

76
24



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**UTILIZACION DE LA FIBRA OPTICA EN LA RED
INTEGRAL DE TELECOMUNICACIONES DE LA UNAM**

TRABAJO DE SEMINARIO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

RENE MIRANDA JAIMES

ASESOR: ING. FRANCISCO TELLITUD LOPEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

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

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLAN

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
PRESENTE.



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES
AT'N: ING. RAFAEL RODRIGUEZ CEBALLOS
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES-C.

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

Comunicaciones.

Utilización de la fibra óptica en la Red Integral de
Telecomunicaciones de la IFAI.

que presenta el pasante: René Miranda Jaimes

con número de cuenta: 9962188-3 para obtener el Título de:
Ingeniero mecánico Electricista

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

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautilán Izcalli, Edo. de México, a 26 de marzo de 1996

MODULO:

Módulo I

Módulo II

Módulo III

PROFESOR:

Ing. Alfonso Contreras M.

Ing. Juan González Vega

Ing. Francisco Tellitud L.

FIRMA:

DEP/VORISEM

Dedico este trabajo:

A mi padre por el ejemplo y a mi madre por la paciencia.

A mi gran familia.

A todas las personas que han estado a mi lado en todo momento.

Quiero agradecer:

A la Universidad Nacional Autónoma de México por la formación.

A la Dirección de Telecomunicaciones Digitales por los conocimientos.

Indice

Introducción	1
Capítulo 1 Fundamentos de la fibra óptica	2
Capítulo 2 Sistemas de comunicación mediante fibra óptica	7
Capítulo 3 Utilización de la fibra óptica en las telecomunicaciones de la UNAM	10
Capítulo 4 Cálculo del presupuesto de potencia y el tiempo de elevación para un enlace de fibra óptica	36
Apéndice A Características de la fibra óptica	42
Apéndice B Red Digital Integrada (RDI)	45
Bibliografía	47

Introducción

En la última década la mayoría de las comunicaciones electrónicas eran conducidas en cables de cobre, como cable coaxial, par trenzado o guías de onda de cobre. En años recientes, un nuevo medio de transmisión ha sido introducido: la fibra óptica. En las comunicaciones mediante fibra óptica, las señales de luz reemplazan las señales eléctricas. Aunque existen diferencias entre las señales ópticas y las señales de comunicación electrónicas, ambas caen en la categoría de ondas electromagnéticas.

Al igual que las ondas de radio, las ondas de luz son formas de energía electromagnética, la idea de transmitir información utilizando la energía lumínica como portadora no es reciente. Alexander G. Bell, luego de construir el primer teléfono hace más de un siglo atrás, inventó en 1880 el fonógrafo, el cual transmitía mensajes vocales a través de un haz de luz. Las ondas de luz no tuvieron aplicación práctica ya que se carecía de una fuente lumínica adecuada y de un medio de transmisión con bajas pérdidas.

Con una demostración del rayo láser en 1960, comenzó nuevamente a ponerse atención sobre la idea de utilizar el haz de luz como medio de comunicación seguro, de gran velocidad y capacidad. Los esfuerzos por utilizar el rayo láser en las comunicaciones se vieron limitados debido a que la transmisión a través de la atmósfera depende de la visibilidad directa, es decir, requiere una exacta precisión de puntería y es severamente restringida por la niebla y las condiciones atmosféricas adversas.

Durante los últimos años se han obtenido resultados significativos en el campo de los sistemas de transmisión ópticos. Se han puesto en servicio numerosos sistemas de transmisión utilizando fibra óptica. Esto es debido a las mejoras en la fabricación de fibras ópticas y de cables, el desarrollo de nuevas técnicas de evaluación de los cables ópticos y el establecimiento de normas de diseño de los mismos.

Fundamentos de la fibra óptica

Principales características del cable de fibra óptica

Las principales características de un cable de fibra óptica son las siguientes:

1. El cable de fibra óptica posee muy bajas pérdidas en comparación con los cables convencionales. En consecuencia la separación entre repetidores en una línea de transmisión óptica puede ser varias veces mayor a la necesaria en el caso de cables comunes.
2. Es de reducido tamaño y tiene una amplia respuesta en frecuencia de banda base. Pueden propagarse simultáneamente en una fibra, ondas ópticas de varias longitudes de onda. Se cuanta, en definitiva, con la capacidad de transmisión sumamente elevada.
3. Puede tener una línea de transmisión altamente confiable ya que la fibra no es afectada por acoplamientos eléctricos ni magnéticos debidos a cables de tensión o fenómenos atmosféricos.
4. Las características de transmisión son muy poco alteradas por cambios en la temperatura, siendo necesarias y/o simplificadas la equalización y compensación de las variaciones en tales prioridades.
5. En general la diafonía entre fibras no es problema.
6. Pueden fabricarse cables muy livianos ya que el peso específico del vidrio es la cuarta parte del peso específico del cobre.
7. La materia prima utilizada en la fabricación de la fibra óptica, el SiO_2 , es uno de los recursos que más abundan en la superficie terrestre.

Todos estos rasgos característicos del cable de fibra óptica se han dado comparados con los de un cable convencional. A diferencia de los cables convencionales, la fibra óptica mantiene características de transmisión de banda ancha y reducidas pérdidas, independientemente del tamaño, debido a una reducción de impurezas y fluctuaciones térmicas y con un estricto control del índice de refracción. Se han obtenido tales resultados tras mejorar el proceso de fabricación de la fibra.

El campo de aplicaciones del cable de fibra óptica es muy amplio a causa de las propiedades inherentes, tal como ya ha sido explicado. En la siguiente tabla se esquematiza las características de la fibra óptica como medio de transmisión en varias áreas de aplicación.

Características de la fibra óptica	Ventajas como medio de transmisión	Principales áreas de aplicación
Diámetro reducido Peso reducido Excelente flexibilidad Inmune a la inducción electromagnética Bajas pérdidas Gran ancho de banda	Buen factor de espacio Uso efectivo del plantel exterior Aumento en capacidad del núcleo Flexibilidad en la construcción Mayor distancia entre repetidores Capacidad de transmisión elevada	Enlaces interurbanos Enlaces interoficina Cable submarino CATV Cableado interno en la central telefónica Cableado de abonados Enlace de datos Circuitos cercanos a líneas de alimentación de energía

Tabla 1.1

En el apéndice A se habla más acerca de las características de la fibra óptica.

Estructura básica y clasificación del cable de fibra óptica

En la siguiente figura se esquematiza la estructura de la fibra. En ella se observa que dentro de la fibra se distinguen dos regiones con diferentes índices de refracción. Una de ellas, en el interior de la fibra, constituye el denominado núcleo (core), mientras que la otra, que recubre la anterior, es llamada revestimiento (cladding). Es necesario que el índice de refracción n_1 del núcleo sea mayor que el n_2 correspondiente al revestimiento.

Estructura física de una fibra óptica

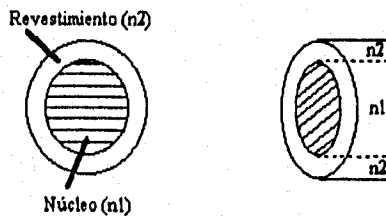


Figura 1.2

Las ondas ópticas se propagan en el núcleo de la fibra sujetas al principio de reflexión total. Dentro de esta estructura, semejante a una guía de onda, las ondas ópticas tienen ángulos de propagación discretos específicos, los cuales se determinan en base a las relaciones de fase de las ondas ópticas a lo largo y normal al eje de la fibra. Las ondas que satisfacen dichas relaciones se denominan "modo".

El número de modos que se propagan en la fibra se determinan según: la longitud de onda óptica, la diferencia del índice de refracción entre el núcleo y el revestimiento, perfil del índice de refracción del núcleo, y dimensiones del núcleo. La fibra que admite un solo modo se denomina fibra monomodo (singlemode fiber) y aquella que admite varios modos se llama fibra multimodo (multimode fiber).

Según el tipo de perfil del índice de refracción del núcleo, la fibra multimodo se clasifica en índice escalón (step-Index) e índice gradual (graded-index). La fibra de índice gradual, que tiene un perfil casi parabólico, posee características de banda ancha ya que en tal tipo de fibras las diferencias de velocidad de propagación entre modos son pequeñas. En la fibra monomodo no se producen los problemas peculiares de la fibra multimodo pues sólo puede propagarse un único modo. Sin embargo, las reducidas dimensiones del núcleo de la fibra de modo único provoca pérdidas, en los puntos de unión entre fuentes de luz y cable y en las conexiones entre cables. En general los diámetros del revestimiento y del núcleo de la fibra oscilan entre 100 y 300 micrómetros y 5 a 100 micrómetros respectivamente. Para la fibra multimodo de índice gradual se ha adoptado en forma internacional 125 micrómetros para el diámetro del revestimiento y 50 micrómetros para el diámetro del núcleo.

Teoría de propagación de la fibra óptica.

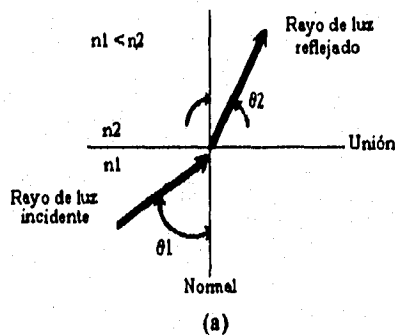
Las ondas ópticas que se propagan a lo largo del núcleo se reflejan en el límite núcleo-revestimiento. Este hecho se grafica en la siguiente figura. Se observa una onda óptica que incide, desde un medio de alto índice de refracción, a uno de bajo índice. En el límite, una parte del rayo es reflejada y el resto es transmitido. Sin embargo cuando el haz incide con un ángulo mayor que el crítico $\theta_c = \text{arc sen}(n_2/n_1)$ todo el haz es reflejado.

La ley de Snell indica que la refracción no puede tener lugar cuando el ángulo de incidencia es muy grande (por ejemplo, cuando la luz viaja de un índice alto a un índice menor). Si el ángulo de incidencia excede el valor crítico, en donde el seno del ángulo es

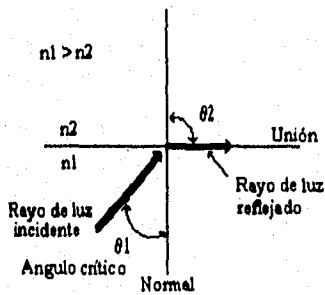
igual a 1, la luz no se refracta. Todo el rayo es reflejado cuando el ángulo de incidencia es más grande que el ángulo crítico. este fenómeno se llama Reflexión Interna Total y mantiene a la luz confinada dentro de una fibra óptica. El ángulo crítico, con el cual se da lugar a la reflexión interna total se deriva de la ley de Snell:

$$\text{ángulo crítico} = \text{ángulo seno } (n_1/n_2)$$

Modelo refractivo para la ley de snell



Reflexión en ángulo crítico



Luz incidente en un ángulo mayor que el ángulo crítico

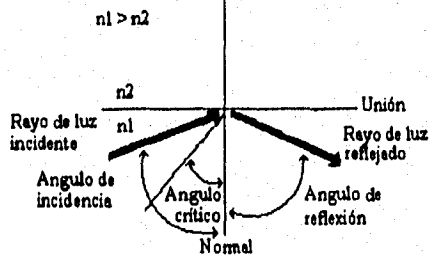


Figura 1.3

Dicho fenómeno puede observarse frecuentemente, por ejemplo en el linde entre el aire y el agua. De esta manera, aquella onda óptica con un reducido ángulo de propagación con respecto al eje de la fibra, queda confinada en el núcleo y se propaga a lo largo de dicho

eje. En general, el ángulo crítico en las fibras ópticas utilizadas para la transmisión caería entre 75° y 85° . Esto significa que pueden transmitirse a través de las fibras aquellas ondas ópticas con ángulos de propagación entre 0° y 15° .

