidad cónica de las caras de dos plugs idénticos. Entre sus características destacan una pérdida de inserción de 0.4 dB o menor, y disponibilidad para conectar en rack y en panel.

Hemos mencionado que los conectores presentan pérdidas de inserción, lo cual se refiere a la técnica que se usa para medir la atenuación neta de todo el enlace de fibra óptica, desde un extremo transmisor hasta el extremo receptor de una sola fibra. Esta técnica consiste en conectar un aparato emisor de luz en un extremo del enlace, y un aparato receptor de esta luz en el otro extremo. Antes de conectar los aparatos se debe tomar una referencia, que es la pérdida que tienen los conectores y los patches¹⁰ con los que se conectan el transmisor y el receptor de luz al enlace de fibra, se debe procurar que esta referencia sea menor a 9 dB (en aparatos Hewlett Packard). En base a esta referencia se espera, que al medir la atenuación en el enlace, no se tenga pérdida o atenuación. Esta lectura es la que nos da las pérdidas por inserción y está dada en dB/km.

Al medir las pérdidas por retorno, debemos tomar en cuenta que un enlace de fibra óptica se realiza por medio de un par de fibras, siendo una la fibra transmisora de información, Tx, y la otra fibra receptora de información, Rx. En este método se hace un loop o puenteo de ambas fibras haciéndolas una sola, después se manda luz por un extremo con un aparato y llega al mismo, midiéndose así la atenuación de todo el enlace.

¹⁰ cables de fibra óptica, de 25 cm aproximadamente, con conectores en cada extremo.

CAPITULO IV

Diseño de un sistema de comunicaciones por fibra óptica

4.1 REQUERIMIENTOS DE UN SISTEMA

El diseño de un sistema se realiza en base a las necesidades del cliente o usuario, del tipo de servicio y tratando de que sea a un costo mínimo pero siempre teniendo la mayor eficiencia posible. Se debe de empezar por considerar las siguientes características :

1. Cuanto mide el enlace de transmisor a receptor.
2. Si la transmisión es analógica, se considera la relación señal a ruido SNR.
3. Si la transmisión es digital, se considera la tasa de datos o ancho de banda.
4. Para transmisión digital se debe tomar en cuenta el BER o tasa de error.

Ya que se tiene establecido lo anterior se debe diseñar el enlace en base a un protocolo de comunicación, para lo cual se deben seguir los siguientes pasos :

1. Es necesario especificar los requerimientos del sistema.
2. Tener una descripción del medio ambiente y de los requerimientos físicos.
3. Calcular qué tanta potencia óptica se va a usar.
4. Analizar el ancho de banda.
5. Revisar globalmente el diseño del sistema.

Primeramente debemos seleccionar la longitud de onda de transmisión. Para poder escoger la correcta, se debe tomar en cuenta la longitud del enlace, si esta es corta debe ser de 800 a 900 nm, es decir en la primera ventana. En un enlace de transmisión largo, la atenuación y la dispersión pueden ser grandes, por lo que se selecciona una longitud de onda de la segunda y tercera ventana, es decir en un intervalo de 1300 a 1500 nm, logrando así la optimización de las pérdidas. Después de haber seleccionado la longitud de onda se interrelacionan el transmisor, la fibra y el receptor

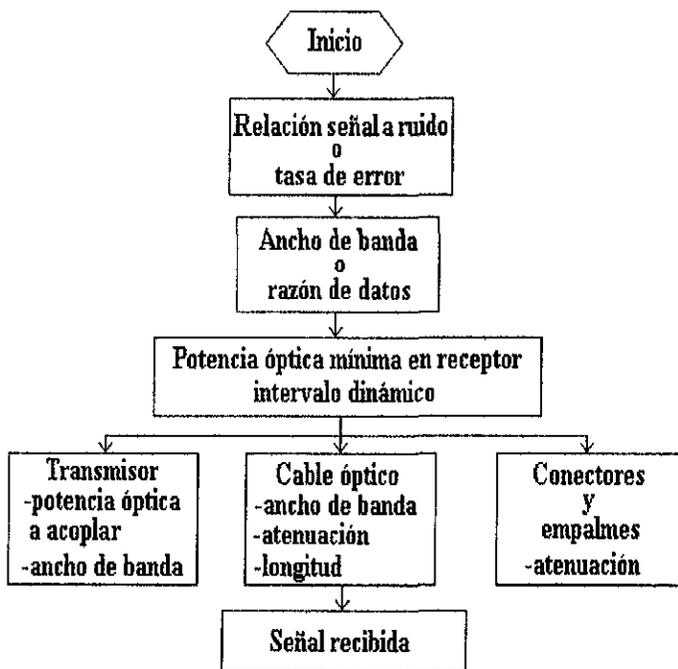


Figura # 1
Consideraciones para el desarrollo de un sistema de comunicaciones ópticas.¹

Siguiendo el diagrama de flujo de la figura 1, empezamos el diseño con la determinación de la relación señal a ruido si es señal analógica, y BER si es señal digital, especificándose así el nivel de potencia mínimo del receptor.

Señales analógicas.

Con la transmisión de estas señales como son audio o video, se puede excitar directamente al transmisor y obtener una señal modulada al nivel de potencia necesario.

Para verificar la calidad de transmisión utilizamos la relación señal a ruido (SNR) y la linealidad. La calidad mejora teniendo la mayor relación señal a ruido y linealización, esto se logra con la modulación en frecuencia. Con esta técnica usamos la información para modular en frecuencia una subportadora, y ésta a su vez modula la intensidad de la fuente óptica. Para esta modulación necesitamos fibra con ancho de banda mínimo de 200 KHz - Km, debido a la dispersión del

¹ Hildeberto Jardón, "Sistemas de Comunicaciones por fibras ópticas", Alfaomega, 1995, pps. 154

material y a la intermodulación. En enlaces cortos sin repetidores se utiliza transmisión analógica aunque en la actualidad, en la mayoría de las aplicaciones se usa transmisión digital con modulación binaria.

Señales digitales.

En estos sistemas se transmite por medio de "1" y "0", es decir, cuando la fuente óptica emite luz se dice que existe un "1" lógico, y cuando hay ausencia de luz es un "0" lógico, así se transmite la señal digital que se forma por medio de una serie de bits, resultantes de la emisión breve de luz radiada por la fuente óptica.

Como ya mencionamos, en estos sistemas se define la calidad de transmisión por medio de BER o tasa de error, típicamente se tiene un BER de $1 * 10^{-9}$ es decir se presenta un error cada 10^9 bits.

La longitud del enlace representa un factor importante y determinante en las características del sistema, ya que si se transmite un pulso a grandes distancias, éste sufre deformaciones debido a la distorsión que presenta la fibra óptica. Para seleccionar un tipo de fotodetector en estos sistemas, se toma el criterio de que se satisfaga la tasa de error requerida con la potencia mínima incidente en el fotodetector, es decir su sensibilidad a una tasa de transmisión dada. En estos sistemas se prefiere el fotodetector APD sobre el PIN, debido a que el primero tiene mayor sensibilidad a niveles de potencia óptica bajos. En el caso del fotoemisor de los sistemas digitales, es preferido el led sobre el láser debido a que casi no presenta cambios por temperatura, no lleva mucha circuitería, es mas lineal y es de bajo costo. Sin embargo el láser presenta un ancho espectral menor, lo que nos da una posibilidad de tasa de transmisión - distancia > 150 [Mbps * Km], en la ventana de 800-900 nm. El led en cambio sólo puede operar con una longitud de onda de 1300 nm ya que la dispersión es muy baja, lográndose una tasa de transmisión - distancia hasta de 1.5 [Gbps * Km].

