

25
28



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

Aplicación de los sistemas de transmisión por fibras opticas en la red urbana de Telefonos de México.

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el titulo de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P r e s e n t a

SERAFIN PABLO TRUJANO AGUIRRE

Director de Tesis: Ing. José Luis Rivera López

CUAUTITLAN IZCALLI EDD. DE MEX.

AGOSTO 1987



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

	Pág.
Introducción	1
CAPITULO I	
I.- Fibras ópticas	3
1. Conceptos principales en fibras ópticas	4
1.1 Qué son las fibras ópticas	4
1.2 Estructura de las fibras ópticas	4
1.3 Reflexión y refracción de la luz	5
II.- Tipos de fibras ópticas	6
2.1 Fibras monomodo o de modo único	6
2.2 Fibras multimodo	7
Fibras multimodo de índice escalonado	9
Fibras multimodo de índice gradual	11
III.- Tipos de atenuación	15
3.1 Atenuación	15
3.2 Dispersión	20
IV.- Fuentes ópticas	20
4.1 Fuentes luminosas	20
V.- Fotodetectores para fibras ópticas	23
5.1 Fotodetectores	
CAPITULO II	
II.- Tecnología de cables	27
2.1 Técnicas de fabricación	27
2.2 Técnicas de conectarización	34
2.3 Técnicas de empalme	40
CAPITULO III	
III.- Metodología de diseño de un enlace de comunicaciones por fibra óptica	42

3.1	Elementos principales en el proceso de diseño	42
3.2	Interrelación entre los parámetros principales	47
3.3	Proceso de diseño para la selección del transmisor óptico	49
3.4	Proceso de diseño para la selección del cable de fibra óptica	55
3.5	Proceso de diseño para la selección del receptor óptico	58

CAPITULO IV

IV.-	Aplicación de los sistemas de transmisión por fibra óptica en lá red urbana de Teléfonos de México	63
1	Objetivo	63
2	Introducción	64
3	Red urbana de Tel.- Mex.	64
4	Características generales del enlace para la descentralización del centro telefónico SN. JUAN	65
4.1	Aspectos generales	65
4.2	Rutas de mayor importancia	66
5	Sistemas de transmisión por fibra óptica	69
5.1	Descripción general y características principales de un S.T.F.O.	69
5.2	Areas de aplicación	72
5.3	Evolución y tendencias	73
6	Características del S.T.F.O. para el enlace entre las centrales urbanas para la descentralización del C.T.S.J.	73
7	Costos	84
8	Equipo necesario para la supervisión y el mantenimiento	85
8.1	Medición de los parámetros relevantes	86
8.2	Equipos de medición	93
9	Conclusiones y continuidad	94

CAPITULO V

5	Otras aplicaciones	95
---	--------------------	----

CAPITULO VI

6	Conclusiones generales	97
	Bibliografía	101

INTRODUCCION

No hay nada particularmente nuevo en utilizar la luz para las comunicaciones. Después de todo, los indios americanos enviaban señales de humo y los ingleses encendían hogueras para avisar de la aproximación de la armada española. En 1790 Claude Chappe construyó un sistema telegráfico óptico formado por estaciones de semáforo sobre las cumbres de Francia. El sistema - que según la opinión general podía transmitir mensajes a distancias de 200 Km. en 15 minutos permaneció en servicio hasta que fué sustituido por el telégrafo eléctrico.