Aún cuando la fibra es doblada, con un radio de curvatura grande, la onda se propaga sin pérdidas apreciables. Sin embargo, a medida que el radio de curvatura es reducido, las pérdidas aumentan considerablemente. Esto se debe a que, cuando el ángulo de propagación es cercano a $\pi/(2-\theta_c)$, en la porción curvada se excede dicho valor y la onda óptica se interna en la región del revestimiento provocando las pérdidas.

Características de transmisión en la fibra óptica

Las principales características de transmisión en la fibra óptica son:

1. Pérdida óptica:

- 1a. pérdida óptica intrínseca de la fibra óptica.
- 1b. pérdida debido a curvatura de la fibra.
- 1c. pérdida de conexión de fibras.
- 1d. pérdida de acoplamiento entre fibras y dispositivos ópticos, fuente óptica a la entrada y detector a la salida.

2. Respuesta en frecuencia de la banda base.

Pérdidas en la transmisión de la fibra óptica

Las pérdidas intrínsecas en la fibra son debidas a la dispersión y a la absorción de las ondas ópticas que se propagan en la fibra. Los principales factores son:

1. Dispersión de Rayleigh. Se debe a fluctuaciones microscópicas del índice de refracción en el núcleo, siendo estas pérdidas inversamente proporcionales a la longitud de onda.
2. Absorción debida a impurezas tales como iones OH e iones metálicos de transición. En cuanto a la absorción debida a iones OH, el pico fundamental de absorción se encuentra a una longitud de onda de 2.8 μm , mientras que la segunda y tercera armónicas aparecen en 1.4 μm y 0.94 μm respectivamente. Sin embargo recientes mejoras en la tecnología de fabricación de las fibras, que previenen la introducción de iones OH en la fibra, reducen considerablemente las pérdidas.
3. Absorción intrínseca en las regiones infrarroja y ultravioleta.
4. Radiación y dispersión debidas a imperfecciones en la estructura de la fibra.

Sistemas de comunicación mediante fibra óptica

Un sistema de comunicación se encuentra siempre que surja la necesidad de transmitir información de un punto a otro, y durante los últimos años han aparecido muchas formas de sistemas para realizar esta tarea. Las principales motivaciones para generar tales sistemas y para su evolución han sido mejorar la fidelidad en la transmisión, incrementar la velocidad de transferencia de información, e incrementar la distancia entre repetidores, entre otras.

En su forma más elemental, un sistema de comunicación consta de los siguientes elementos: un transmisor un medio de comunicación y un receptor. El primero tiene como función el procesar el mensaje a ser transmitido, modificarlo y convertirlo en una señal eléctrica u óptica de tal modo que puede enviarse a través del medio de comunicación; el receptor se encarga de recibir dicha señal, convertirla y modificarla para recuperar el mensaje original. Ver figura 2.1.

Elementos fundamentales de un sistema de comunicación

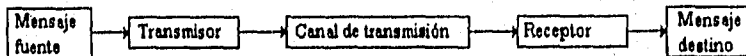
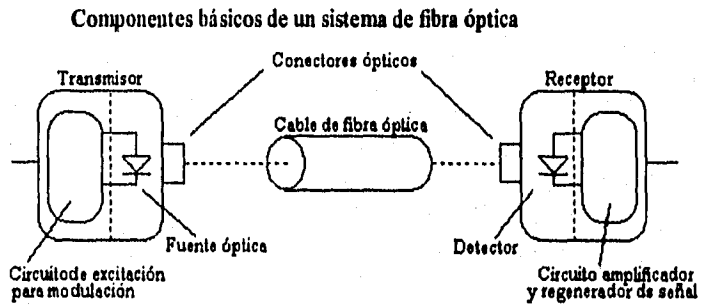


Figura 2.1

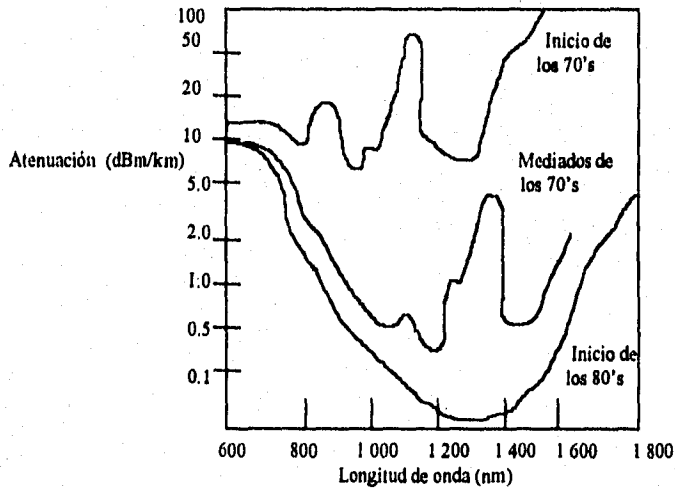
Es parte importante entonces, en un sistema de comunicación, el mensaje o la información a transmitir y las modificaciones que sufre para poder ser enviada de un lugar a otro. Las fibras ópticas tienen menores pérdidas de transmisión y mayores anchos de banda que los cables de cobre. Además de ser ligeros y de bajas dimensiones. Una característica importante de las fibras ópticas es su naturaleza dieléctrica. Esto provee guías ópticas a la interferencia electromagnética, tal como rayos y radiación de equipos.

Elementos de un enlace de transmisión con fibra óptica

En la figura 2.2 se ilustra en forma esquemática la construcción básica de un sistema de transmisión por medio de cable de fibra óptica. En un sistema de transmisión óptico, la fuente óptica y el detector, que operan como convertidores (eléctrico/óptico), así como la fibra óptica, son los elementos básicos más importantes. En especial, cumple un papel muy importante en la construcción del sistema, el desarrollo de diodos láser tan pequeños en tamaño como transistores.



La instalación de cables de fibra óptica puede ser aérea, en ductos, submarina, o enterrada directamente en la tierra. La longitud en las diferentes instalaciones varía de metros a cientos kilómetros de distancia. Una de las principales características de la fibra es su atenuación como función de la longitud de onda, como se muestra en la figura 2.3. Inicialmente se hizo uso exclusivo de la banda de 800 a 900 nm, dado que en esta región las fibras hechas en ese tiempo exhibían un mínimo en la curva de atenuación, y se disponía de fuentes óptica y fotodetectores a estas longitudes de onda. Mediante la reducción de concentración de iones de hidróxido y de impurezas metálicas, los fabricantes obtuvieron fibras con muy bajas pérdidas en la región de 1,100 a 1,600 nm.



Las primeras aplicaciones de la tecnología de fibras ópticas se centró en enlaces digitales punto a punto. Esta primera generación de enlaces ha sido diseñada para velocidades de 2 a 50 Mbits por segundo. Los componentes electro ópticos usados en este sistema operan en la región de 810 a 890 nm, en donde la pérdida nominal es de 4 a 6 dB/km después de instalación y empalme. Esto permite repetidores de cada 5 a 10 km., la segunda generación de sistemas opera a 1.3 micrómetros en donde las pérdidas son de alrededor de 1 dB/km.

Además de aplicaciones en telecomunicación, se han instalado fibras ópticas en plantas de generación de energía eléctrica. Estos enlaces son usados para transmitir información de protección, supervisión, y control, que son extremadamente importantes en las grandes plantas de energía.

Utilización de la fibra óptica en las telecomunicaciones de la UNAM

Red Integral de Telecomunicaciones UNAM

En la actualidad, la Universidad Nacional Autónoma de México ya está inmersa en la era de la información. Las necesidades de comunicación son grandes y la máxima casa de estudios ha sabido afrontarlas. Para llevar a cabo esto, se creó el proyecto de la Red Integral de Telecomunicaciones. El objetivo principal fué el de conjuntar las tecnologías de comunicación de voz, datos y video. De esta manera, la UNAM cuenta hoy con una Red de Telefonía Digital y con la Red de datos mejor conocida como RedUNAM, además de un sistema de Videoconferencias multipunto.

La Red Integral de Telecomunicaciones de la UNAM posee una estructura distribuida, la cual le permite intercomunicar voz, datos y video en forma digital entre las dependencias de la UNAM, ya sea en Ciudad Universitaria, en el área metropolitana o en el interior de la República Mexicana, además permite la comunicación con otras instituciones independientemente de su ubicación.

Para una red de tal importancia se requiere de un medio de transmisión que cumpla con los más altos requerimientos de confiabilidad, ancho de banda y velocidad, para el óptimo desempeño de la misma. Es en este punto donde la fibra óptica encuentra su razón de ser en la Red Integral de Telecomunicaciones, así como en casi todas las redes y sistemas de comunicación más grandes e importantes del mundo.

Las aplicaciones de la fibra óptica dentro de la UNAM son muy variadas, tanto en tipos de fibra como en la forma en que es utilizada, contemplando los diversos dispositivos y equipos que utilizan la fibra óptica como medio de transmisión.

A continuación veremos, primeramente, un aspecto general de la red de fibra óptica en la UNAM, para después profundizar un poco en las redes de voz, datos y video, existentes en Ciudad Universitaria, y finalmente hablaremos de los enlaces con los campus universitarios en el área metropolitana e interior de la República, mismos que en conjunto con Ciudad Universitaria forman parte de la Red de Area Ancha de la UNAM (Wide Area Network).

La red de fibra óptica en la UNAM es muy extensa y hay enlaces en casi todos los edificios que forman parte de Ciudad Universitaria, estos enlaces son todos mediante fibra óptica multimodo, excepto dos enlaces que son con fibra monomodo.

Debido a que las topologías de red de voz y datos coinciden en sus nodos principales se utilizan los mismos cables de fibra para la comunicación entre ellos, considerando tener varias fibras en cada cable.

En forma general se utilizan cables de cuatro, ocho y doce fibras, siendo los de ocho fibras los más comunes, de hecho son aproximadamente el 85% del total de fibra en la UNAM, ya que en un principio fueron estos los que se instalaron en mayor número, aunque actualmente se instalan para nuevos enlaces cables de doce fibras. La distribución de las fibras en los cables de ocho es la siguiente: cuatro fibras para telefonía, dos fibras para datos y dos fibras de respaldo, en donde las fibras de respaldo suelen utilizarse para los enlaces de videoconferencia que se llevan a cabo en la UNAM. Cabe señalar que dependiendo de la demanda de servicio en cada nodo, ya sea en voz, datos y video, existen uno o más cables de fibra de enlace y estos pueden ser de diferente número de fibras, es decir, si se requiere crecer en capacidad en un enlace, ya sea por que se requieran comunicar más troncales telefónicas, o por que se necesite establecer otro enlace de datos con alguna dependencia, y ya no existen pares de fibra libres, se proyecta un nuevo enlace con otro cable.

Como ya se mencionó el número de fibras por cable puede variar, así como también la marca del cable, es decir, que sea de diferente fabricante, pero lo que debe ser igual en todos los cables son las especificaciones de comunicación, tales como la atenuación, diámetros de la fibra, y resistencias mecánicas de instalación y operación. A continuación veremos una descripción de los diversos tipos de fibra utilizados tanto en planta externa, como en planta interna, es decir, en exteriores e interiores respectivamente. También mencionaremos algunas consideraciones importantes para los enlaces, como son las caualizaciones y empalmes de los cables de fibra óptica.