Para un láser podemos lograr arriba de 25 [Gbps * Km] de tasa de transmisión - distancia.

Con el láser se pueden alcanzar mayores longitudes de transmisión debido a que presenta una potencia óptica acoplada a la fibra de 10 a 15 dB mayor que el led. Pero el láser tiene la desventaja de que requiere de circuitería más compleja debido a que necesita dispositivos que controlen su sensibilidad a cambios de temperatura y envejecimiento, a pesar de estas desventajas éste es preferido debido a que reduce la dispersión en enlaces grandes.

Tenemos en función del ancho de banda y de la longitud del enlace el nivel de potencia que debe emitir la fuente y el nivel de potencia que debe incidir en el detector así como el tipo de fibra, este último también depende de si tenemos un led o un láser como fuente óptica ya que por ejemplo si tenemos un led como fuente sería poco práctico escoger una fibra monomodo puesto que su diámetro es muy pequeño (8 -10 μm) y el nivel de potencia acoplado sería muy pequeño; este nivel de potencia se incrementa con la apertura numérica y al mismo tiempo aumenta la dispersión por lo que hay que optimizar la apertura numérica de la fibra. En cambio el láser puede acoplar a cualquier tipo de fibra el nivel de potencia óptica requerido. Haciendo una comparación de la fibra de índice gradual y la de índice escalonado, se tiene un mejor producto tasa de transmisión distancia en la primera que en la segunda; en la fibra monomodo también logramos el mejor producto tasa de transmisión distancia pero por su diámetro tan pequeño resulta mas difícil conectorizarla y empalmarla.

Todos los requerimientos del sistema se pueden resumir en la siguiente hoja de trabajo :²

² Hildeberto Jardón, "Sistemas de Comunicaciones por fibras ópticas", Alfaomega, 1995, pps. 158

HOJA DE TRABAJO		
APLICACION		
Telefonía _____	TV _____	Redes de datos _____ Otro _____
TIPO DE SEÑAL		
ANALOGICA		
Ancho de banda del sistema _____	MHz	
Relación señal a ruido del sistema _____	dB	
DIGITAL		
Formato de la señal	NZ _____	RZ _____ Otro _____
Razón de datos o velocidad de transmisión _____	Bit/s	
Tasa de error BER	10^{-8} _____	10^{-9} _____ Otro _____
Tipo de señal lógica	TTL _____	ECL _____ Otro _____
A.- Mínima potencia óptica requerida en el receptor (dato del fabricante)		
Promedio _____	dBm	Pico _____ dBm
B.- Intervalo dinámico del receptor (dato del fabricante)		
		_____ dBm
C.- Máxima potencia en el receptor (A+B)		
Promedio _____	dBm	Pico _____ dBm
EQUIPO TERMINAL		
Espacio disponible para :		
Transmisor _____	cm X _____	cm X _____ cm
Receptor _____	cm X _____	cm X _____ cm
Repetidores _____	cm X _____	cm X _____ cm
Conectores del equipo terminal RS-232 _____	BNC _____	Otro _____
Montaje del equipo terminal Tarjeta _____	Bastidor _____	Otro _____
Requerimientos de alimentación :		
Voltaje _____	V_{AC}	_____ V_{DC}
Corriente _____	mA	
Frecuencia _____	Hz	

Figura # 2 Hoja de trabajo para asentar los requerimientos del sistema

4.2 ANALISIS DEL NIVEL DE POTENCIA Y PERDIDAS

Tanto las fibras ópticas como los conectores y empalmes poseen, debido a los diferentes métodos de fabricación, cierto rango de pérdida de potencia. Cuando se trata de las fuentes ópticas, se deben especificar sus características principales como son el intervalo de potencia óptica que emite, el ancho del espectro, la longitud de onda que manejan, la frecuencia de operación, etc. Normalmente se tiene una tolerancia de variación no mayor de 60% para las fuentes ópticas, y de no más de 4 dB para la potencia óptica emitida. En cuanto al receptor óptico, el fabricante nos proporciona el intervalo de sensibilidad global del sistema que se refiere a la cantidad de potencia óptica que puede detectar el receptor, la cual incluye el ruido de la electrónica asociada al detector.

Analizando las pérdidas por elemento podemos encontrar :

Fotoemisor: Para saber qué corriente de excitación se necesita para obtener la potencia óptica de salida que debe acoplarse a la fibra, se obtiene por medio de la relación de corriente de entrada y la potencia óptica de salida. A esto se le conoce como el parámetro de transferencia de la fuente óptica; un valor típico de este parámetro es de 100 mW/A.

Acoplamiento fotoemisor - fibra: En este acoplamiento podemos tener pérdidas de hasta 20 dB si se acopla un led con una fibra de 50 μm de diámetro, sin embargo, al acoplar un láser con la misma fibra, podemos llegar a tener pérdidas de sólo 3dB. De este acoplamiento se obtiene la función de transferencia de la unión, definida por la relación de potencia óptica que produce el fotoemisor y la potencia óptica que se inyecta a la fibra.

Fibra: Estas pérdidas (que se mencionan en la sección 4.4, tabla 1), dependen de la longitud de onda que se emplee en el enlace, pudiendo ser la longitud de onda de 850 -1300 nm en fibra multimodo, y de 1310 - 1550 nm en fibra monomodo.

Acoplamiento fibra - fibra: Como ya mencionamos en el capítulo anterior, la fibra se puede acoplar por medio de un conector que es una unión removible,

pudiéndose conectar y desconectar rápidamente, o por medio de un empalme que es una unión fija para aumentar la longitud de la fibra, o para reparar un corte. Normalmente se considera una pérdida de 0.5 dB por conector, y de 0.2 dB por empalme.

Acoplamiento fibra - fotodetector: En este acoplamiento, muchas veces el fotodetector no absorbe toda la energía que sale del extremo de la fibra, pero estas pérdidas no se consideran importantes o notorias, por lo que pueden ser despreciables.

Fotodetector: Generalmente se obtienen valores de 0.5 A/W para la relación de la corriente eléctrica de salida y la potencia óptica de entrada.

Pérdidas adicionales: En este caso se da un margen de 4 - 6 dB por futuros empalmes o conectores, envejecimiento del equipo, efectos del medio ambiente, etc.

“Para determinar las características de la fibra óptica, del transmisor y receptor, es necesario enlistar los parámetros importantes del sistema, con el objetivo de lograr un análisis lo más completo posible.”³

a) Plan de cableado del sistema

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

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

Apertura numérica.- Esto depende del tipo de fibra seleccionada.

Longitud de onda.- Valor nominal de operación.

Ancho de banda.- Se especifica en MHz/Km.

³ Hildeberto Jardón, "Sistemas de Comunicaciones por Fibras Ópticas", Alfaomega, 1995, pps. 163,164 y 165.

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

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

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

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

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

b) Transmisor

Señal de entrada.- Tipo de señal de entrada (digital o analógica). También se necesita especificar la impedancia y el nivel máximo de la señal en volts.

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

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

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

Tipo de conector.- Eléctrico y óptico; especificar el nivel de atenuación que se introduce.

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

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

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

c) Receptor

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

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

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

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

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

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

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

4.4 SELECCION DE LA FIBRA OPTICA

Para poder escoger el tipo de fibra más adecuado para nuestro sistema debemos tomar en cuenta los parámetros ópticos, estructurales y mecánicos de la fibra óptica. La apertura numérica (NA) y el diámetro del núcleo son factores importantes ya que ellos determinan la cantidad de potencia óptica que la fibra capta. En la Tabla 1 se comparan estas dos características para una longitud de un kilómetro y potencia óptica relativa ($\lambda=1300\text{nm}$ monomodo, $\lambda=850\text{nm}$ multimodo).