La novedad reside hoy en las técnicas utilizables para generar un rayo de luz que pueda ser modulado a velocidades extremadamente altas, y para transmitir a varios kilómetros las señales resultantes a través de una fibra de vidrio, con una pérdida de energía aceptablemente baja. El interés por las comunicaciones ópticas data de la primera demostración del LASER en 1960

De aquí que las últimas décadas han sido testigos de un desarrollo - que partiendo de brillantes teorías iniciales, ha pasado rápidamente a los niveles de una realización cada vez más sólida. Veremos aquí el uso de los filamentos vitreos para dar curso a las comunicaciones que, en general y tradicionalmente, han viajado por hilos metálicos de los sistemas de índole convencional. Las comunicaciones mediante las fibras ópticas se están convirtiendo rápidamente en un gran auxiliar para los sistemas tradicionales ó como componentes de estos, y para muchas otras finalidades prácticas y se cree que en menos de lo que queda de este siglo constituirán una destacada actividad industrial, que en un buen porcentaje compartirá la responsabilidad de telecomunicar al hombre con refinamientos antes no conocidos.

Asombrosamente, por los filamentos de vidrio no se transmitirán corrientes eléctricas, sino emisiones de luz que, en su condición de vehículo transmisor, eliminarán algunos serios inconvenientes con los que, tratándose de sistemas metálicos convencionales, siempre se está en lucha. Los circuitos ópticos son inmunes a las interferencias electromagnéticas; No permiten la escucha cruzada de conversaciones, o sea que ofrecen máximo secreto; Su grado de atenuación está ya limitado a terrenos de lo aceptable, comercial e industrialmente hablando; tienen una gran capacidad de tráfico son de diámetro muy fino, ligeras y muy flexibles sus fibras, que por ello permiten la formación de cableado de grosores breves.

A los medios convencionales de telecomunicaciones, la energía eléctrica les da vida. A los sistemas de fibras ópticas los hace vivir la luz. Es ta la suministran dos fuentes principales producto de la maravillosa tecnología moderna: el LED (Diodo Emisor de Luz), ó el Rayo Laser mediante un diodo semiconductor que lo genera. Según las características del sistema de que se trate, sus finalidades, rendimientos, etc., se prefiere la fuente que más convenga.

En el campo de las fibras ópticas, casi todos los países del mundo es tan interesados de una u otra manera en la investigación, desarrollo, producción ó utilización de sistemas de este tipo, para una gran variedad de aplicaciones, de las cuales las telecomunicaciones ocupan un lugar preponderante

En nuestro país, "TELEFONOS DE MEXICO", ha iniciado ya la instalación de un sistema piloto de esta tecnología, con el propósito de evaluar las posibilidades de aplicación dentro de nuestra red urbana.

C A P I T U L O I

1) FIBRAS OPTICAS

Uno de los componentes más importantes en cualquier sistema de telecomunicaciones por fibras ópticas, es la fibra óptica ya que sus características de transmisión juegan el más importante papel en la determinación del funcionamiento del sistema completo.

Los elementos de un sistema de transmisión por fibra óptica se muestran en la figura 1.1. Las secciones "claves" son el transmisor, que consiste en una fuente de luz y su circuito de excitación un cable, que ofrece protección mecánica a las fibras ópticas que contienen en su interior; y un receptor, que consiste en un fotodetector más un circuito de amplificación y restablecimiento de la señal.

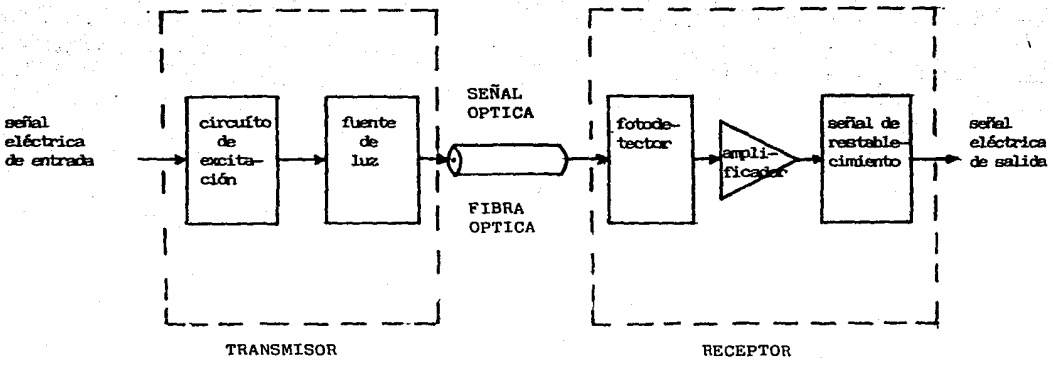


FIG. 1.1. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE TRANSMISION POR FIBRA OPTICA

1) CONCEPTOS PRINCIPALES EN FIBRAS OPTICAS

1.1) QUE SON LAS FIBRAS OPTICAS.