Enlaces con cable de fibra multimodo

Planta externa

Tipo de cable

Los cables utilizados en todos los enlaces entre nodos y edificios en lo que a exteriores se refiere es cable armado con elemento central de acero, ya sea de cuatro, ocho o doce fibras, en su mayoría de marca Siecor y AT&T, como se muestra en la figura 3.1, con las siguientes especificaciones:

Tamaño de la fibra: 62.5 / 125 μ m

Cubierta del cable: Polietileno de media densidad

Longitud de onda	850 nm	1300 nm
Máxima atenuación	3.5 dB/km	1.0 dB/km
Mínimo ancho de banda	160 MHz·km	500 MHz·km

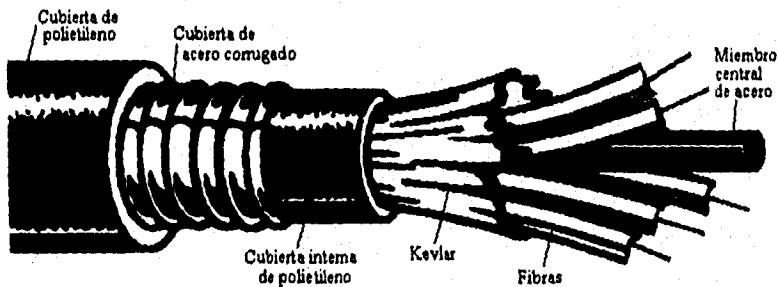


Figura 3.1

Las especificaciones se muestran para dos longitudes de onda diferentes, ya que los diferentes equipos de transmisión y recepción pueden manejar uno u otro parámetro, o los dos, pero siempre debe ser el mismo en el transmisor y en el receptor. Generalmente cuando los equipos manejan ambos, el usuario puede seleccionar el parámetro que mejor se adapte a sus necesidades, dependiendo siempre del tipo de enlace y distancia, entre otras cosas.

Número de fibras	Diámetro del cable (mm)	Peso del cable (kg·km)	Carga máxima de tensión ¹		Radio mínimo de curvatura ²	
			Instalación (N)	Largo plazo (N)	Instalación (cm)	Largo plazo (cm)
4	12.1	162	2700	600	22.5	15.0
8	12.9	186	2700	600	22.5	15.0
12	12.9	186	2700	600	22.5	15.0

¹ El término de instalación señala la máxima tensión a la que se puede someter durante el tendido del cable, y el término de largo plazo señala la máxima tensión a la que se puede dejar el cable una vez instalado para su operación.

² El término de instalación señala el mínimo radio de curvatura permitido al cual se puede someter el cable durante la instalación, y el término de largo plazo el mínimo radio de curvatura para el cable ya instalado.

La elección de un cable de uso en exteriores obedece principalmente a que la ductería en la cual va a ser instalado es generalmente ductería enterrada en la cual las condiciones de medio ambiente son muy húmedas y en ocasiones sufren inundaciones.

Además el armado de acero sirve para defender el cable de roedores que pudieran habitar en las mismas ducterías y que en ocasiones roen la cubierta del cable. Otra razón para elegir un cable armado con elemento de tensión y cubierta rígida, es que los hilos de fibra estén bien protegidos durante todas las maniobras de instalación.

Canalización y ductería

En los casos en que ya exista ductería para el enlace, se tiene que verificar el estado de la misma, esto implica una revisión de la ocupación actual de los ductos para determinar si existe capacidad para instalar el cable o si es necesario construir una nueva canalización. En la revisión se analiza también el estado de los pozos, los cuales deben estar en condiciones óptimas de limpieza, es decir, que no exista basura o plantas que puedan obstruir los trabajos de mantenimiento y de nuevos cableados, así como que cuenten con sus tapas en buenas condiciones, lo cual significa, que no estén rotas, que estén pintadas e identificadas para la fácil localización del pozo.

Las canalizaciones para los cables de fibra óptica pueden ser de varios tipos, dependiendo del tipo de suelo en que se vayan a construir. Estas variaciones son por ejemplo, el tipo de ducto a utilizar, el tipo de pozo a construir y la profundidad a la que serán enterrados los ductos. Dentro de los ductos utilizados tenemos el ducto cuadrado de cuatro vías de 4" de diámetro cada vía (figura 3.2), el cual se utiliza comúnmente en las trayectorias principales de la red, en el cual se designa una vía exclusivamente para el cable de fibra, una vía para cableado telefónico, y las otras vías para futuros enlaces y mantenimiento de la red; el otro tipo de ducto utilizado es el ducto de PVC pared gruesa tipo pesado de 4" de diámetro.

Este ducto por lo general se utiliza para las acometidas de la red principal hacia el edificio, en el cual se pretende llevar la fibra.

Ducto cuadrado de cuatro vías

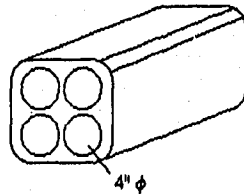


Figura 3.2

La profundidad del foso en el cual se enterraran los ductos varía dependiendo del área en que se pretenda excavar. En calles y vías públicas en donde el peso a soportar es considerable, se manejan profundidades de hasta 1m, mientras que en áreas donde no hay tránsito de gente ni de vehículos, la profundidad no sobrepasa los 50 cm. El tipo de suelo en el que se tenga proyectada la trayectoria también influye en la realización y costo de los fosos, ya que si es un suelo muy rocoso, es muy cara la excavación y siempre se trata de evitar este tipo de terrenos, aunque no siempre se puede. Mientras que en terrenos blandos, la excavación es más rápida y menos costosa. En la figura 3.3, se muestra un esquema de la profundidad de los fosos.

Foso de canalización

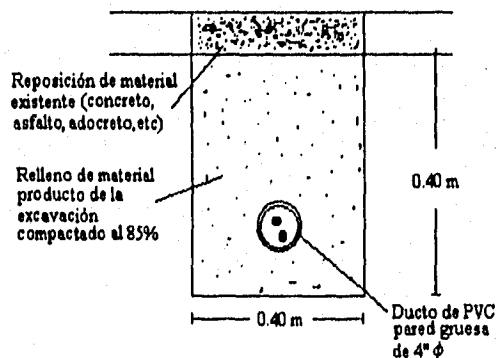


Figura 3.3

Las dimensiones de los pozos varían dependiendo de la función para la cual sean proyectados, si se piensa en un pozo de paso, es decir, un pozo el cual sólo se utilizará como punto intermedio en el proceso de cableado, las dimensiones no serán mayores a 60 x 80 cm, pero si se considera la construcción de un pozo de derivación, que es un pozo de donde partirán más de dos trayectorias, o que se tiene contemplado algún empalme del cable, las dimensiones serán mayores.

En ambos casos los pozos deben ser preferentemente de tabique con acabado pulido en el interior, aunque también pueden ser de concreto armado con el mismo tipo de acabado interior. En la figura 3.4, se muestra el diagrama de un registro de paso.

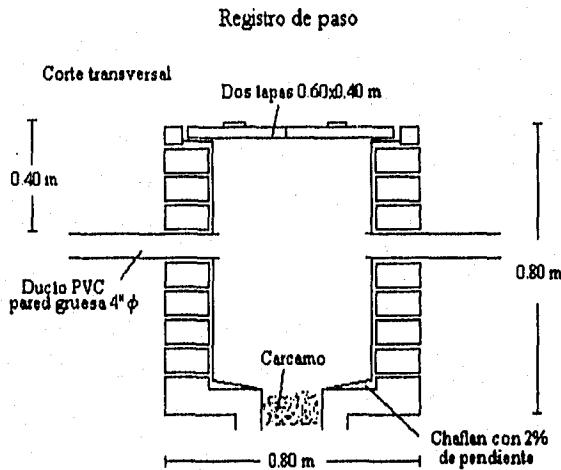


Figura 3.4

Los pozos deben contar con un carcamo relleno de arena y tezontle para drenar las aguas pluviales que pudieran filtrarse, así como dos tapas de concreto de 60 x 40 cm, con marco y contramarco las cuales deben estar pintadas para su identificación. La distancia entre pozos debe ser de 40 m como máximo en línea recta o antes si algún desnivel muy marcado se presenta en el terreno por donde se trazó la trayectoria, también se debe considerar un pozo en cada cambio de dirección.

Finalmente, para la acometida en edificio se utilizan registros metálicos de lámina galvanizada con fondo de madera de 60 x 60 x 15 cm, los cuales se conectan a la canalización mediante tubo tipo conduit de pared gruesa de 2" de diámetro como mínimo.

Estas dimensiones del registro metálico garantizan un radio de curvatura para el cable de 30 cm, lo cual es requisito para el remate del mismo. En la figura 3.5, se muestra la forma correcta en la que el cable debe estar en los registros. La conexión con la canalización externa se realiza hacia el pozo más cercano al edificio, el cual siempre se pretende construir lo más cercano posible al sitio donde se colocara el registro metálico.

Para concluir lo que a canalización y ductería se refiere, hay que mencionar que es necesario dejar cierta longitud de cable en cada pozo y registro, para tener holgura por posibles fallas o rompimiento del cable, ya sea en la instalación o en operación, esta holgura del cable permite en determinado momento tener cable suficiente en los pozos o registros para hacer un empalme. Esta longitud varía dependiendo del pozo, si se tiene un pozo de paso se debe dejar aproximadamente 1 m de cable, en pozos de derivación se debe dejar una vuelta de aproximadamente 1.5 o 2 m, en ambos casos el cable debe quedar fijo, engrapandolo a las paredes del pozo, para evitar que éste se mueva o se maltrate en algún mantenimiento a los pozos. En el caso de los registros metálicos también se debe considerar una o dos vueltas de cable el cual debe ir engrapado al fondo de madera.

Colocación correcta del cable de fibra óptica en registros metálicos

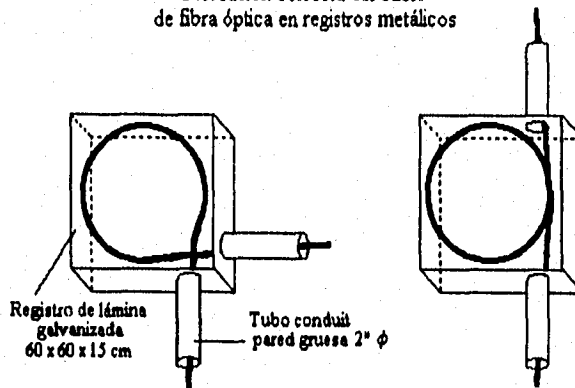


Figura 3.5

Empalmes

Cuando se requiere de un nuevo enlace de fibra óptica en la Red Integral de Telecomunicaciones, la UNAM compra la fibra y contrata a algún proveedor para su instalación, en ocasiones los tramos de cable no dan la longitud requerida, por lo que se tienen que empalmar dos tramos de cable. Existen básicamente dos técnicas de empalmes para los cables de fibra óptica: los empalmes mecánicos y los empalmes por fusión. En la UNAM se usan mayormente los empalmes por fusión, ya que las distancias de los enlaces dentro de Ciudad Universitaria son considerables, como para utilizar un empalme mecánico, el empalme por fusión garantiza la menor pérdida por empalme, aunque incrementa el costo del enlace considerablemente, mientras que los empalmes mecánicos, presentan pérdidas aceptables para las distancias cortas.

• Empalmes mecánicos

Cuando se tienen enlaces de corta distancia donde se pueden tolerar pérdidas considerables se utilizan empalmes mecánicos, en los cuales las fibras son unidas a través de medios mecánicos, como ranuras en forma de "V", varillas (acero o vidrio) o esferas.

El método de varillas es uno de los primeros métodos utilizados de empalmes mecánicos. Por lo general se utilizan tres varillas de acero o vidrio acomodadas según la figura 3.6, para que en el orificio central queden alineadas las fibras a unir.

Se puede agregar una sustancia epóxica para adherir las fibras y además actuar como acoplador óptico. Las varillas son de un diámetro mucho mayor que el de la fibra y deben tener dimensiones muy precisas con tolerancias menores a $0.04 \mu\text{m}$.