Tabla # 1 Características de fibras ópticas típicas.⁴

MATERIAL	DIAMETRO DEL NUCLEO (μm)	APERTURA NUMERICA	ATENUACION dB/Km	ANCHO DE BANDA MHz - km
SILICIO	10 monomodo	0.08	0.3	> 1000
SILICIO	50 multimodo	0.20	2	600
SILICIO	50 multimodo	0.20	3	600
SILICIO	62.5 multimodo	0.20	4	400
SILICIO	85 multimodo	0.26	4	200
SILICIO	100 multimodo	0.28	5	100
PCS	200	0.20	7	25
PCS	300	0.20	7	20

⁴ Hildeberto Jardón, "Sistemas de Comunicaciones por fibras ópticas", Alfaomega, 1995, pps. 168.

4.5 ANALISIS DEL ANCHO DE BANDA

Este análisis es muy importante, ya que el sistema debe asegurar que tiene el suficiente ancho de banda, para que todos los componentes del sistema puedan transmitir su señal de acuerdo a los requerimientos del mismo. Por ejemplo una red LAN (local area network) típica necesita de un ancho de banda de 20 - 600 MHz-km en cada fibra, y los sistemas telefónicos con espaciamiento entre repetidores grande, necesitan normalmente de fibras monomodo ya que el ancho de banda requerido se encuentra alrededor de 1000 MHz-km.

Para especificar el ancho de banda de una fibra observamos cuando la magnitud de la señal óptica disminuye 3 dB (la mitad de la potencia). El ancho de banda total de un sistema de transmisión óptica, está dado por el ancho de banda de cada uno de sus componentes. Para sistemas digitales, el ancho de banda está dado por la razón de datos (R en bits por segundo), es decir la velocidad de transmisión y el formato de la señal.

Normalmente el equipo que presenta el menor ancho de banda, es el que determina el ancho de banda del sistema, pero en el caso de fibras ópticas lo delimita el equipo terminal, puesto que la fibra tiene mayor respuesta de frecuencia. Es recomendable que el receptor sea seleccionado con el mismo o mayor ancho de banda que el sistema requiere y que el transmisor y la fibra sean de un ancho de banda mínimo de 1.5 a 2 veces mayor que el del receptor. Se debe tener cuidado con esto, ya que el sistema podría resultar muy costoso entre mayores sean los requerimientos de velocidad de transmisión, por eso escogemos una fibra de mayor ancho de banda para tener un margen de degradación.

4.6 APLICACIONES DE LA FIBRA OPTICA EN DIFERENTES TIPOS DE SISTEMAS DE TRANSMISION.

La fibra óptica ha tenido gran desarrollo en los últimos años, aplicándose para diferentes usos. En general podemos decir que la fibra óptica se ha empleado para comunicaciones a larga distancia, 10 Km o más en comunicaciones punto a punto con altas tasas de datos. Esto quiere decir que se usa una fibra para conectar un punto directo con otro, sin la intervención de estaciones de trabajo. Por ejemplo en la comunicación de dos ciudades a larga distancia, la comunicación acarreará grandes cantidades de llamadas telefónicas o canales de comunicación entre computadoras a alta velocidad. Este sistema ofrece la tasa de datos requerida por el usuario así como un precio económico y alta confiabilidad.

Un sistema típico de comunicación de líneas telefónicas troncales requiere de las siguientes características :⁵

1. *Bajas pérdidas:* Como se trata de largas distancias, es muy importante minimizar el número de repetidores necesarios. Una fibra óptica con bajas pérdidas requiere de una separación de cuando mucho 40 km. Este espaciamiento reduce costos de mantenimiento e instalación.
2. *Alta capacidad para datos:* Esto albergaría un alto número de conversaciones o canales digitales en una sola fibra, también implica usar una fibra monomodo para tener la mínima dispersión y, probablemente, un láser de una sola frecuencia para obtener una fuente con un ancho espectral estrecho.
3. *Una larga fibra continua:* Fabricar una fibra óptica requiere de un proceso complejo, y producir una fibra larga requiere mucho cuidado; típicamente se pueden fabricar fibras de hasta 5 km sin riesgo de romperse, para obtener mayores longitudes se debe procurar ocupar el

⁵ Zanger y Zanger, "Fiber optic communications", Macmillan, 1991, pps. 282

menor número posible de empalmes para obtener la mínima pérdida en potencia.

4. *Estructura confiable*: Debe ser resistente al medio ambiente en que se encuentre, ya que una vez instalada la fibra no requiere de supervisión; además debe ser fácil de instalar.
5. *Area de reparación*: El cable y los otros componentes deben ser fácilmente reparables, ya que no se pueden enviar a un laboratorio para ser reparados.
6. *Seguridad y privacidad*: El cable debe de ser provisto de una seguridad y privacidad de transmisión, es decir una seguridad en la transmisión de datos de tal manera que no se pueda acceder a ellos.

Otro uso de la fibra ha sido el de **RED DE AREA LOCAL** (Local area network, LAN), que es un sistema de comunicaciones multiterminal de acceso múltiple. En contraste con los sistemas de gran longitud como las líneas troncales telefónicas, las LAN operan a cortas distancias, típicamente de 1 a 2 Km y con velocidad limitada (normalmente de 10 Mbps, aunque se pueden tener LANs de 100 Mbps). Estas redes tienen la característica de compartir el medio de transmisión y el ancho de banda con todas las estaciones, por medio de algún tipo de acceso múltiple, por ejemplo : Acceso dedicado, que es acceso múltiple por división de frecuencia, por división de tiempo o por división de longitud de onda, o acceso por contención, que sería acceso múltiple por detección de portadora con detección de colisión (CSMA/CD), o paso de Token.

Una red LAN puede usarse para comunicación entre computadoras, intercambiando entre cada computadora el uso de datos y programas de otra computadora; comunicación periférica, es decir, reemplazando los cables de cobre y conectando la computadora a una impresora, un monitor, una estación de trabajo u otro aparato; conectar un cierto número de usuarios a un aparato

periférico como una impresora láser muy sofisticada o a un plotter, de esta manera muchas computadoras pueden compartir estos aparatos.

Los sistemas LAN tienen muchas características que no requiere un sistema de larga distancia y puede hacer, con otras características, las funciones importantes de un sistema de larga distancia. La dispersión y las pérdidas no tienen gran importancia en una red LAN. Esto no implica que trabaje a bajas velocidades, ya que la velocidad de transmisión de la fibra es inversamente proporcional a la longitud, a cortas distancias la fibra puede transmitir a altas velocidades, inclusive con alta dispersión por kilómetro. Las pérdidas totales de la fibra están relacionadas directamente con la longitud, a cortas distancias, bajas pérdidas. Una de las características mas importantes de una red LAN, es la facilidad con que se puede añadir una estación al sistema, es decir el método de conexión usado para adicionar nuevas estaciones de trabajo a la red.

Entre las aplicaciones de la fibra óptica en redes locales, tenemos que se pueden interconectar redes LAN por medio de un enlace punto a punto a través de fibra óptica. Se conectan dos redes de cable coaxial por medio de un cable de fibra bidireccional, conectando en sus extremos unos equipos llamados de acceso múltiple para lograr el acceso a la red. Este tipo de enlace ofrece seguridad y buen desempeño debido a las características de la fibra, es decir que es inmune a interferencias electromagnéticas, y además aísla a la red eléctricamente.