Es una guíaonda dieléctrica con gran capacidad de transmisión de información sin deformar la señal original y con baja atenuación.

Además son filamentos largos y flexibles de pequeña sección transversal, de dimensiones comparables al cabello humano.

1.2) ESTRUCTURA DE LAS FIBRAS OPTICAS

Esta consiste esencialmente de un material dieléctrico interno denominado núcleo, envuelto con otro dieléctrico con menor índice de refracción - llamado revestimiento, cubierta y protección.

(fig. 1.2)

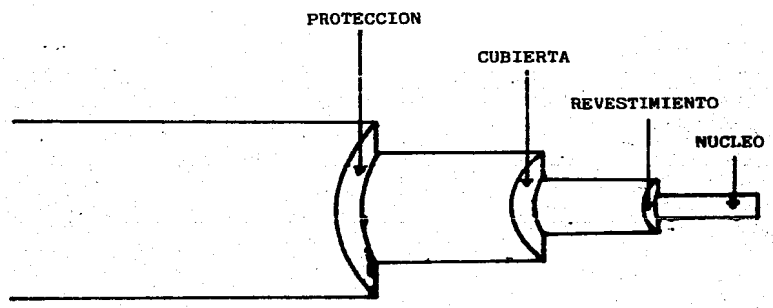


FIG. 1.2) PARTES QUE CONFORMAN LA FIBRA

1.3) REFLEXION Y REFRACCION DE LA LUZ

La luz se propaga en forma rectilínea dentro de un mismo medio invariable, sin embargo, cuándo la luz pasa a un medio diferente cambia su trayectoria.

Para realizar una transmisión óptica y diseñar un sistema óptico no se debe considerar únicamente la atenuación de los pulsos de luz propagados en una guíaonda óptica, se debe considerar también en los pulsos de luz propagados la distorsión obtenida por dispersión.

La forma más sencilla de considerar la transmisión sobre guíaondas ópticas es pensar en términos de reflexión total, en un medio de índice de refracción n_1 , en la frontera con un medio n_2 , donde n_1 es mayor que n_2 . Esta es la situación en una fibra multimodo típica tal como se observa en la Fig. 1.3, que tendría un núcleo circular de diámetro d y un índice de refracción uniforme n_1 , rodeado por una capa de índice de refracción n_2 . La luz que penetra en el núcleo según ángulos hasta θ_1 , se propagará por el interior del núcleo según ángulo hasta θ_2 respecto del eje. Los ángulos máximos de incidencia y penetración vienen dados por la apertura numérica AN:

$$AN = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} = \text{Sen } \theta_1 = n_1 \text{ Sen } \theta_2$$

Puesto que se trata de una propagación electromagnética por guíaonda, solamente se pueden propagar algunos modos, que pueden considerarse como rayos que corresponden a valores específicos de θ_2 .