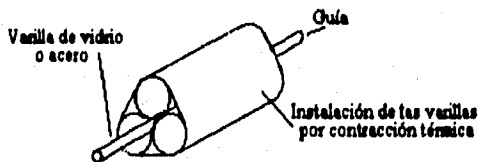


Figura 3.6

Se tienen otros tipos de empalmes utilizando cuatro y seis varillas, con lo cual se tienen más puntos de alineamiento y menor volumen en el empalme.

Existen otros métodos mecánicos como el método de ranura en V, el cual es el más utilizado, en el que las fibras ya cortadas y preparadas se colocan en ambos extremos de una ranura acanalada en forma de V, que alinea las fibras para su unión, y se agrega un adhesivo con un índice de refracción igual al del núcleo de la fibra. La unión se logra mediante una tapa que sujete las fibras, manteniéndolas en contacto.

El material acanalado puede ser silicón, plástico, material cerámico, acero o aluminio. Las fibras se unen en la mitad del canal y se ponen en contacto con la ayuda de bloques móviles, supervisando la unión ya sea a simple vista o con una lupa. Existen distintos tipos de empalme con el método de ranura en "V". El más sencillo utiliza una tapa plana, como se muestra en la figura 3.7a. También puede utilizarse una tapa con otra ranura en "V", como se muestra en la figura 3.7b e inclusive existe un diseño con tres secciones ranuradas, este ofrece una alineación de la fibra en forma más precisa con la desventaja que requieren más piezas de precisión, lo cual eleva su costo, ver figura 3.7c.

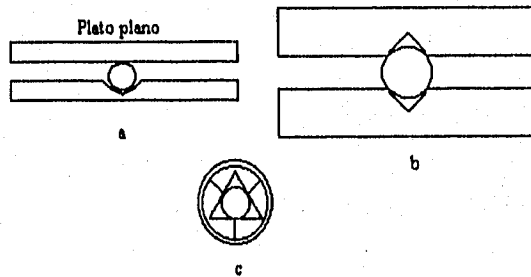


Figura 3.7

Este método tiene la limitante de unir sólo fibras con diámetros de revestimiento iguales y con una alta concentricidad. Las ventajas del método son: su facilidad y rapidez de elaboración. La pérdida por empalme es de hasta 1 dB.

• Empalme por fusión

El empalme por fusión es el método más utilizado y consiste en aplicar calor en una zona específica entre las fibras a unir, suavizándolas y fusionándolas. Las fibras deben prepararse precisamente en sus extremos quitándoles las cubiertas secundaria y primaria, cortando las caras de los extremos para que estén planas y perpendiculares al eje y limpiando la grasa y polvo. A continuación se monta ya sea en una base ranurada o en sujetadores controlados por microposicionadores accionados por motores o manualmente, con la libertad de poder moverse en la tres direcciones para obtener un alineamiento óptimo, supervisado mediante un microscopio.

Cuando los extremos de las fibras presentan imperfecciones pueden generarse burbujas de aire y deformaciones del núcleo durante la elaboración del empalme. Para evitarlo, se hace una prefusión, la cual consiste en aplicar calor durante un lapso muy pequeño de tiempo, mucho menor que el de la fusión, con lo que se redondean los extremos suavizando su superficie, evitando con esto las imperfecciones. Para aplicar calor a la unión se utiliza principalmente un arco eléctrico aunque también se tiene fusión por gas. Para evitar movimientos indeseables de la fibra, ésta es sujeta por un sistema de bloques móviles por sujetadores mecánicos.

El tiempo de fusión y el calor aplicado deben estar cuidadosamente controlados para obtener un empalme eficiente. Para la optimización de este método, se alimenta luz en un extremo de una de las fibras a empalmar y en la otra fibra se recoge la luz de la misma forma. Midiéndola y observándose que en donde la potencia óptica recibida sea mayor se tendrá la alineación óptima de las fibras. Este procedimiento puede efectuarse automáticamente sin intervención del operador.

Mediante el método de fusión se logran atenuaciones por empalme entre 0.2 y 0.1 dB, llegando a tener inclusive menos de 0.01 dB para fibras idénticas.

Para los empalmes en planta externa, independientemente del método utilizado, se utilizan cajas de empalme para proteger los empalmes del ambiente externo y al mismo tiempo tener acceso para efectuar algún mantenimiento sobre los empalmes cuando sea necesario. Son altamente resistentes a la humedad, a la corrosión, a esfuerzos mecánicos y a temperaturas extremas, lo cual garantiza la duración de los empalmes. En la figura 3.8 se muestra una caja de empalme abierta y antes de instalarla, y en la figura 3.9 se muestra una caja de empalme ya instalada en un registro metálico.

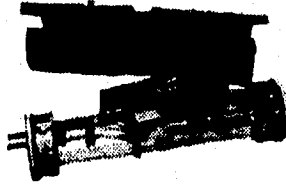


Figura 3.8

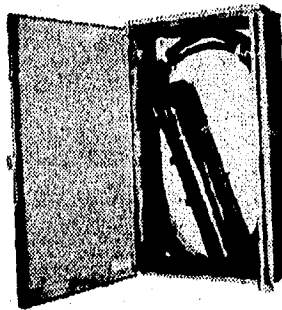


Figura 3.9

Planta interna

Tipo de fibra

Los cables de fibra óptica utilizados para interiores, por lo general deben tener buena flexibilidad y no ser propagadores de flama, pueden contener una o más fibras. Son pocos los enlaces que se realizan con cables de varias fibras en interiores dentro de la UNAM, comunmente se usan cables de una fibra, y ocasionalmente cables de dos fibras. Las marcas más utilizadas son Siecor y AT&T. En la figura 3.10 se muestra la estructura de un cable de una y dos fibras.

Tamaño de la fibra: 62.5 / 125 μm
 Cubierta del cable: PVC

Longitud de onda	850 nm	1300 nm
Máxima atenuación	3.75 dB/km	1.5 dB/km
Mínimo ancho de banda	160 MHz·km	500 MHz·km

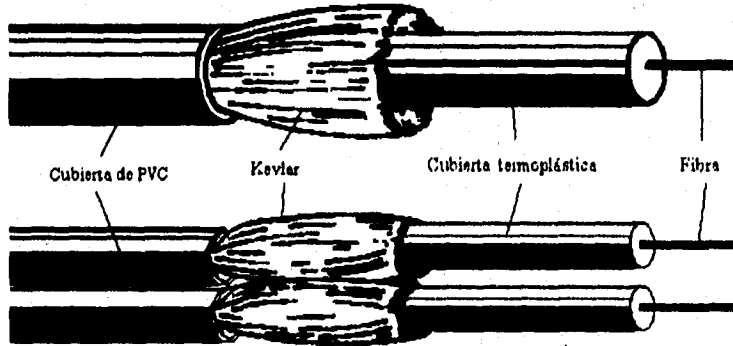


Figura 3.10

Número de fibras	Diámetro del cable (mm)	Peso del cable (kg·km)	Carga máxima de tensión		Radio mínimo de curvatura	
			Instalación (N)	Largo plazo (N)	Instalación (cm)	Largo plazo (cm)
1	2.9	7.8	500	300	5.0	3.0
2	2.9x5.8	15.6	1000	500	5.0	3.0
6	4.8	23	1000	300	7.5	4.8

La longitud del cable de interiores puede ser muy variada, en el caso de los cables de varias fibras, se utilizan cuando se requieren enlaces internos en un mismo edificio y el cual será en ductería para interiores, como se verá más adelante.

Generalmente se llega hasta el local de comunicaciones con cable de fibra para exteriores, el cual se fija, como se vió anteriormente en un registro metálico, y de ahí se lleva hasta el distribuidor de fibra, específicamente a la charola de distribución, en donde se empalman los cables de fibra de interior de una sola fibra. Después las fibras de interior empalmadas se conectan en el otro extremo y se conectan en los coples de conexión de el panel de distribución. Este tipo de remate se usa en los nodos en los que existen varios enlaces de cable de fibra y por lo tanto hay muchas fibras y se requiere de un distribuidor de fibra para su organización. Estos distribuidores pueden tener capacidad para 24, 48 y 72 fibras. En la figura 3.11, se muestra un distribuidor de 72 fibras.

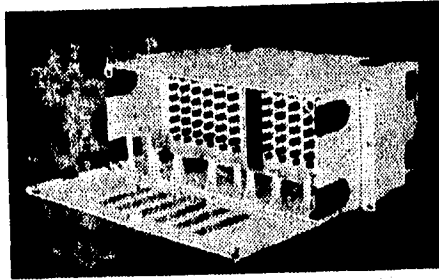


Figura 3.11

En edificios en donde llega un solo cable de ocho o de doce fibras se utilizan otro tipo de distribuidores más pequeños llamados unidades de interconexión de fibra, mejor conocidos como LIU (Lightguide Interconnection Unit), en los cuales se remata directamente el cable de exteriores, conectorizando cada fibra independientemente y conectandolas en los coples ubicados en el panel de distribución del LIU. Estos distribuidores tienen capacidad para conectar hasta doce fibras. En la figura 3.12, se muestra este tipo de distribuidor.

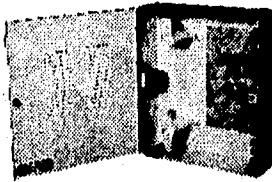


Figura 3.12

Para ambos casos se utilizan cables de fibra de interior de una o dos fibras, conectorizados para hacer la conexión del panel de distribución hacia los equipos, y las longitudes de estos cables es muy variable, dependiendo de la distancia que exista entre el distribuidor y los equipos a conectar. Este tipo de cable comúnmente llamado jumper o patch cord puede ser adquirido conectorizado o también se puede adquirir el cable y conectorizarlo uno mismo, para lo cual se requiere de un kit de herramientas especiales para la conectorización de la fibra.

Ductería

En interiores se utiliza tubo conduit pared gruesa de 2" de diámetro, para conducir el cable de fibra de interior en caso de que se requiera, o también para llevar el cable de fibra de exteriores al cuarto de comunicaciones cuando éste está retirado del pozo de acometida del edificio, con la restricción de colocar registros metálicos de lámina galvanizada de 60x60x15 cm en cada cambio de dirección de la trayectoria para garantizar el radio de curvatura mínimo de 30 cm para el cable de fibra para exteriores, ya que si cumple con los 30 cm no hay problema con el cable de fibra de interiores, el cual requiere de 5 cm.

En los casos en que el distribuidor de fibra y el equipo al cual se va a conectar no estén cerca uno del otro, se puede utilizar canaleta de PVC de una o dos vías para proteger y conducir el cable de un extremo a otro.

Empalmes

Actualmente los únicos empalmes para los cables de fibra de interiores que requieren de algún método elaborado de empalme son los que se realizan en la clarola de distribución de los distribuidores de fibra, en donde cada empalme queda perfectamente organizado y protegido. El método empleado en el de empalme por fusión para garantizar las menores pérdidas posibles. Actualmente el método de empalme por fusión se realiza con gran rapidez gracias a los equipos que se utilizan, por lo que, aunque es más caro que el método mecánico, es más rentable y confiable para los empalmes que se requieran.

El hecho de que no se realicen tantos empalmes en los cables de interior obedece a que es mejor emplear cables de interior de punta a punta para la conexión de los equipos al distribuidor o al LIU. Existen algunos enlaces en los que al cable de fibra de exteriores que llega al registro metálico se le empalman cables de una fibra para hacer la conexión al LIU, pero son pocos y ya no se llevan a cabo, ya que representa un punto más de atenuación y de posibles fallas. Como se mencionó anteriormente, en los nuevos enlaces en los que se vaya a instalar un LIU se conectoriza directamente sobre el cable de exteriores para reiniciar las fibras en el panel de distribución del LIU.