Entre los accesos múltiples en redes locales de fibra óptica que se utilizan existen:

1.- *Acceso por contención (CSMA/CD)*. Así como existe la transmisión bidireccional de energía eléctrica en cables conocido como estándar Ethernet, también se puede implementar este estándar en fibra óptica. Para que podamos conectar el mismo número de terminales en fibra óptica que las que se conectan

en coaxial y detectar la colisión, requerimos de varios elementos centrales. Encontramos cuatro diferentes configuraciones basadas en Ethernet sobre fibra óptica :⁶

- Estrella pasiva con detección de colisión por análisis de señal.

Esta configuración se basa en un elemento central completamente pasivo, que consiste en un acoplador estrella transmisor - receptor que distribuye hacia todas sus salidas un paquete recibido por cualquier entrada. Se debe cuidar que el nivel de potencia sea aproximadamente igual en todas las señales, de modo que no existan señales de niveles altos sobre niveles bajos. Se han propuesto varios esquemas para que las interfaces de las estaciones a la red, puedan examinar la señal para detectar colisiones: medición del nivel de potencia promedio, detección del ancho de los pulsos para detectar violaciones al código, comparación bit a bit de la señal transmitida y la señal recibida (eco).

- Estrella pasiva con detección por análisis en el dominio del tiempo. Para superar los requisitos de acoplamiento de la potencia de la señal óptica, se ha propuesto como alternativa un sistema basado en la sintonización de señal. La configuración de este esquema es la misma que la de estrella pasiva con detección por análisis de señal, pero la detección de colisión se realiza en el transmisor - receptor, midiendo el tiempo de transmisión y el tiempo de recepción del eco. Si la señal llega antes, seguramente hubo una colisión. Una desventaja de este método es que en cada estación, el transmisor - receptor debe ser ajustado en tiempo de acuerdo a su distancia y aún así, dado que existe tolerancia de banda, la detección no es 100% segura.

- Estrella activa. Para superar los problemas presentados en la configuración estrella pasiva, se ha propuesto un esquema que utiliza un elemento central activo. El sistema consiste en enlaces individuales bidireccionales punto a punto. Los receptores pueden aceptar un intervalo

⁶ Hildeberto Jardón, "Sistemas de Comunicaciones por fibras ópticas", Alfaomega, 1995, pps. 205.

dinámico amplio, de modo que la potencia de la señal óptica recibida pueda variar ampliamente entre los puertos sin impacto en el desempeño del sistema. La detección de colisión se efectúa en el receptor de cada estación al mismo tiempo que la transmisión, para ello el elemento central realiza el siguiente algoritmo de conmutación:

- a) Si solamente se recibe un paquete en el elemento central, el paquete es transmitido hacia todas las salidas menos la que corresponde a la estación.
- b) Si se recibe más de un paquete en el elemento central, entonces existe una colisión y el elemento central transmite una señal portadora, sin datos hacia todos los puertos de salida. Como una variante, la señal portadora puede ser una señal válida reconocida por todas las estaciones.

De este modo, la detección se asegura siempre que se esté dentro del intervalo dinámico del receptor.

- **Estrella híbrida.** La última alternativa es ópticamente la más compleja. También, al igual que la estrella activa, ésta realiza la detección de colisión por medio de un elemento central semi - activo. La señal de detección de colisión es sobrepuesta en los datos transmitidos. Los receptores deben detectar esta señal superpuesta para detectar la colisión. Este sistema híbrido puede proporcionar la detección de colisión de modo aproximado a la efectividad del sistema con elemento central activo, sin embargo, como en los casos pasivos, la adición de nodos extras no es tan sencilla, razón por la cual el diseño se emplea principalmente en redes pequeñas.

2.- *Acceso por paso de token.* Este acceso consiste en insertar una trama llamada "token" justo al final de la última trama transmitida, esto para evitar que la parte final de la trama, al completar la vuelta al anillo, llegue a la estación.

3.- *Conmutación por división de tiempo.* El Estándar de Canal de fibra óptica (Fiber Channel Standard), se puede emplear en redes locales para transmitir datos en enlaces punto a punto a velocidades de gigabits, y así usar solamente una interfaz física para el control periférico.

4.- *Acceso por división de longitud de onda.* Este acceso nos permite realizar canales múltiples en las fibras ópticas, debido a la necesidad de redes multicanales. Esto se logra mediante la multiplicación por división de longitud de onda o de frecuencia (WDM: Wavelength División Multiplexing). La ventaja de usar WDM es que al usar transmisores o receptores sintonizados en los nodos, se vuelve independiente la topología de la red física de la topología de la red virtual, porque todos los nodos tienen acceso a todas las longitudes de onda. Debido a que los canales pueden asignarse dinámicamente según el requerimiento de tráfico podemos obtener mayor flexibilidad de la red. Existen varios métodos para asignar los pares fuente - destino para las diferentes longitudes de onda que van desde los clásicos algoritmos hasta los de asignación de tiempo.

Otra de las aplicaciones mas importantes de la fibra óptica es la **INTERFAZ DE DATOS DISTRIBUIDOS POR FIBRA ÓPTICA**, o mejor conocida como **FDDI**. Esta tecnología fue desarrollada inicialmente por el Comité de Estándares Acreditados (ASC) X3T9 que se encarga del desarrollo de estándares de interfaces de entrada y salida para computadoras; este comité en 1983 tuvo como objetivo la capa física y el control de acceso al medio. Al mismo tiempo, la IEEE dió a conocer su proyecto de estándares P802 que buscaba implementar LANs con velocidades de hasta 20 Mbits. Podemos decir que los precursores de FDDI son P802 de IEEE que se refiere a la arquitectura de paquetes de datos, y P802.5 que se refiere a protocolos de Token Ring con velocidades de 4 Mbits.

CARACTERÍSTICAS DE FDDI⁷

- FDDI usa un protocolo de acceso temporizado de paso de token, el cual pasa paquetes no mayores de 4500 bytes, y es capaz de soportar arriba de 1000 conexiones físicas sobre una trayectoria máxima de 100 km.
- Cada estación regenera y transmite paquetes enviados a ésta, la cual sirve como el medio para identificar dispositivos en la red.
- FDDI también incluye capacidades de manejo, la cual permite detectar fallas y reconfigurar la red sin intervención humana.
- Las especificaciones desarrolladas por el comité ANSI X3T9.5, incluyen la dirección de cuatro elementos de la arquitectura de FDDI:

1. *Dependencia del medio físico (PMD)*, la cual describe los transceptores ópticos, los conectores, y las características del medio para comunicación de punto a punto entre estaciones.
2. *Capa física (PHY)*, la cual describe la codificación y decodificación, sincronización de reloj y entendimiento con estaciones adyacentes para probar la integridad del enlace.
3. *Control de Acceso al Medio (MAC)*, el cual gobierna el acceso al medio. Este describe el formato de trama, interpreta el contenido de trama, genera y repite tramas, envía y captura "tokens", controla los temporizadores, monitoreo del anillo e interfaces con el manejo de estación.
4. *Manejo de Estaciones (SMT)*, el cual describe los requerimientos de control para asegurar la operación adecuada de interoperabilidad de estaciones del anillo FDDI. Esto lo hace interactuando con las capas PMD, PHY y MAC. La facilidad SMT se emplea para manejar conexiones, configuraciones e interfaces. Esta toma parte en el anillo y en la inicialización de la estación, facilita el aislamiento predeterminado, así como la administración de direcciones y división del anillo.

⁷ Hildeberto Jardón, "Sistemas de Comunicaciones por fibras ópticas", Alfaomega, 1995, pps. 216.