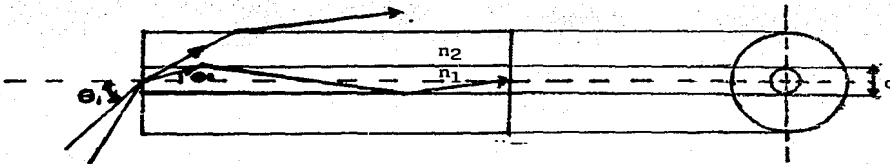


FIG. 1.3 DIAGRAMA DE RAYOS EN UNA FIBRA OPTICA

El número de modos depende sobre todo de:

- La apertura numérica ----- AN
- El diámetro del núcleo de la fibra --- d
- Longitud de onda de la luz ----- λ

Así para una combinación dada de índices de refracción, a medida que se reduce el diámetro del núcleo, disminuye el número de modos que se propagan, cuando eventualmente el diámetro llega a ser del mismo orden de magnitud que la longitud de onda de la luz, solamente se propagará un modo simple

II) TIPOS DE FIBRAS OPTICAS

En la clasificación de fibras ópticas, encontramos que de acuerdo al número de modos que se propagan en las fibras éstas se clasifican en:

2.1) FIBRAS MONOMODO O DE MODO UNICO

Las fibras de modo único, son fibras que aceptan la programación de un solo modo, generalmente es una guíaonda óptica de bajas pérdidas con un núcleo pequeño, requiere de una fuente laser para la señal de entrada debido

a su pequeño cono de aceptación y debido a que el radio del núcleo se aproxima a la longitud de onda de la fuente, solo un modo se propaga.

Este tipo de fibras se caracterizan por tener un ancho de banda muy grande y por su capacidad de eliminar la disposición modal, pero su acoplamiento con la fuente de la luz es extremadamente difícil. (Fig. 2.1)

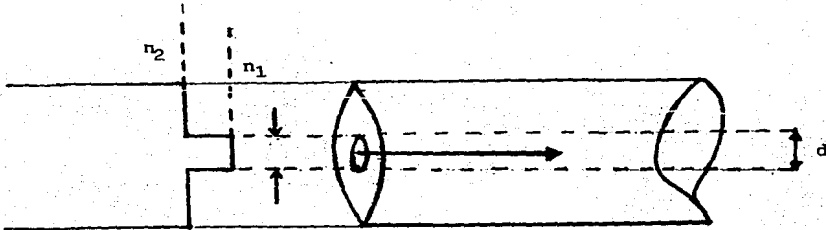


FIG. 2.1 FIBRA MONOMODO

2.2) FIBRAS MULTIMODO

En la fig. 2.2 se muestra el diagrama típico de rayos de un diodo emisor de la luz en la proximidad de una fibra multimodo. Esta representación

muestra varios detalles.

Primeramente, para acoplar lo más posible la luz del diodo a la fibra, la superficie activa del diodo debe tener un diámetro no mayor que el de la fibra. Esto es debido a que la mayor parte de la luz procedente de las áreas exteriores a este círculo es muy probable que entre en la cubierta y no contribuya útilmente a la potencia de la señal propagada.

La penalización por esta mejora del acoplamiento es la dispersión producida por la mayor diferencia de caminos entre los modos extremos propagados. Considerando, la máxima diferencia en la longitud de caminos entre su rayo de propagación paralela al eje y un rayo que se propaga según un ángulo máximo, es posible calcular la dispersión de impulsos debida a los diferentes tiempos tomados por la energía para propagarse por los caminos diferentes. Debido a esto los pulsos de la luz son distorsionados y dispersados a lo largo de la fibra.

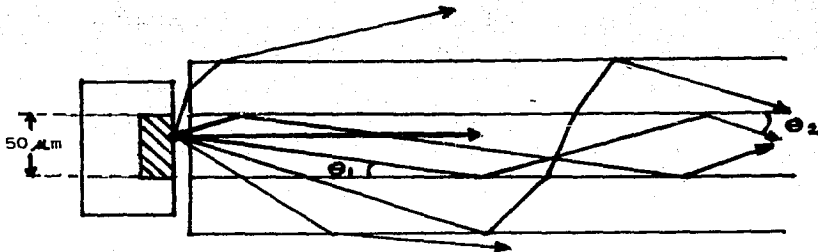


FIG. 2.2. DIAGRAMA DE UN RAYO SIMPLE QUE MUESTRA LAS CONDICIONES DE EMISION DE UN LED HACIA UNA FIBRA MULTIMODO.