En los paneles de distribución, ya sea del LIU o del distribuidor de fibra, se tienen acopladores de fibra para el tipo de conectores que se estén utilizando, en este caso se utilizan conectores ST, como se verá más adelante. Estos acopladores hacen la función de un empalme, no de fibra con fibra sino de conector con conector, puesto que unen dos cables de fibra de interior conectorizados, alineándolos perfectamente, a una distancia mínima para evitar que existan pérdidas considerables. En la figura 3.13, se muestra un acoplador ST-ST.

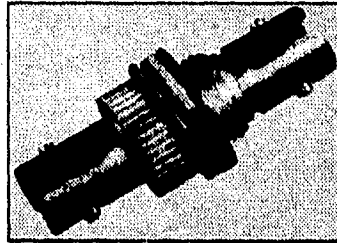


Figura 3.13

Conectores

Los conectores de fibra utilizados en la UNAM, son conectores ST, los cuales son conectores ampliamente utilizado por los equipos de comunicación de datos y otras aplicaciones. Existen diferentes variedades de este tipo de conector en cuanto a materiales de los que están hechos y formas en las que son conectorizados. Los hay de material cerámico los cuales ofrecen el mejor funcionamiento, de material plástico que ofrecen un costo bajo y una buena efectividad y los hay de material de acero inoxidable que garantizan conexiones robustas de larga duración. En la figura 3.14 se muestra un conector ST.

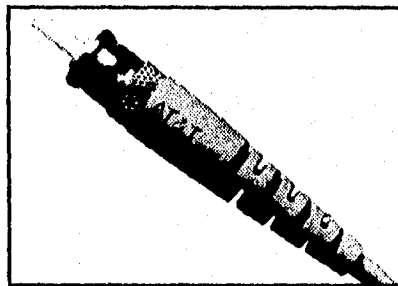


Figura 3.14

La elección de este tipo de conector se debió a que la mayoría de los equipos utilizados en las redes de telefonía y datos, que se conectan a la red de fibra, manejan este tipo de conector como su interfase óptica estándar, aunque algunos equipos ofrecen la posibilidad de otro tipo de conector. Las especificaciones de los conectores ST varían dependiendo del material del que están hechos y del método que utilicen para su conectorización, entre los métodos más utilizados está el de curado con epóxico, en el cual al conectorizar se le agrega un pegamento epóxico al conector y después se seca en un horno especial para que endurezca el epóxico, casi todos los conectores en toda la UNAM han sido realizados de esta manera.

Otro método utilizado en ocasiones es el de LightCrim el cual es un sistema de conectorización el cual no requiere de ningún tipo de pegamento epóxico, ni de horneado, sin embargo, es bastante confiable y rápido de realizar, se asemeja a la conectorización de un cable coaxial.

En ambos casos ya instalado el conector se procede al pulido de la punta del conector, dicho pulido se realiza en varias etapas, con diferentes calibres de abrasivo, hasta lograr un acabado libre de imperfecciones. En la figura 3.15 se muestra un kit de herramientas y consumibles para realizar conectorizaciones de fibra para el método de LightCrim.

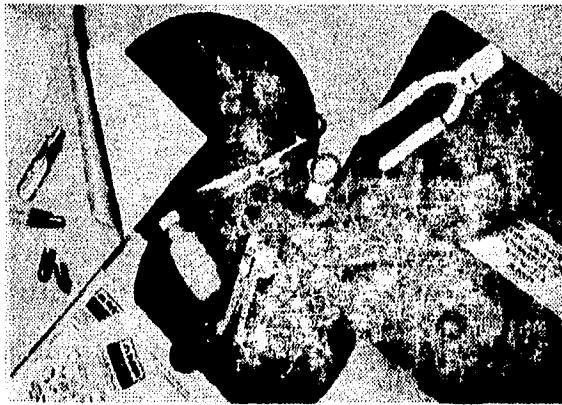


Figura 3.15

Anteriormente también había algunas fibras con conectores bicónicos, los cuales consisten en dos conos concéntricos que se encargan de alinear la fibra, el material del que están hechos es de cerámica encapsulada en metal y la cubierta es de cuarzo combinado con material epóxico. Este tipo de conector presentaba un problema de resistencia mecánica al hacer las conexiones, llegaba a fracturarse la punta al enroscarlo a los acopladores, por lo que se decidió reconectar todas las fibras que tenían conectores bicónicos por conectores ST. Este cambio también se debió a la tendencia de estandarizar los cableados de fibra óptica y a que el conector ST es más comercial y fácil de conectorizar.

Como veremos más adelante, la red de datos tiene como columna vertebral un anillo de FDDI (Fiber Data Distributed Interface), el cual es un anillo redundante de fibra, en donde las fibras están conectadas a equipos ruteadores, los cuales requieren para este tipo de topología un conector especial. Este conector es tipo FSD, el cual es un conector duplex ya que conectoriza dos fibras en el mismo conector, transmisión y recepción. En la figura 3.16 se muestra este tipo de conector.



Figura 3.16

Enlaces con cable de fibra monomodo

Como ya se mencionó antes existen dos enlaces con fibra monomodo, los cuales se utilizan para comunicar cuatro multiplexores de 34 Mbits de los cuales se hablará más adelante, estos enlaces se llevaron a cabo por especificaciones de operación de los multiplexores, los cuales requieren de un gran ancho de banda. Uno de los enlaces es de la Facultad de Arquitectura hacia el Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y Sistemas (IIMAS), mediante un cable de exterior de doce fibras y el otro es de Zona Cultural hacia la Dirección General de Servicios de Computo Académico (DGSCA), mediante un cable de ocho fibras. La marca de dichos cables tanto en exterior como en interior es Siecór y las especificaciones de los cables se muestra a continuación.

Planta externa

Tipo de cable

Cable armado con miembro central dieléctrico

Tamaño de la fibra: 10 / 125 μm

Cubierta del cable: Polietileno de media densidad

Longitud de onda
Máxima atenuación

1300 nm
0.5 dB/km

1550 nm
0.4 dB/km

Número de fibras	Diámetro del cable (mm)	Peso del cable (kg/km)	Carga máxima de tensión		Radio mínimo de curvatura	
			Instalación (N)	Largo plazo (N)	Instalación (cm)	Largo plazo (cm)
8	12.9	186	2700	600	22.5	15.0
12	12.9	186	2700	600	22.5	15.0

Ahora que ya se ha descrito la forma en que se realizan los enlaces de fibra óptica en la UNAM, hablaremos acerca de como se utiliza esta red de fibra para las redes de telefonía, de datos y de videoconferencias, haciendo referencia para ello de los equipos que se utilizan para cada una de estas redes y la forma en que se interconectan para poder comunicarse entre sí.

Red de Telefonía Digital

Actualmente la Red de Telefonía Digital cuenta con 30 nodos, cinco de ellos con nodos principales y el resto son nodos satélites. La topología de la red se muestra en la figura 3.17, en donde se tiene que los nodos principales son: la Facultad de Arquitectura (NP-1), la Torre II de Humanidades (NP-2), el Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y Sistemas (NP-3), la Dirección General de Servicios de Cómputo Académico (NP-4) y Zona Cultural (NP-5).

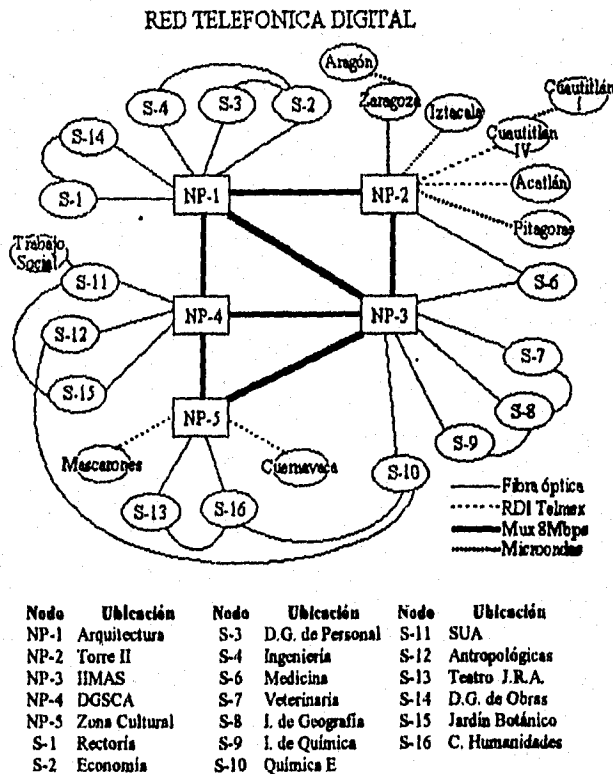


Figura 3.17

La comunicación entre los nodos se lleva a cabo mediante fibra óptica, excepto en algunos nodos periféricos, en los que la comunicación es con enlaces de microondas, tal es el caso de FES Zaragoza, ENEP Aragón, Centro Pitágoras y en la FES Cuautitlán, el enlace entre campo 1 y campo 4. De los enlaces con nodos como Centro Mascarones, ENEP Acatlán, Cuernavaca Morelos, ENEP Iztaacala y FES Cuautitlán campo 4, en los que se utilizan enlaces de la Red Digital Integrada de Telmex, hablaremos más adelante.

Los conmutadores empleados en la Red de Telefonía Digital con conmutadores digitales marca NEC modelo 2400IMS, de los cuales existe uno por nodo de la red, aunque varían en capacidad, siendo los más grandes los equipos que están en los nodos principales y así van disminuyendo en capacidad dependiendo de la carga de extensiones digitales asignadas a cada nodo satélite. Primeramente hablaremos de como se distribuyen las troncales que Telmex tiene asignadas para la UNAM. En los nodos principales NP-1, NP-2 y NP-5, están las acometidas de las centrales telefónicas de Telmex, y es ahí donde llegan las troncales telefónicas y de estos tres nodos son distribuidas hacia los otros dos nodos principales.

Telmex entrega a la UNAM 2400 troncales digitales distribuidas en 80 sistemas E1 (2.048 Mbps), donde tenemos 32 canales de 64 Kbps, de los cuales se utilizan 30 canales para voz y 2 canales para señalización y control del sistema. Estos 80 sistemas E1 se distribuyen de la siguiente manera: al NP-1 llegan 33 sistemas, al NP-2 llegan 27 sistemas y al NP-5 llegan 20 sistemas. La forma de distribuir los sistemas E1 hacia los nodos NP-3 y NP-4 es por medio de unos multiplexores de fibra óptica de 34 Mbits marca NEC modelo 34M NE6058, de los cuales existen dos enlaces, uno de NP-1 a NP-3 y otro de NP-5 a NP-4, de tal manera que de NP-1 se llevan 16 sistemas hacia NP-3 y de NP-5 se llevan 9 sistemas hacia NP-4, como se mencionó anteriormente el enlace entre estos multiplexores es mediante fibra óptica monomodo.

La comunicación entre nodos principales es mediante unos multiplexores de fibra óptica de 8 Mbits marca NEC modelo 8M NE5520AA, los cuales pueden manejar hasta tres enlaces de hasta 8 Mbps cada uno, en la figura 3.17 se muestra como están enlazados los nodos principales.

Los dos tipos de multiplexores realizan su comunicación entre ellos mediante fibra óptica, la cual llega al bloque terminal de fibra del multiplexor de donde salen cables coaxiales, que a su vez llegan a un panel de conexión, en donde entregan los sistemas E1 en pares de cable coaxial. Por lo que la comunicación entre el multiplexor y el conmutador se realiza mediante cable coaxial.

La forma de alimentar al conmutador de los sistemas E1, es a través de una tarjeta del conmutador, la 30DTI, la cual es una interfase de troncales digitales para sistemas E1, por lo que debe haber una tarjeta 30 DTI por cada sistema que entre a los conmutadores principales. Esta tarjeta se conecta con un par de coaxiales al panel de conexión del multiplexor.