También tenemos como aplicación la **RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS (RDSI) POR FIBRA ÓPTICA**, esta red proporciona básicamente dos servicios a los usuarios uno de banda ancha y otro de banda angosta, esto por medio de un multiplexaje en la línea de abonado. Esta separación de capacidad nos ayuda a proporcionar un servicio más eficiente a los usuarios que tienen diferentes necesidades, por ejemplo, un usuario comercial muchas veces necesita de cientos de líneas telefónicas y además servicios, como paquetes, frame relay y líneas dedicadas de alta velocidad, en cambio los usuarios residenciales hacen uso únicamente del servicio telefónico, por lo que pocas veces necesitan de RDSI de banda angosta.

La necesidad de construir redes de fibra óptica es debida a la tarea de satisfacer los servicios de telecomunicaciones de usuarios comerciales como son transmisión digital, servicios de alta velocidad y de banda ancha y servicios futuros, esta red debe proporcionar varios servicios, desde banda angosta hasta banda ancha, con flexibilidad y economía.

En 1985 NTT introdujo la fibra óptica multimodo a la línea de abonado y desde 1989 únicamente introduce fibra monomodo, todo esto se utiliza principalmente en transmisión de video y servicios de alta velocidad en circuitos digitales. Con la introducción de la fibra en líneas de abonado, en servicios telefónicos de tipo convencional, circuitos convencionales, servicios de RDSI a velocidades de acceso básico y el cambio de cable metálico por fibras ópticas, se ha venido a constituir una plataforma para proporcionar servicios presentes y futuros de banda ancha de RDSI.

Las comunicaciones por fibra óptica también han sido usadas en sistemas CATV (community antenna television), intercomunicadores residenciales, comunicación y control en la industria, etc. En el sistema CATV se usa una antena común para recibir una señal multicanal, y por medio de un sistema de fibra se

distribuye la señal a los usuarios locales. La señal de video puede ser digitalizada o utilizada para modular la fuente de luz directamente en la transmisión de la fibra óptica, y posteriormente se distribuye a los usuarios. En cualquier de las dos opciones anteriores, se debe usar un método de multiplexaje adecuado.

CAPITULO V

Desarrollo de una base de datos para DGSCA sobre la Red de Fibra Optica de C.U.

En los capítulos anteriores se describió un Sistema de Comunicaciones por fibras ópticas, el cual se compone básicamente de: transmisor, medio de transmisión y receptor. En este capítulo se aplicarán los conceptos de conectores, tipo de fibra, atenuación, entre otros, en una base de datos desarrollada en Microsoft Access 7 para Windows 95, sobre la Red de fibra óptica de Ciudad Universitaria.

Esta base de datos fue desarrollada tomando en cuenta la necesidad de la Dirección General de Servicios de Cómputo Académico (DGSCA), de recabar en una computadora toda la información correspondiente a la Red de fibra óptica, para tener una optimización de la misma y poder dar un excelente servicio a las dependencias que lo soliciten, tanto de Ciudad Universitaria: Institutos, Laboratorios, Facultades, Rectoría, etc., como FES Cuautitlán y Zaragoza, ENEPs, Ensenada, Morelos, Edo. de México, etc. que se encuentran fuera de C.U.; a algunas de estas últimas se llega por enlace RDI (Red Digital Integrada) de Telmex. También se le da servicio a algunos particulares como Red Uno, la Universidad Veracruzana, a algunos hospitales, al Colegio de México y la SCT entre otras; a estos últimos se les cobra un cargo por el servicio de la red.

5.1 OBJETIVO DE LA BASE DE DATOS

El objetivo principal de esta base de datos, es tener la información de todos los enlaces existentes de fibra óptica de C.U. disponibles en una computadora en el Departamento de Conectividad e Integración de la Dirección de Telecomunicaciones (DTD) en DGSCA, pudiendo consultar sus características fácilmente así como saber, sin necesidad de trasladarse a la dependencia, que enlaces están disponibles y su atenuación, haciendo más fácil la planeación de un nuevo enlace, ya que la instalación de éste resulta costosa y requiere de mucho tiempo y planeación, lo cual muchas veces no es necesario por ya existir una trayectoria libre.

5.2 CONCEPTOS BASICOS

Antes de entrar directamente al desarrollo la base de datos, es importante conocer sobre algunos conceptos que se manejan en ésta, para poder entender su funcionamiento mas adelante.

Base de datos. Puede estar compuesta por varias tablas, consultas, formularios, informes, macros y módulos diferentes. Todos estos objetos se relacionan por medio de un tema determinado que en este caso será la administración de una red de fibra óptica.

Tabla. Es una agrupación de datos en torno a un tema determinado. Está compuesta de columnas que contienen celdas o campos, y de líneas que contienen registros.

Registro de datos. Es una agrupación de campos sobre una persona, un artículo o, en este caso, un nodo de la red. Cada registro contiene el mismo grupo de campos y cada campo contiene el mismo tipo de datos para cada registro.

Consulta. Es una agrupación de ciertos datos pedidos por un usuario, accediéndose directamente a los datos actualizados de una tabla. Puede estar referida a una sola tabla o a varias.

Formulario. Se crea para introducir, modificar y presentar los registros de una base de datos; estos registros son mostrados en una presentación diseñada por el usuario.

Informe. Permite agrupar y clasificar los registros de datos de acuerdo con ciertos valores, presentándose los mismos de manera significativa.

Los elementos de un informe o formulario que demuestran datos son llamados elementos de control, los cuales pueden mostrar el resultado de un cálculo, el contenido de un campo de tabla, etc.

Macro. Estos sirven para automatizar tareas que se repetirían constantemente como abrir un formulario, ejecutar alguna opción del menú, o una combinación de teclas.

Objeto de una base de datos. Se refiere a un informe, una tabla o un elemento de control, estos se pueden operar y seleccionar como una unidad. Estos objetos poseen propiedades que son características típicas del mismo, estas características permiten darle un aspecto y comportamiento determinado, por ejemplo, el nombre o el color.

5.3 ¿POR QUE ACCES 7 PARA WINDOWS 95?

Para poder seleccionar el programa adecuado para desarrollar una base de datos se deben tomar en cuenta las necesidades del usuario de la base, la disponibilidad de los recursos y las características del programa a usar.

En este caso, analizando los recursos disponibles en la DTD de DGSCA, que es donde se administra esta red, se decidió que el mejor programa sería Microsoft Access 7 para Windows 95, ya que la mayoría de las computadoras de esta Dirección lo tienen. Analizando este programa, encontramos algunas características que facilitan el diseño y uso de la base para hacerla mas potente, como son:

- Un **asistente para bases de datos** para crear una base a partir de plantillas lo cual hace mas fácil y rápido su diseño.
- Un **asistente para dividir bases de datos** nos brinda ayuda para dividir una base de datos donde una contenga los datos (tablas) y otra contenga todos los

objetos y vínculos a las tablas; los datos residen en una carpeta compartida y los usuarios ejecutan copias, lo que recarga menos la red. Esta es una característica muy importante puesto que esta base será compartida, es decir los usuarios de la red interna de la DTD podrán tener acceso a ella desde cualquier computadora.

- Se tienen varios cuadros de texto como **abrir, guardar como y cerrar**, que se manejan de la misma forma que en Word. Este programa le es familiar a todos los usuarios lo que facilita el manejo del programa.
- Se pueden definir fácilmente varias propiedades relativas al aspecto de la base, por ejemplo mostrar automáticamente un formulario determinado al abrir la base.
- A cada objeto de la base de datos se le puede crear un acceso directo en el escritorio de Windows, para abrirlo de manera rápida y directa.
- El **asistente para ayuda** es una ayuda inteligente: se le pueden plantear preguntas sin que sea necesario buscar palabras aisladas. La ayuda inteligente “?” brinda información breve sobre cada uno de los elementos de una ventana, en un cuadro de diálogo.
- La **ventana de la base de datos** es muy parecida al Explorador de Windows, se maneja de la misma forma y contiene los mismo botones.
- Se pueden ocultar objetos cuando son demasiados en la ventana de la base de datos o en las tablas, informes, formularios, etc.
- La **autocorrección** permite utilizar abreviaciones cuando es necesario escribir muchas veces la misma palabra, corrigiéndola automáticamente, por ejemplo N. para decir nodo.