De acuerdo con el tipo de perfil de índice de refracción del núcleo - las fibras multimodo se clasifican en fibras ópticas de índice escalonado y de índice gradual; en estos tipos se propaga más de un modo permitiendo que - los rayos no axiales se propaguen a través del núcleo.

FIBRAS MULTIMODO DE INDICE ESCALONADO. Estas tienen un cambio brusco en el índice de refracción entre el núcleo y el revestimiento, con el índice de refracción del núcleo ligeramente mayor al del revestimiento (del 0.7 al 2%).

En la fig. 2.3 se muestra una fibra de índice escalonado, este comprende un núcleo de radio a , e índice de refracción n_1 , rodeada por una cubierta de índice de refracción menor n_2 .

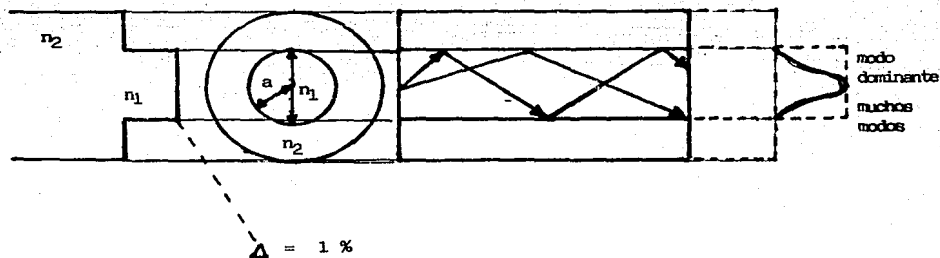


FIG. 2.3 FIBRA MULTIMODO DE INDICE ESCALONADO

$$\text{DONDE: } n_2 = n_1 (1 - \Delta)$$

La frecuencia normalizada es un parámetro usado para caracterizar los modos conducidos por la fibra.

$$v = K a (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} = n_1 K a (\Delta)^{1/2}$$

$$\text{Donde: } K = \frac{2\pi}{\lambda}$$

λ = longitud de onda en el espacio libre de la luz conducida.

El número de modos se puede calcular de la siguiente forma:

$$N \text{ modos} = \frac{v^2}{2} (n_1 K a)^2 \Delta$$

La fibra multimodo de índice escalonado puede conducir 800 modos. Un análisis de los rayos indica que para una fibra geométrica perfecta con $\Delta = 1\%$, el intervalo de tiempo entre el más rápido y el más lento de los modos será de 60 nano seg. después de la propagación a través de 1 Km. de fibra.

Este tipo de fibra tiene una fuerte restricción de la capacidad de transporte de información debida a la dispersión de modos.

Cuando las diferencias entre los índices de refracción son pequeñas y que la dispersión del material es similar en todas las regiones, los modos axiales evolucionan rápidamente desde la constante de propagación más lenta a la más rápida cuando se aproximan al corte.

En las fibras de índice escalonado la diferencia entre los índices del núcleo y el revestimiento es pequeña para que el ángulo crítico tome un valor grande con objeto de que los rayos se reflejen en el núcleo casi paralelos al eje de la fibra.

FIBRAS MULTIMODO DE INDICE GRADUAL. Estas tienen un índice de refracción que varía en función a la distancia radial desde el eje de la fibra, con un valor máximo en el centro de la fibra que decrece a medida que se incrementa la distancia radial del núcleo.

En lo que respecta a las fibras de índice gradual, el índice de refracción variable permite que los rayos de luz sean continuamente reenfocados por la refracción del núcleo; debido a la diferencia que existe entre la velocidad de propagación y los índices de refracción, los rayos de luz que viajan a lo largo de la línea central tienen una velocidad de propagación más baja que los rayos de luz más alejados de la línea central de la fibra, esta característica permite que los dos tipos de rayos coincidan en el tiempo.