Hasta ahora hemos visto como se llevan los sistemas E1 de troncales digitales provenientes de Telmex hacia los nodos principales y como se realizan los enlaces entre ellos. A continuación se describe como estan los enlaces entre nodos principales y nodos satélites.

La comunicación entre los conmutadores NEC se realiza siempre por medio de las tarjetas 30DTI, y cada conmutador necesita una tarjeta para cada enlace que requiera, por confiabilidad de la red se consideraron dos enlaces por lo menos en cada nodo satélite, de tal forma que existe redundancia en los enlaces y si hubiese algún problema en alguno de los dos enlaces, no se queda incomunicado ese nodo.

Debido a que la comunicación entre los nodos se realiza mediante fibra óptica, se requiere de equipos que realicen la conversión eléctrica-óptica y viceversa, en estos casos se utilizan unos modems ópticos. Los modems ópticos que se utilizan son marca RAD modelo FOM T1, los cuales son modems para fibra óptica que se utilizan para la transmisión de sistemas T1 o E1. En la UNAM, como en todo el país se utiliza el sistema europeo E1 (2.048 Mbps) y no el sistema norteamericano T1 (1.544 Mbps). Este modem convierte la señal eléctrica E1 en señal óptica usando un LED de luz infrarroja. En el extremo opuesto de la fibra, la señal óptica es convertida en una señal eléctrica y amplificada al nivel requerido.

La interfase eléctrica cumple con la norma E1, un selector interno provee la interfase que se desea utilizar; para la norma E1 se tienen dos opciones: una interfase balanceada de 120 Ω , la cual se conecta en un conector DB 15 y una interfase desbalanceada de 75 Ω , para la que se tiene un par de conectores para cable coaxial.

El FOM T1 cuenta con diferentes interfaces ópticas: longitud de onda de 850 nm y 1 300 nm para fibras multimodo y 1 300 nm para fibras monomodo. El tipo de conector para la fibra es ST. En la figura 3.18 se muestra un FOM-T1.

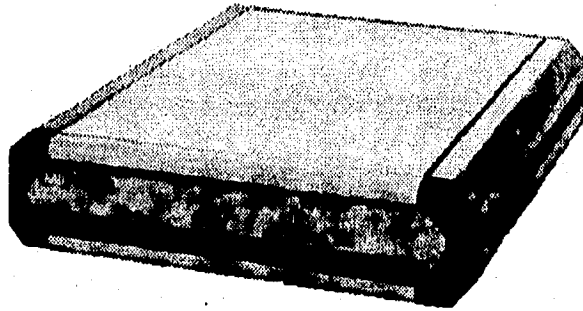


Figura 3.18

En la figura 3.19, se muestra un diagrama de como se realiza la comunicación entre los nodos principales y los nodos satélites. Como se puede observar, del conmutador salen dos cables coaxiales por medio de la tarjeta 30 DTI, uno para la transmisión y otro para la recepción, ambos se conectan en la interface desbalanceada de 75Ω del FOM T1. Del modem óptico salen cables de fibra óptica de interiores, ya sea, un cable de dos fibras o dos cables de una fibra con conectores ST, para conectarse al distribuidor de fibra en la posición que corresponda al par de fibras que comuniquen con el otro punto del enlace. Generalmente para un nodo satélite, se instala un LIU a la llegada del cable de fibra de exteriores, en el cual llegan el par de fibras provenientes del nodo principal. Ya en el LIU se hace la conexión con cable de fibra de interior conectorizado hacia el FOM T1, y este a su vez entrega la señal en un par de cables coaxiales, que se conectan en la tarjeta 30 DTI del conmutador en el nodo satélite.

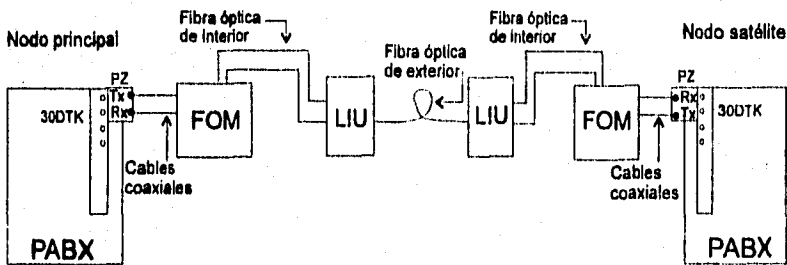


Figura 3.19

El FOM T1 tiene dos rangos de potencia de transmisión para el tipo de fibra óptica utilizada, que es multimodo 62.5 / 125 μm , un rango corto, el cual transmite -29 dBm para una distancia de hasta 2.2 km, con una longitud de onda de 850 nm y un rango largo, el cual transmite -19 dBm para una distancia de hasta 16 km, con una longitud de onda de 1 300 nm.

Para los enlaces de redundancia que se realizan entre nodos satélites, se utiliza el mismo tipo de enlace, con la variación de que en ambos lados se utilizan LIU's para hacer la conexión de los cable de fibra de interiores. Como hemos visto la comunicación entre los conmutadores se realiza mediante fibra óptica, pero hay que mencionar que la comunicación del conmutador hasta el usuario final se realiza con cables de cobre tradicionales.

Red de Datos (RedUNAM)

Definitivamente en la red de datos es donde mayor uso se le da a la fibra óptica, y esto se debe a que, además de ser utilizada como medio de enlace entre los equipos principales de la red, se utiliza para enlazar cada edificio que se pretenda conectar a RedUNAM.

La topología de la red de datos tiene como columna vertebral un anillo FDDI (Fiber Distributed Data Interface), el cual enlaza mediante dos pares de fibra óptica multimodo, los principales ruteadores de datos que conforman la RedUNAM, como de muestra en la figura 3.20. El uso de dos pares de fibra es con la intención de tener un enlace redundante, y obedece a especificaciones propias del anillo FDDI, el cual es un estandar de red de datos que nos permite una velocidad de transmisión de 100 Mbps, logrando un tráfico muy fluido de datos en el interior del anillo.

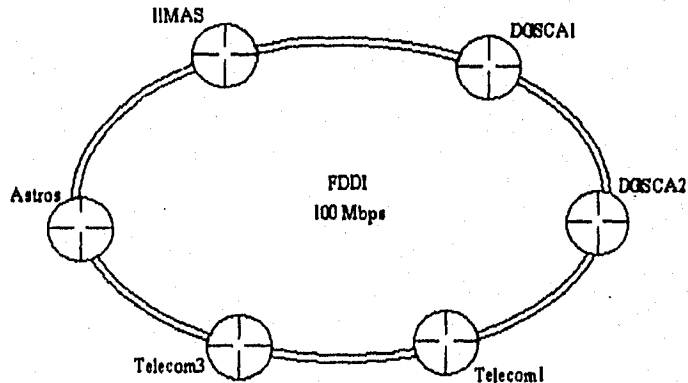


Figura 3.20

Los enlaces de fibra mostrados en la figura, realmente son enlaces normales entre los edificios en donde se encuentran los ruteadores, los cuales se realizan de la forma que ya hemos visto, con cable de fibra para exterior para el enlace entre edificios y cables de fibra de interior para la conexión de los equipos, realizando la conexión en distribuidores de fibra. Como ya se mencionó anteriormente el conector de fibra que se requiere para conectar los ruteadores al anillo FDDI es del tipo FSD.

Actualmente el estandar de red para las redes de área local que existen en toda la UNAM es Ethernet, el cual nos permite velocidades de transmisión de hasta 10 Mbps y se utiliza principalmente el cable de par trenzado como medio de transmisión (10base-T). Cabe señalar que existen segmentos de cable coaxial grueso (10base-5) y segmentos de coaxial delgado (10base-2), pero actualmente ya no se instalan nuevos segmentos de red con estos medios de transmisión. Por lo que hablaremos más acerca de las redes locales bajo el estandar 10base-T y de como estas se conectan al anillo FDDI.

Cada ruteador conectado al anillo FDDI, tiene varios conectores DB15, llamados puertos AUI (Attachment Unit Interface) los cuales son los puertos Ethernet a los que estan conectados los segmentos de las redes de área local que dan servicio de datos a las diferentes dependencias. En estos conectores DB15 se conectan transductores o transceivers de fibra óptica que hacen la conversión eléctrica-óptica-eléctrica, a estos se conecta un par de fibras de interior con conectores ST, estas fibras se conectan a un equipo llamado concentrador, directamente en un puerto con conectores ST, si éste lo tiene, o sino mediante un transceiver que haga nuevamente la conversión. Las marcas de transceivers más utilizadas para la conversión de puerto AUI a puerto de fibra óptica son: Cabletron, 3Com y ODS. En la figura 3.21 se muestra un transceiver marca Cabletron.



Figura 3.21

Para los segmentos de cable coaxial también se utilizan estos tipos de transceivers, sólo que se requiere también otro tipo de transceivers, los cuales hacen la conversión de puerto AUI a coaxial, ya sea grueso o delgado. De esta forma también los segmentos de cable coaxial se pueden integrar mediante fibra óptica a toda la red.

Normalmente del concentrador en adelante, el medio de transmisión cambia a cable de par trenzado, ya que lo más común es llegar con fibra óptica hasta el concentrador, el cual tiene puertos RJ-45 que es el conector utilizado para el cable de par trenzado y de ahí salir con cable UTP (Unshielded Twisted Pair) hacia los equipos de cómputo. Los concentradores pueden tener ocho, doce, veinticuatro o más puertos para cable UTP y las marcas de concentradores más utilizadas en la UNAM son: 3Com y Cabletron.

Existen también concentradores de puertos de fibra óptica, normalmente de ocho puertos con conectores ST, el cual se alimenta de red con un par de fibras provenientes de algun puerto Ethernet. Cada puerto es un segmento de red, en los cuales se conecta un par de cables de fibra de interior, que a su vez se conectan al distribuidor de fibra, en donde se direccionan los pares de fibras hacia los edificios a los que se tenga que llegar, ya una vez en el edificio destino en el cual debe existir un LIU, se hace la conexión del concentrador mediante cables de fibra de interior como ya se mencionó anteriormente.

En el nodo de Zona Cultural esta el equipo terminal de fibra óptica de la Red Digital Integrada de Telmex, en donde se tienen los canales E1 mediante los cuales se realizan los enlaces de salida hacia Internet, dos enlaces hacia Houston, Tx., y los enlaces con los nodos remotos como el Centro Mascarones, Cuernavaca, ENEP Acatlán, FES Cuautitlán IV y ENEP Iztacala. Estos enlaces son mediante fibra óptica. En el apéndice B se menciona a grandes rasgos las especificaciones de operación e instalación de un sistema de RDI de Telmex.

Red de Videoconferencias

Recientemente se ha incorporado la transmisión de video a través de la Red Integral de Telecomunicaciones de la UNAM, en la cual se utiliza la fibra óptica como medio principal de transmisión. Actualmente esta red cuenta con cinco nodos fijos: DGSCA, el Centro de Enseñanza para Extranjeros (CEPE), el Centro Mascarones, FES Cuautitlán campo IV y la Escuela Permanente de Extensión en San Antonio, Tx (EPESA). En el nodo de DGSCA se tiene un equipo capaz de establecer videoconferencias multipunto y es en donde estan conectados los demás nodos. Los enlaces con EPESA, Mascarones y Cuautitlán IV se realizan mediante sistemas E1 a través de los multiplexores de 34 Mbits que estan conectados de DGSCA a Zona Cultural, para salir hacia esos destinos via RDI de Telmex. Mientras que el enlace con el CEPE se realiza mediante un enlace de fibra como los que hemos visto anteriormente, partiendo de los distribuidores de fibra de los edificios involucrados.