- Así como en Word, en access también existe la corrección ortográfica para los cuadros que contienen un texto.
- Los **filtros basados en formularios y selección**, permiten filtrar un valor determinado de un campo tan solo marcando el valor y activando el filtro. Es posible definir los criterios de un filtro.
- No es necesario cambiar el diseño de una tabla para poder introducir, cambiar o borrar una columna. Esta acción también puede realizarse desde la hoja de datos.
- Los formularios pueden contener tablas dinámicas: es un tipo de consulta de tabla de referencias cruzadas, sin embargo las columnas pueden desplazarse fácilmente de forma dinámica, a fin de poder observar los datos desde otro punto de vista. Este tipo de tablas sirve para agrupar y analizar grandes cantidades de datos, son creadas con el **asistente para tablas dinámicas**.
- Se pueden crear formularios vinculados, es decir formularios que muestran datos relacionados entre sí, en vez de crear formularios principales y subformularios.

Estas son algunas de las características que hace de Access 7 el programa que cuenta con todo lo necesario para realizar esta base tal como se requiere, por ejemplo relaciones de tablas, se puede hacer una base de datos dinámica, se puede compartir en una red, y se puede restringir el acceso de los usuarios a ciertos campos que son de suma importancia que no sean modificados por cualquier usuario, como las atenuaciones de las fibras, los equipos conectados y los segmentos pertenecientes a cada fibra, esta información sólo puede ser modificada en un momento dado por el "administrador" de la base.

5.4 PARAMETROS DE DISEÑO

Los parámetros que se tomaron en cuenta, para el diseño de la base de datos de la Red de fibra óptica, fueron las características más importantes que debe conocer el técnico de DGSCA sobre un enlace; estas son:

- **Origen:** nombre del nodo del cual sale el enlace.
- **Destino:** nombre del nodo al cual llega el enlace.
- **Número de distribuidor:** en algunos locales existen racks con mas de un distribuidor óptico, por lo que hay que identificar el número de distribuidor en el cual está ubicado el enlace.
- **Número de fibras:** con cuantos hilos cuenta el enlace (4, 6, 8 o 12) y especificar el tipo de fibra (monomodo o multimodo); en este caso no se añadió un campo extra puesto que son realmente muy pocos los enlaces con fibra monomodo.
- **Longitud del enlace:** cuanto mide el enlace desde el origen hasta el destino, ya que algunos enlaces pasan por uno o varios nodos principales, por ejemplo un enlace DGSCA - IIMAS - Instituto de Ingeniería.
- **Atenuaciones (Atn. Fibra 1):** en estos campos se lleva el dato de la atenuación de cada una de las fibras desde el origen hasta el destino, a partir de una cierta referencia.
- **Uso (Uso fibra 1):** Se tienen 3 tipos diferentes de enlaces: voz, datos y videoconferencia. En este campo se muestra cuándo una fibra esta ocupada o libre, y su uso en específico.
- **Notas:** Algunos de los enlaces aún tienen conectores diferentes al conector ST, por lo que requiere la especificación del conector para cambiarlo en un futuro, alguna característica única de este enlace, etc.
- **Equipo conectado:** Este campo se refiere al nombre del equipo donde llega la fibra como MUX, FOM-T1, Cellplex, Concentrador de F.O., etc.
- **Segmento:** A cada enlace se le asigna un segmento de la red, cuando se trata de enlaces de datos.

Generalmente, cuando se consulta información sobre el enlace, sólo se necesita saber si existen hilos libres, por lo que no es necesario mostrarle al usuario de la base toda la información del enlace. Como esta base debe ser amigable para el usuario, los parámetros antes mencionados se distribuyeron en tres pantallas para, de esta forma, no saturar al usuario con datos que no necesita.

Con un acceso directo en el escritorio de Windows se corre el programa, abriéndose automáticamente la base de datos con el nombre "Red de F.O.". El programa muestra como primera pantalla el **Panel de Control Principal**, que muestra diferentes opciones en botones para realizar la acción que el usuario requiera en ese momento, como ver información, cambiar algunos datos o agregar un nuevo enlace y, finalmente, salir de la base de datos; este panel de control se ilustra en la Figura 1.

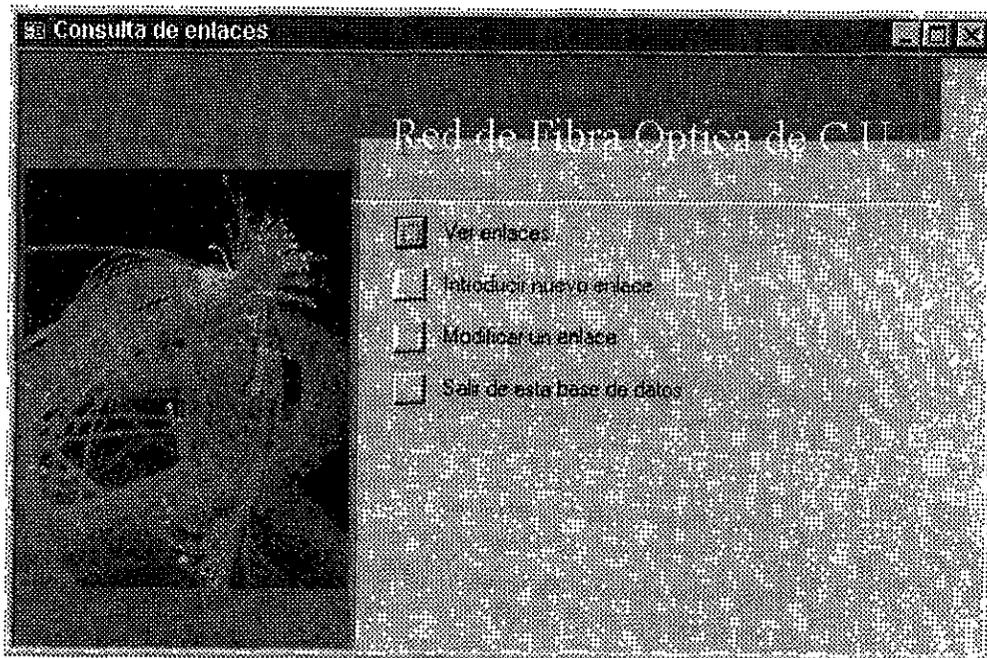


Figura # 1 Primera pantalla: Panel de Control "Red de Fibra Óptica de C.U."

La primera pantalla introduce la Figura 2 al escoger cualquiera de las tres primeras opciones, con la diferencia de que una de ellas (ver enlaces) se abrirá en modo "sólo lectura", la opción modificar un enlace tendrá una restricción, puesto que sólo una persona tendrá el derecho a corregir los datos de un enlace; esto es debido a que las atenuaciones son datos muy importantes que no deben ser cambiados, y la última opción cierra la base de datos así como el programa de Access.