Este tipo de fibra muestra una convergencia focal periódica de la luz emitida por una fuente puntual como se observa en la fig. 2.4

$$n = n_1 \left[1 - \Delta \left(\frac{r}{a} \right)^2 \right] \quad \text{para } 0 \leq r \leq a$$

$$\text{Donde: } n = n_1 \left[1 - \Delta \right] \quad \text{para } r > a$$

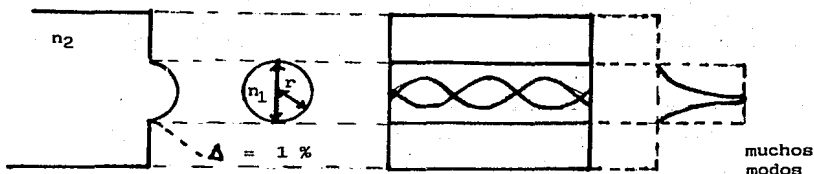


FIG. 2.4 FIBRA MULTIMODO DE INDICE GRADUAL

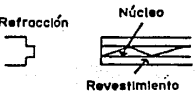
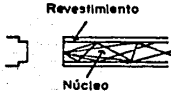

Su más importante propiedad desde el punto de vista del ingeniero en comunicaciones se basa en su dispersión de modos, si sólo se consideran los modos axiales, entonces la velocidad de grupo de todos los modos será casi idéntica. Sin embargo aún cuando se consideren también los modos oblicuos, un valor de α próximo a 2 representa una reducción drástica de la dispersión modal.

En esta fibra multimodo con el mismo valor de a y Δ que el de la fibra de índice escalonado solamente se propagan la mitad de modos. Si la frecuencia normalizada de guíaonda de fibra óptica se reduce, bien por reducción del diámetro del núcleo ó bien por reducción de las frecuencias de los índices de refracción del núcleo y cubierta, el número de modos propagados se reducirá también.

Las fibras de índice gradual pueden reducir su frecuencia normalizada hasta que solamente se propague el modo dominante.

La principal diferencia entre los tipos de fibra multimodo y monomodo es que la dispersión del pulso es causada por la diferencia efectiva de las velocidades de transmisión de los modos de luz. Esto es indicado por la diferencia en la longitud de la trayectoria de los rayos mostrado en el caso de multimodo. Cada modo corresponde a un haz de rayos de luz los cuáles golpean la cubierta del núcleo y son por lo tanto reflejados.

En la tabla I y II se presentan las características principales de estos tipos de fibras.

	FIBRAS DE MODO UNICO	FIBRAS MULTIMODO	
		Indice Escalon	Indice Gradual
Perfiles de Índice de Refracción y Propagación de Modo Óptico	Perfil del Índice de Refracción 		
Dímetro de Núcleo	algunos μm	40 ~ 100 μm	40 ~ 100 μm
Diferencia del Índice de Refracción Relativo =	0.1 ~ 0.3%	0.6 ~ 3%	0.8 ~ 1.5%
Pérdida de Propagación	La pérdida de propagación no depende de la clasificación precedente, siendo determinada básicamente por los componentes utilizados. Los valores representativos de la fibra de sílice fundido son: 3 dB/Km (para 0.85 μm de longitud de onda) y 0.5 dB/Km (para 1.3 μm de longitud de onda)		
Ancho de Banda de la Frecuencia de Banda Base	Mayor que 10 GHz* Km	10 ~ 50 MHz* Km	Varios cientos MHz* Km ~ algunos GHz* Km
Facilidad de empalme (Exactitud necesaria)	Difícil (0.1 μm)	Relativamente sencillo (1 μm)	Relativamente sencillo (1 μm)

* Este valor se define como $\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \times 100$ donde n_1 y n_2 son los índices de refracción del núcleo y el revestimiento, respectivamente.