Los equipos utilizados son equipos de videoconferencia marca Vtel, los cuales realizan todo el proceso de compresión/descompresión de video y audio , entregando una señal codificada lista para transmitirse por cualquier medio que se desee, que en este caso se utiliza la red de fibra óptica. A la salida de los equipos de videoconferencia se conecta, mediante un cable serial de alta velocidad (V.35), un equipo CSU/DSU que es un servidor de canal y de datos (Channel Server Unit/ Data Server Unit), marca RAD modelo FCD-2 en el cual podemos fraccionar el canal E1 en sus 30 canales de 64 kbps, para así poder transmitir datos, voz y video simultáneamente por el mismo canal. En el caso de los enlaces de videoconferencia se utilizan seis canales de 64 kbps, ya que el equipo Vtel requiere de 384 kbps para tener una buena comunicación, aunque estos parámetros pueden variar al gusto del usuario. En la figura 3.22 se muestra un FCD-2.

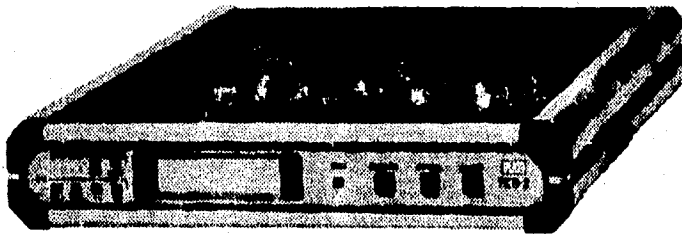


Figura 3.22

Del CSU/DSU salen dos cables coaxiales hacia el multiplexor de 34 Mbits en donde se hace la conversión a fibra óptica, una vez en zona cultural se hace la conexión del multiplexor de 34 Mbits hacia el distribuidor del equipo terminal de RDI de Telmex en donde están los canales E1 que se tienen rentados por la UNAM. En el caso del CEPE el enlace se realiza de la siguiente forma: como no existe multiplexor de fibra entre DGSCA y el CEPE se utilizan dos hilos de fibra óptica de la red de fibra instalada, estos dos hilos de fibra óptica se conectan a un FOM-T1 del cual salen dos cables coaxiales hacia un FCD-2 que se conecta al equipo de videoconferencia.

Se cuenta con equipos de videoconferencia portátiles, los cuales son computadoras normales que cuentan con tarjetas de compresión y audio, además de accesorios como cámara de video, bocinas y un software especial para realizar las videoconferencias. Para conectar estos equipos se requiere que exista un enlace de fibra óptica en el lugar en donde se pretenda conectarlo y la forma de realizar es la misma que en el enlace DGSCA-CEPE.

Cálculo del presupuesto de potencia y el tiempo de elevación para un enlace de fibra óptica

Especificaciones del sistema.

Al planear un sistema de fibras ópticas, debemos definir los requerimientos de nuestra aplicación, de tal manera que podamos especificar nuestras necesidades. Las principales preguntas involucran velocidades de transmisión y distancias:

¿Qué tan lejos? ¿Qué tan rápido?

Después de estos requerimientos básicos se evalúan otros factores.

- Tipo de fibra
- Longitud de onda de operación
- Potencia transmitida
- Tipo de fuente: LED o Láser
- Sensitividad de receptor
- Tipo de Diodo
- Código de Modulación
- Número de conectores

El ambiente involucra, temperatura, humedad, flammabilidad, etc. Por lo que determina prácticamente la selección del cable óptico.

Presupuesto de potencia

La tarea básica del enlace es conducir suficiente potencia del transmisor a el receptor. El presupuesto es la diferencia entre la potencia transmitida y la sensitividad del receptor. Si la potencia transmitida es -10 dBm y la sensitividad del receptor es -30dBm, el presupuesto de potencia es de 0 dB. El enlace no puede tolerar más 20 dB de pérdidas. Si las pérdidas son menos 0 dB, la potencia restante es el margen. Si por ejemplo, la pérdida total es de 14 dB el margen es 6 dB.

La figura 4.1, es una representación gráfica del presupuesto de potencia. Supongamos los siguientes valores numéricos para el enlace.

Potencia transmitida	-10 dBm (100µw)
Atenuación en la fibra	3 dB/km
Longitud del enlace	2 km
Sensitividad en el receptor	-30 dBm (1µw)
Pérdida en el conector o conexión	1.5 dB

La pérdida total en la fibra es de 6 dB para los 2 km. La pérdida total entre el transmisor y el receptor es de 7.5 dB, dejando un margen de 1.5 dB.

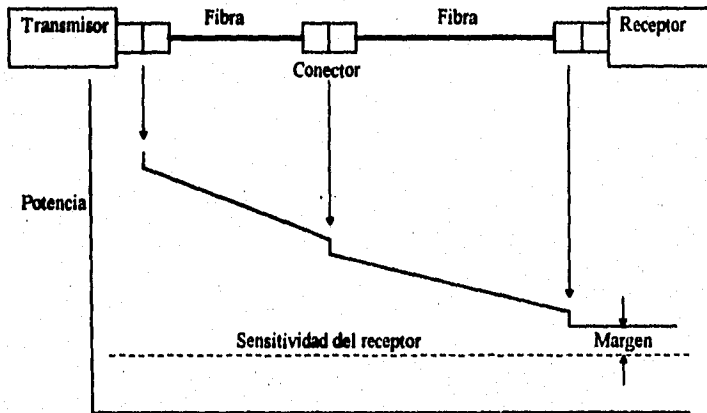


Figura 4.1

Otro ejemplo:

El esquema básico es el mismo pero ahora se calculará la potencia acoplada del transmisor a la fibra y de la fibra a el receptor, además se supondrá que las fibras son diferentes en tipo y longitud. Se requerirá de un margen de 6 dB. La pregunta es ¿Qué tan larga puede ser la segunda fibra?

Especificaciones

Transmisor	Potencia de salida	250 μ w (-6dBm)
	Diámetro de salida	100 μ m
	NA	0.3
	Pérdida en el conector	1 dB
Fibra 1	Tamaño	85/125 μ m
	NA	0.26
	Atenuación	6 dB/km
	Longitud	2 km
	Pérdida máxima en el conector	1.5 dB

Fibra 2

Tamaño	100/140 μm
NA	0.3
Atenuación	5 dB/km
Longitud	?
Sensitividad del receptor	125 nm (-39 dBm)
Diámetro	150 μm
NA	0.4
Pérdida en conector	1 dB

El presupuesto de potencia es de 33 dB dado que la diferencia entre la sensibilidad del receptor (-39 dBm) y la potencia transmitida (-6 dBm) es de 33 dB. Después de restar los 6 dB de margen, tenemos 27 dB para pérdidas en el enlace. Calculamos entonces las pérdidas en el enlace. La pérdida restante esta disponible para la fibra.

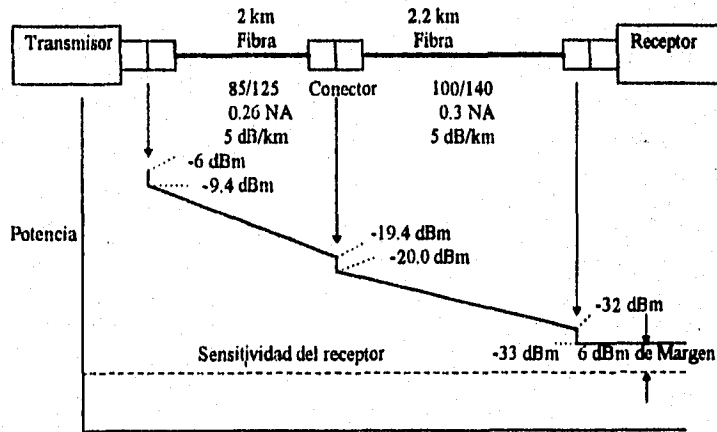


Figura 4.2

El desarrollo gráfico se muestra en la figura 4.2.

1. Pérdidas del transmisor

Las pérdidas del transmisor son por diferencias en el NA, diferencias en diámetro y por inserción de conector.

a. Pérdida en conector 1dB

b. Pérdida por diferencia de diámetros entre la salida del transmisor (100 μm) y la fibra (85 μm)

$$\text{Pérdida dia} = 10 \log_{10} (\text{dia}_{fb}/\text{dia}_t)^2 = 10 \log_{10} (85/100)^2 = 1.4 \text{ dB}$$

c. Pérdida por la diferencia de NA entre el transmisor (0.3) y la fibra (0.26)

$$\text{Pérdida NA} = 10 \log_{10} (\text{NA}_{fb}/\text{NA}_t) = 10 \log_{10} (0.26/0.3) = 1.0 \text{ dB}$$

La pérdida en la interfase del transmisor es 3.4 dB

• La pérdida total actual es de 3.4 dB

2. Pérdida en la Fibra 1

La atenuación para la fibra es de 5 dB/km para 2 km la pérdida es de 10 dB

• La pérdida total actual es de 13.4 dB

3. Pérdida por la conexión fibra a fibra

Dado que la fibra 2 tiene el diámetro del núcleo más grande así como también la NA, no se presentan pérdidas por diferencias. La única pérdida es la inserción del conector 1.5 dB

• La pérdida total actual es de 14.9 dB

4. Pérdidas en el receptor

La pérdida en el receptor es simplemente 1 dB del conector. Dado que el diámetro y la apertura numérica del detector en el receptor son más grandes que el diámetro y NA de la fibra, no ocurren pérdidas por esas diferencias.

• La pérdida total actual es de 15.9 dB

5. Pérdidas en la fibra 2

Las pérdidas calculadas suman 15.9 dB y como se permiten 27 dB, quedan 11.1 dB para la fibra 100/140. Esta fibra tiene una atenuación de 5 dB/km, de tal manera que se pueden tener 2.2 km de esta fibra.

Si en este ejemplo la longitud de la fibra fuera de 0.5 km, tendríamos 8.6 dB extras de nuestro presupuesto. Podríamos reducir la potencia de nuestro transmisor para aumentar la vida de la fuente.

El presupuesto puede ser escrito en forma tabular como se muestra:

Potencia transmitida	-6 dBm
Sensitividad de receptor	-39 dBm
Presupuesto de potencia	33 dB
Pérdidas del transmisor	3.4 dB
Pérdidas de la fibra 1 (2 km)	10 dB
Pérdidas fibra-fibra	1.5 dB
Pérdidas de la fibra 2 (2.22 km)	11.1 dB

Pérdidas del receptor	1 dB
pérdida total	27 dB
Margen de potencia	6 dB

Presupuesto del tiempo de elevación (t_r)

Todos los componentes del enlace deben operar suficientemente rápido para lograr los requerimientos de ancho de banda o tiempo de elevación de la aplicación; como se ha visto las fuentes y los detectores tienen tiempos de respuesta finitos. Los tiempos de elevación y caída determinan el ancho de banda y la velocidad de operación de los dispositivos.

De una manera similar, la dispersión limita el ancho de banda de la fibra. En una fibra monomodo, solo la dispersión del material del ancho espectral de la fuente limita severamente el ancho de banda. En una fibra multimodo, el retraso causado por el hecho de las diferentes velocidades de los diversos modos también limita el ancho de banda o el tiempo de elevación.

Cuando el ancho de banda de una componente se especifica, su tiempo de elevación puede ser aproximado por:

$$t_r = 0.35 / BW$$

El tiempo de elevación debe ser escalado a la longitud de la fibra de la aplicación. Si el cable se especifica a 600 Mhz/km y la aplicación es de 2 km, el ancho de banda es 360 Mhz y el tiempo de elevación es de 1.6 ns.

Además el presupuesto de tiempo de elevación debe incluir los tiempos de elevación de el transmisor y el receptor, los cuales son usualmente especificados por el fabricante. Los tiempos de elevación del transmisor y el receptor se usan en lugar de los de la fuente y el detector, dado que los circuitos del transmisor y receptor limitarán la máxima velocidad a la que los elementos optoelectrónicos puedan operar. Para el receptor el ancho de banda puede estar limitado ya sea por el tiempo de elevación de los componentes o por el ancho de banda de la constante de tiempo.