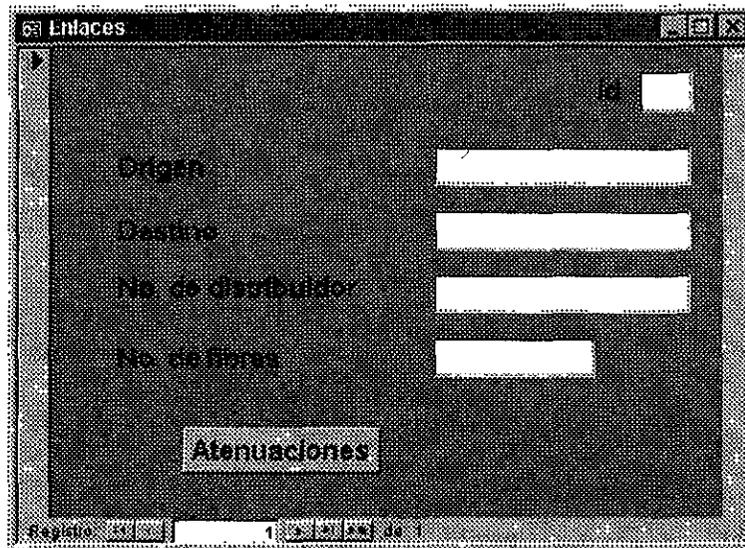


Figura # 2 Segunda pantalla: "Enlaces"

En esta pantalla están contenidos los campos que identifican al enlace en cuestión por su origen y su destino. Como podemos observar en la Figura 2, se muestra un botón con el nombre **Atenuaciones**, al apretar este botón se abrirá una nueva pantalla (Figura 3), con los datos de longitud del enlace, las atenuaciones y el uso de cada una de las fibras del enlace en cuestión. Este paso fue realizado por medio de una macro, en ésta se relacionó el identificador numérico del enlace "Id", que podemos observar en la esquina superior derecha de cada pantalla, de manera que al apretar el botón de atenuaciones se abrirá la pantalla con los datos del enlace en cuestión, y no desde el primer registro.

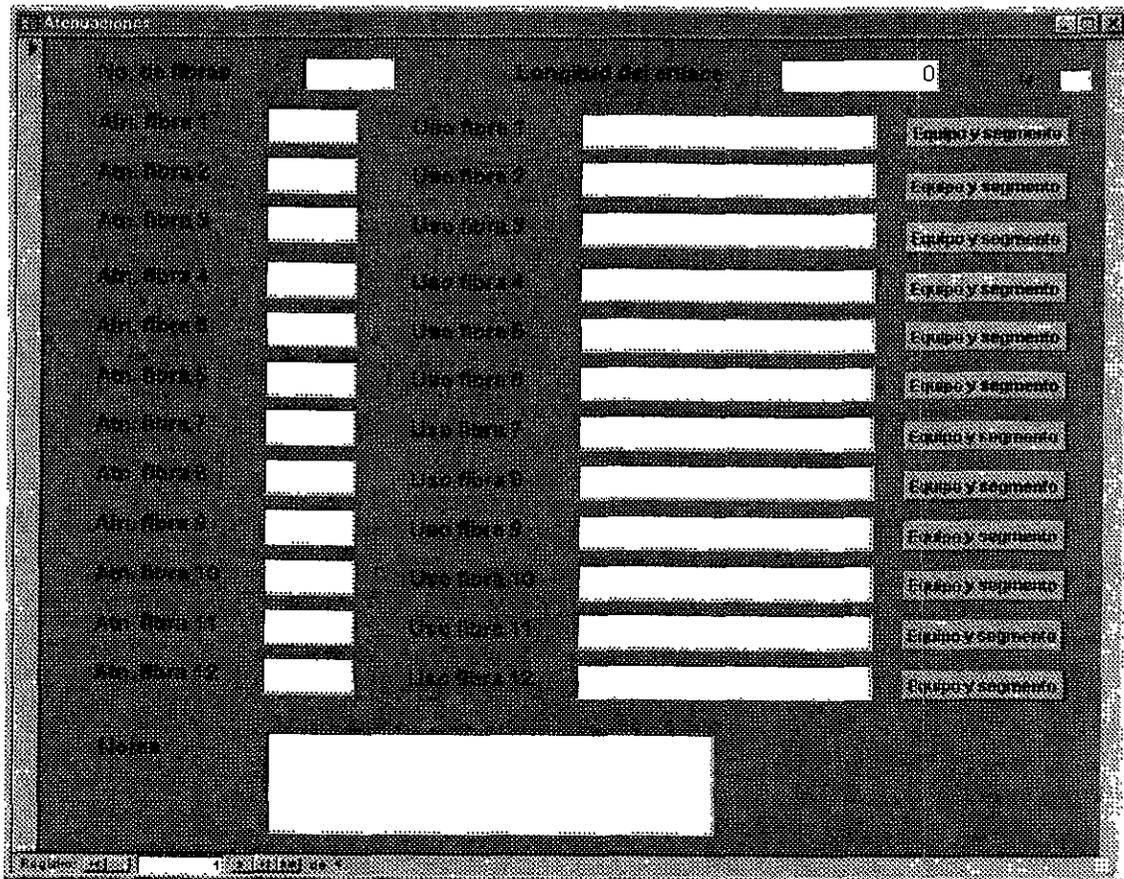


Figura # 3 Tercera pantalla: "Atenuaciones"

En esta Figura 3 se observan los campos: "Atn. Fibra 1", en el cual se introduce el dato de la atenuación de cada hilo, según lo indique el número, y "Uso fibra 1", donde se especifica si la fibra se encuentra libre, con la misma palabra, o si está ocupada con el uso que tiene esa fibra como Voz PRIN. Rx, OC-3 PRIN Tx, etc. Dentro de esta pantalla aparecen a la derecha los botones con el nombre **equipo y segmento**, los cuales tiene la función de abrir la última pantalla, siendo ésta diferente por cada uno de los campos mostrados en los usos.

Es importante saber qué se encuentra al final de un enlace, o al principio según sea el caso, para que en el momento de una falla, el técnico encargado de la reparación sepa que material o herramienta necesita para arreglar el nodo. La Red de fibra óptica lleva conectados a sus hilos diferentes equipos cuyos nombres son, por ejemplo, Cellplex, Lamplex, Fom 40, etc. Esta información se concentra en la pantalla de nombre **Equipo**, mostrada en la Figura 4, donde también se especifica que segmento de la red le fue asignado en su respectivo campo de la pantalla.

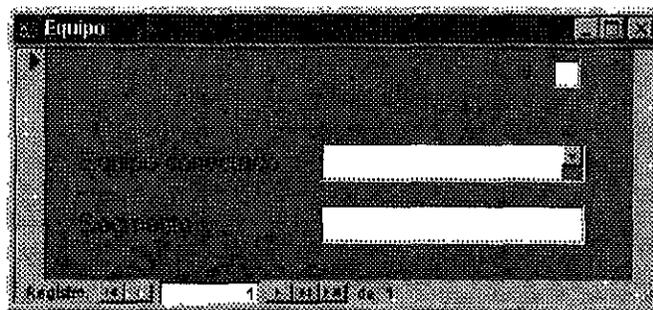


Figura # 4 Cuarta pantalla: "Equipo"

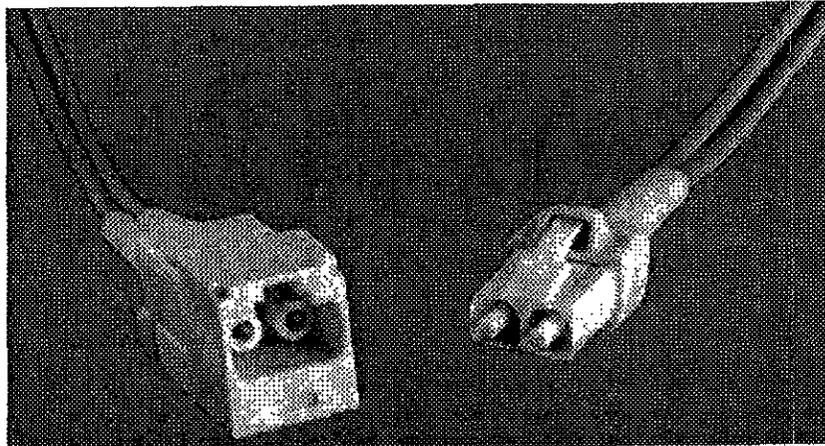
La base de datos debe ser compartida en la red de computadoras del Departamento de Conectividad, por lo que se deben dar los respectivos permisos en las propiedades del programa, esto se realiza de la misma forma en que se comparten los demás recursos como word, excell, impresoras, etc.