TABLA I (1) Clasificación de las Fibras Según el Modo de Propagación

Clasificación de la fibra óptica	Material	RASGOS CARACTERÍSTICOS			Clasificación según el modo de Propagación
		Pérdidas	Resistencia	Confiabilidad	
Fibra de sílice	SiO ₂ y dopado (Ge, F, B, F, etc.)	Bajas	Alta	Alta	Modo único, multimodo (índice escalón o índice gradual)
Fibra con núcleo de sílice y revestimiento de plástico	Núcleo: SiO ₂ Revestimiento: resina siliconada	Relativamente Baja	Relativamente Alta	Relativamente Baja	Multimodo con índice escalón
Fibra de vidrio multicompuesto	Cristal de Borosilicato alcalino	Relativamente Baja	Relativamente Baja	Baja	Multimodo (índice escalón o índice gradual)
Fibra de plástico	Varios plásticos	Alta	Baja	Baja	Multimodo

TABLA II - Clasificación de las Fibras Según el Material

III.) TIPOS DE ATENUACION

Existen dos factores muy importantes a considerar para los sistemas de transmisión por fibra óptica.

- ATENUACION
- DISPERSION

3.1) ATENUACION.- La atenuación de la señal (ó pérdida en la fibra óptica) se define como la relación de potencia óptica de salida, "Po" de una fibra de longitud "L" a la potencia óptica de entrada "Pi".

Se emplea la siguiente expresión para la atenuación en dB/Km.

$$\alpha = 10 \log \frac{P_i}{P_o} / L$$

La atenuación esta en función de la longitud de onda (λ) cómo se muestra en la fig. 3.1.

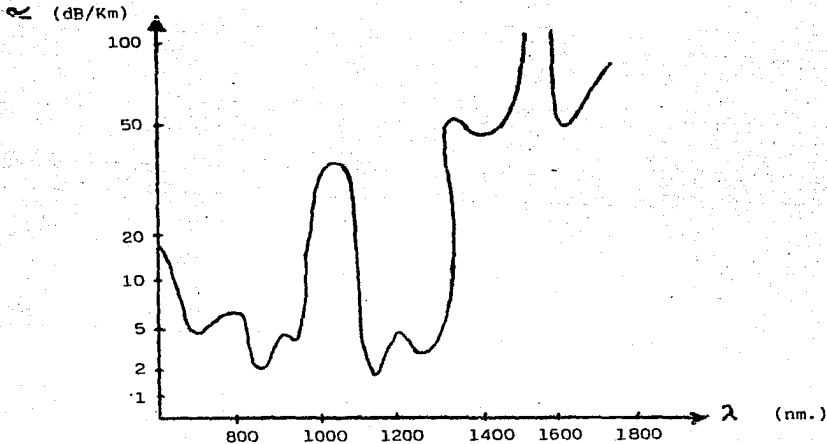


FIG. 3.1 ATENUACION EN FUNCION DE λ .

Los factores que más afectan en la atenuación de la fibra óptica son:

- | | | |
|------------------------------|---|--|
| a) FACTORES INTRINSECOS | } | <ul style="list-style-type: none"> - Absorción del material - Dispersión del material - Dispersión de la guíaonda - Modos de fuga - Diseño de la fibra |
| b) FACTORES EXTERNOS | } | <ul style="list-style-type: none"> - Deformaciones mecánicas (Flexiones) { <ul style="list-style-type: none"> Macroflexión Microflexión - Exposiciones a radiaciones nucleares |
| c) PERDIDAS POR ACOPLAMIENTO | } | <ul style="list-style-type: none"> - Por conexión entre fibras (Conectores y Empalmes) - Por acoplamiento entre fibras y dispositivos ópticos |

a) FACTORES INTRINSECOS.- Absorción del material.- Es causada por tres mecanismos distintos:

1.- Por defectos atómicos de la composición del vidrio, que son imperfecciones en la estructura atómica del material de la fibra. Normalmente estas pérdidas son despreciables en comparación con las otras dos, excepto en ambientes de intensa radiación nuclear donde se vuelve dominante.