Cuando todos los tiempos individuales de elevación se han concentrado, el tiempo de elevación del sistema se calcula de la siguiente ecuación:

$$t_{r\text{ SIST}}^2 = t_{r\text{ TRANS}}^2 + t_{r\text{ FIB}}^2 + t_{r\text{ RECEP}}^2$$

Consideremos el ejemplo.

Una aplicación a 20 Mhz opera sobre 2 km. La fibra usada tiene 400 Mhz·km, de ancho de banda. El receptor tiene un tiempo de elevación de 10 ns.
 ¿Cuál es el tiempo de elevación requerido por el transmisor?

El tiempo de elevación requerido por el sistema es:

$$tr_{SIST} = 0.35 / BW = 0.35 / 20 \text{ MHz} = 17.5 \text{ ns}$$

El tiempo de elevación de la fibra:

$$BW = BW \cdot \text{long} / \text{long} = 400 \text{ Mhz} \cdot \text{km} / 2 \text{ km} = 200 \text{ MHz}$$

$$tr_{FIB} = 0.35 / BW = 0.35 / 200 \text{ Mhz} = 1.75 \text{ ns}$$

Resolviendo para el tiempo de elevación del transmisor

$$tr_{TRANS} = ((17.5)^2 - (10)^2 - (1.75)^2)^{1/2} = 14.25 \text{ ns}$$

El transmisor deberá tener un tiempo de elevación de cerca de 14 ns. Si seleccionamos un transmisor con un tiempo de elevación de 10 ns, satisficemos los requerimientos de ancho de banda de la aplicación.

El nuevo tiempo de elevación del sistema será:

$$tr_{SIST} = ((10)^2 + (1.75)^2 + (10)^2)^{1/2} = 14.2 \text{ ns}$$

Lo que esta dentro de lo requerido.

Apéndice A

Características de la fibra óptica

Este apéndice contiene una breve descripción de las características de la fibra óptica como medio de transmisión, tales como su área de cobertura y su conectividad.

El más excitante desarrollo en el campo de medios de transmisión para redes digitales de datos y voz, está dentro del área de las fibras ópticas, siendo esta una tecnología que cambia rápidamente. Una fibra óptica es un medio flexible delgado (2 a 125 micras) capaz de conducir un rayo de luz. Varios tipos de plásticos y cristales pueden ser usados para la fabricación de las fibras. Las pérdidas menores se obtienen empleando fibras hechas de sílice ultrapuro, pero este tipo de fibra tiene un proceso de elaboración muy difícil.

Una fibra óptica tiene forma cilíndrica y consiste en tres secciones concéntricas: el núcleo (core), el revestimiento (cladding) y la cubierta exterior (jacket). un cable de fibra óptica contiene en su parte central una o más fibras muy delgadas. cada fibra viene dentro de su propio revestimiento de cristales o plástico cuyas propiedades ópticas son diferentes que las de la parte central. Finalmente, en la parte más exterior que está compuesta de materiales plásticos y otros materiales que protegen a las fibras de humedad, abrasión, cortes accidentales o cualquier otro peligro al que se encuentren expuestos al estar en el medio ambiente.

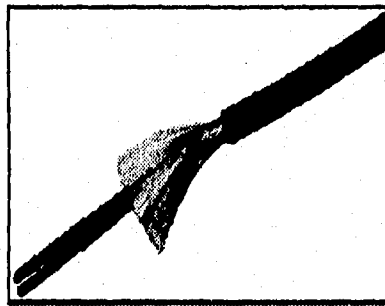


Figura A.1. Cable de fibra óptica.

1. **Características de transmisión.** Las fibras ópticas transmiten una señal codificada en un rayo de luz por medio de una reflexión interna total. Esta reflexión puede ocurrir en un medio transparente que tiene un mayor índice de reflexión que la cubierta.

La fibra óptica actúa como una guía de onda para frecuencias en el rango de 10^{14} a 10^{15} Hz, en la parte del espectro electromagnético a la luz visible y parte a la zona de rayos infrarrojos.

Existen tres modos de transmisión en las fibras ópticas, donde entendemos por modo la variedad de ángulos con que la luz es reflejada en las paredes de la cubierta: multimodo, donde la luz de la fuente entra al núcleo central y los rayos que tienen un ángulo de incidencia adecuado se reflejan en las paredes de la cubierta siendo propagados a lo largo de la fibra, en tanto que los demás rayos son absorbidos por el material de la cubierta. La segunda forma de propagación se presenta cuando se reduce el radio de la parte central de la fibra, hasta valores muy pequeños, con lo que sólo un ángulo sencillo o un modo puede pasar, siendo este el rayo axial. Finalmente, el tercer tipo de transmisión se presenta cuando en la parte central el índice de reflexión se varía, conocido este tipo como fibra multimodo de índice gradual, la que es un tipo intermedio entre las características de los dos tipos anteriores. El índice de reflexión variable tiene un efecto de transmisión de los rayos en forma más eficiente que el modo multiordinario, pero menor que el de modo sencillo.

Existen dos tipos diferentes de fuentes de luz empleados en sistemas de fibras ópticas: los LED's (light emitting diode) y el diodo láser de inyección (ILD). El LED es un dispositivo de estado sólido que emite luz cuando una corriente es aplicada. El ILD es un dispositivo de estado sólido que opera basado en el principio del láser en el cual efectos cuánticos electrónicos son estimulados para producir un rayo superradiante de un ancho de banda muy reducido. El detector usado en la recepción y para convertir la luz en energía eléctrica es el fotodiodo.

La técnica de modulación por amplitud de impulsos es la más comúnmente usada para transmitir datos digitales a través de fibras ópticas; en este contexto, esto es conocido como modulación de intensidad. Para transmisores de LED, un uno binario es representado por un corto impulso de luz y el cero binario por la ausencia de luz.

Los transmisores láser normalmente tienen una pequeña corriente de "bias" que ocasiona que el dispositivo emita en todo momento un bajo nivel de luz. Este bajo nivel representa un cero binario, en tanto que una alta amplitud del rayo de luz representa un uno binario.

La siguiente tabla presenta una comparación de los tres tipos de fibras ópticas, con las cuales se pueden obtener capacidades mucho mayores que el par trenzado o el cable coaxial. En ella se incluyen las características principales para la operación e instalación de estos medios de comunicación. En dicha tabla se muestran características tales como el ancho de banda en el cual operan, su aplicación más comúnmente utilizada, una comparación de costo económico y la fuente luminica que se requiere para su óptima operación.

Característica	Multimodo	Multimodo de índice gradual	Modo sencillo
Fuente de luz	LED o láser	LED o láser	láser
Ancho de banda	Amplio (hasta 200 Mhz/km)	Muy amplio (de 200 Mhz a 3 Ghz/km)	Extremadamente amplio (de 3 GHz hasta 50 GHz/km)
Aplicación típica	Enlaces de datos para computadoras	Líneas telefónicas de modesta longitud	Líneas largas de telecomunicaciones
Costo	Menos caro	Caro	Muy caro
Diámetro interno (µm)	50 a 125	50 a 125	2 a 8
Diámetro de la cubierta (µm)	125 a 440	125 a 440	15 a 60

Tabla A.1. comparación entre los tres tipos de fibras ópticas.

2. Conectividad. El empleo más común de las fibras ópticas es para enlaces punto a punto. Un segmento sencillo de fibra óptica tiene una capacidad mucho mayor que cualquier cable coaxial o par trenzado, debido a su muy baja pérdida de potencia, características de atenuación bajas y su gran ancho de banda.

3. Area geográfica. La tecnología actual soporta transmisión de datos en distancias de 6 a 8 kilómetros sin repetidores. Por ello, es empleada para enlaces de edificios que se encuentren algo distantes, aunque se pueden emplear repetidores para aumentar el alcance en área geográfica sin ningún problema.

4. Inmunidad al ruido. La fibra óptica no se ve afectada por interferencia electromagnética o ruido. Esta característica permite altas velocidades de transmisión a largas distancias y proporciona una seguridad excelente.

5. Costo. Las fibras ópticas son más caras que el par trenzado y que el cable coaxial en cuanto al costo por metro y los componentes requeridos para el sistema (transmisores, receptores y conectores). Sin embargo, en los costos de instalación esta diferencia es menor.

Apéndice B

Red Digital Integrada (RDI)

La RDI es una red totalmente digital y adicional a la red telefónica pública, apta para transportar todo tipo de señales de información, ofreciendo a los usuarios un medio para dar solución a sus requerimientos de comunicación de voz y datos en altas velocidades. Principalmente se encuentra conformada por enlaces de fibra óptica, aunque también ofrece enlaces de microondas y radioenlaces. En la UNAM solamente se han contratado enlaces de fibra óptica para los enlaces con las dependencias lejanas al campus universitario. Dichos enlaces ofrecen el servicio de líneas privadas para la conducción de señales punto a punto o multipunto tipo E0 (64 kbps), $n \cdot E0$ ($n \cdot 64$ kbps) y E1 (2.048 Mbps) y circuitos privados para conducción de señales nacionales e internacionales tipos E0 y E1. Tiene cobertura a cualquier punto del Distrito Federal y a las 29 ciudades más importantes del país.

El costo de los enlaces de RDI de TELMEX comprende dos pagos: el primero de ellos es el pago inicial para la firma del contrato e instalación de los equipos por parte de la compañía de teléfonos y el segundo es el costo de la renta mensual. El monto de estos pagos es fijo para dos puntos cualesquiera dentro del área metropolitana y es variable para enlaces nacionales, de acuerdo con la distancia a la que se encuentren los puntos que se van a enlazar y la velocidad de transmisión del canal que se vaya a rentar.

Dentro de RDI el mantenimiento forma parte del costo de renta mensual del canal, ya que este es proporcionado por TELMEX, así como también la solución de las fallas que se presenten.

Cabe mencionar que la mínima capacidad de los equipos para la instalación de RDI, es de un canal E2 (8.448 Mbps), es decir, cuatro canales E1, aunque no necesariamente se contraten los cuatro. Además, los equipos sólo son instalados si los locales cumplen con ciertas especificaciones pedidas por Telmex, mismas que se mencionan a continuación:

1. Deberá contar con alimentación eléctrica trifásica independiente, desde la subestación o el tablero principal, con 220 VAC con una variación de $\pm 5\%$.
2. Se dispondrá de una tierra física independiente con un valor de 3Ω de resistencia máxima.
3. El piso será de loseta vinílica o estará cubierto con un tapete antiestático.
4. La altura mínima del local es de 2.5 m.
5. El local debe contar con aire acondicionado, para mantener una temperatura de 18°C a 22°C .

Además, para la instalación de los equipos es necesario contar con los contactos polarizados y las acometidas necesarias al local. Se requiere también de tubería que conecte al local con el registro más cercano, y dentro de las instalaciones universitarias, si es necesario realizar alguna trayectoria de fibra para la conexión de RDI, esta será por tubería de 3 pulgadas, totalmente guiada, instalando registros en cada cambio de dirección o bien, a cada 20 metros de una trayectoria en línea recta. Los radios de curvatura de la fibra no deberán ser menores a 30 cm., por lo que los registros que se instalen serán de 56 cm por lado y un mínimo de 13 cm. de profundidad.

Estas especificaciones como ya se ha mencionado, son los requerimientos que Telmex cuida que se cumplan por parte de la empresa o institución que solicita el servicio de RDI, por lo que a enlaces de fibra se refiere.

Bibliografía

Fiber optics. Communication and other applications
Zanger, Henry
McMillan Publishing Co.
1991

Fibras ópticas
Centro de Optica del ITEMS, Monterrey
1990

Catálogo de sistemas de cableado
Anixter
1995

Productos para la comunicación de datos
RAD
1996