Como esta base tiene la finalidad de llevar un inventario de la red de fibra óptica, es necesario restringir el acceso a ciertos campos y hasta a la base misma por medio de un "password" o palabra clave, éste únicamente lo tendrá el "administrador" de la base. Esto permitirá que se lleve un control mas preciso de las modificaciones efectuadas en los nodos de la red y por quien fueron hechas, así como quien arregló una falla en una dependencia y en caso de reclamación, saber a cual técnico dirigirse.

Conclusiones

Haciendo una investigación por diferentes medios de información se encontró, en cuanto a avances se refiere, varios adelantos que pudieran mejorar la transmisión de información en la Red de Ciudad Universitaria como por ejemplo en conectores, en transmisores, etc.

Después de investigar con diferentes distribuidores de equipo para fibra óptica, como son Lucent Technologies, Systimax, Neeps, etc., lo último en conectores es un conector patentado por Panduit llamado "opti-jack", que representa la siguiente generación y que trae consigo muchos beneficios y sobre todo, facilidad de conexión.



Es el primer conector que combina una apariencia familiar, comodidad y seguridad como el jack modular estilo RJ. Su diseño nos ahorra espacio en instalaciones de fibra óptica, que son posibles con un conector SC o ST común y corriente (es la mitad de ancho de un conector SC dúplex de fibra óptica). El opti-jack puede ser utilizado a través de un sistema completo de cableado horizontal y backbone, para proveer completa versatilidad en la conexión punto a punto. Este nuevo estilo de conector ha sido llamado "FJ" (Fiber Jack), y cumple enteramente con los requerimientos de rendimiento de un conector de fibra óptica, especificados en la norma EIA/TIA-568-A.

Está formado por un plug y un jack, es el primero en el campo de conectores de fibra óptica con estas características; se sujetan rápido y fácil como un típico conector estilo RJ o jack telefónico y no requiere de un adaptador entre el plug y el jack.

Entre sus características principales tenemos:

1. Diseño de "plug y jack".
2. Terminado especial.
3. Se puede utilizar para cableado horizontal y backbone.
4. Puede ser usado en cualquier parte como un conector RJ-45 inclusive en instalaciones grandes.
5. No requiere de un adaptador y se acopla con fuerza.
6. Provee una gran flexibilidad de instalación y de bajo costo.
7. Ofrece mejoras en la protección contra caídas de la red cuando los cables son accidentalmente movidos o maltratados.
8. Seguridad en su desempeño.
9. Satisface los requerimientos de aplicaciones en backbone de fibra y "fibra hasta el escritorio" (fiber to the desk).
10. Se puede usar con cables de fibras multimodo de 62.5/125 μm de diámetro.

Esta tecnología aún no se aplica, pero se espera que en un futuro no muy lejano se empiece a utilizar puesto que ahorraría espacio en la instalación de nuevos enlaces pudiendo colocarse en cualquier lugar. Probablemente se vuelva a dar una estandarización en un futuro como sucedió con el conector ST.

En cuanto al desarrollo de la base de datos se refiere, se ha visto que es de gran utilidad puesto que fue muy difícil recaudar los datos para su llenado. Por ejemplo para poder obtener el dato de la atenuación de cada uno de los enlaces de un nodo como IIMAS, se debía tener disponibilidad de transporte, de aparatos de medición, de llaves del cuarto de comunicaciones, hacer un oficio para poder entrar a medir la atenuación de cada fibra óptica además de la disponibilidad de alguien del personal de becarios o servicio social para permanecer en el otro extremo del enlace. En algunos locales no se contaba con un teléfono cercano a los distribuidores por lo que había que llevar consigo un radio (que es un recurso limitado en la DTD) o pedir prestada una extensión. Todo esto nos representa un costo elevado y periodos de tiempo muy largos para aumentar y/o cambiar servicios en la Red de fibra óptica.

Con esta base se evita, al personal encargado de la red, todos los inconvenientes antes mencionados, con lo que ahorran tiempo y recursos, brindándole un mejor servicio a las Dependencias Académicas, de Investigación y de Servicio de la UNAM, como Facultades, Institutos de investigación, Rectoría, Escuelas de la UNAM, Bibliotecas, etc., que necesitan de un nuevo enlace.

De ahora en adelante para conectar un nuevo servicio lo único que se hace es consultar los datos necesarios en una computadora y dar una probable solución, en el menor tiempo posible, sin tener que salir al local para verificar las fibras libres ;esto atrasaría la atención a la dependencia, es decir, en vez de realizar dos visitas al lugar donde se proporcionará el servicio, todo el trabajo se realizaría en un mismo día. Esto nos confirma la necesidad de una base de datos, donde se englobe la información del estado de los nodos que componen la Red de fibra óptica de C.U.

En cuanto al trabajo realizado en los primeros capítulos, se puede decir que es un documento de consulta importante para los estudiantes de Ingeniería

Electrónica con módulo en comunicaciones, y para los estudiantes de Ingeniería en Telecomunicaciones, puesto que la literatura existente se encuentra, en su gran mayoría, en inglés en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería y en la biblioteca de DGSCA, siendo éstos a veces muy específicos y no engloban todos los temas mencionados.

Este trabajo conjunta en sus cinco capítulos la información necesaria para adquirir conocimientos sobre enlaces de fibra óptica, los diferentes dispositivos que lo conforman, así como información de la tecnología actual.

1. H. Jórdón y R. Linares, "Sistemas de comunicaciones por fibras ópticas", Alfaomega, México, 1995.
2. H. Zanger y C. Zanger, "Fiber Optics, Communication and other applications", Macmillan Publishing Company, EUA, 1991.
3. Robert G. Winch, "Telecommunication Transmission Systems", Mcgraw-Hill, EUA, 1993.
4. Allen H. Cherin, "An Introduction to Optical Fibers", McGraw-Hill, EUA, 1983.
5. Ing. F. Navarrete Montes de Oca, "V Curso Internacional de Capacitación en Ingeniería de Transmisión Digital", Telecomm Jica, México, 1993.
6. Ing. G. Villalon A., "Curso internacional: Ingeniería en transmisión digital, F.O.", Telecomm México, 1991.
7. F. Navarro y R. Linares, "Telecomunicaciones por fibra óptica", IPN, Escuela Nacional Superior de Ing. Mecánica y Eléctrica, 1994.
8. Shelly & Cashman & Pratt, "Access 7 Complete concepts and techniques",EUA, 1997.
9. R. M. Chordá, "Domine Microsoft, Access para Windows 95", Ra-Ma, España, 1996.
10. Francisco Pascual, "Access para Windows 95", Ra-Ma, Madrid España, 1997.
11. Roger Jennings, "Using Access 95", QUE,EE.UU., 1995.
12. Jügen Bär e Irene Bauder, "El gran libro de Access para Windows 95", Marcombo, Barcelona España, 1996.

DIRECCIONES ELECTRONICAS

<http://www.netoptics.com>

<http://www.bell-labs.com>

<http://www.systimax.com.mx>

<http://www.panduit.com>

<http://www.lucent.com>