2.- Por átomos de impurezas.- Las pérdidas por la presencia de impurezas normalmente son las dominantes. Se debe principalmente por iones de metales de transición (Fe^{2+} , Cu^{2+} , etc.), y por iones de OH que por ejemplo, tiene regiones de absorción fuertes a 720, 950, 1370, nm., con el sobre tono fundamental a 2730 nm. El comportamiento de las pérdidas en la región -

de 0.2 a 1.2 μm se rige aproximadamente por:

$$\alpha_{\text{abs}} = C \times 10^{1/\lambda}$$

donde "C" depende del material, por ejemplo, para "Pure Fused Sílica", $C=0.049$. El efecto que tiene la concentración de iones de impurezas es el siguiente: (se manifiesta como picos de absorción).

ION.- CONCENTRACION PARA dB/Km DE PERDIDAS EN VIDRIO
(SE MANIFIESTA COMO PICOS DE ABSORCION)

OH -----	1.25	PARTES EN 10^6	EN $\lambda = 950 \text{ nm.}$
Cu -----	2.5	PARTES EN 10^9	
Fe -----	1	PARTES EN 10^9	
Cp -----	1	PARTES EN 10^9	

Tan altas purzas se logran como técnicas de CVD (Chemical Vapor Deposition) usadas en la fabricación de semiconductores.

3.- Por absorción intrínseca del material básico en la F.O. Esto se asocia con el material básico de la fibra (por ejemplo SiO_2) ocurre cuando el material esta en perfecto estado, es decir sin variaciones en densidad, impurezas y sin inhomogeneidades.

Esta absorción nos pone el límite fundamental más bajo en cualquier material.

-) Dispersión del material.- Hay una serie de mecanismos de dispersión que contribuyen a las pérdidas y son función de las propiedades del material, estas son:

1) DISPERSION DE RAYLEIGH.- Es causada por variaciones en el índice de refracción en distancias comparables a λ . Tales variaciones se gene

ran por fluctuaciones térmicas, fluctuaciones en la concentración de los -- compuestos, etc., al momento de la fabricación. Se cree que esta dispersión es el límite más bajo que se puede lograr en las fibras ópticas de vidrio, - en cuánto a las pérdidas.

2) DISPERSION DE MIE.- Es causada por inhomogeneidades comparables en tamaño a λ ; lo que tiene características de dispersión de regreso.

3) DISPERSION ESTIMADA DE RAMAN Y BRIOLLOVIN.- Son efectos no lineales que ocurren después de que se sobrepasa un umbral de potencia; estos - efectos no ponen un límite superior al nivel de potencia que puede manejar la fibra óptica.

-) Dispersión de la guíaonda.- Las variaciones en el diámetro del núcleo pueden causar transferencia de energía de un modo a otro.

Si la transferencia es hacia modos de radiación se pierde potencia.

Afortunadamente, los controles de las técnicas de fabricación actuales permiten un buen control de las dimensiones del núcleo ($\approx 1\%$), lo que hace estas pérdidas sean despreciables.

-) Modos de fuga.- Son los que son refractados hacia el revestimiento, esto reduce la potencia acoplada a la fibra, ya que los modos que se propagan por el revestimiento no llegan más allá de unos cientos de metros.

-) Diseño de la fibra.- Se debe diseñar para que muy poca potencia - viaje por el revestimiento o en su defecto, hacer el material del revesti-- miento de pérdidas comparables a las del núcleo.

b).- FACTORES EXTERNOS

-) Deformaciones mecánicas (flexiones)

1) Macroflexiones.- El uso práctico de las fibras ópticas hace las flexiones inevitables y esto induce pérdidas por radiación, y se debe a que por las flexiones algunos rayos alcanzan a cumplir con el principio de la RTI., conforme el radio de curvatura decrece, las pérdidas se incrementan exponencialmente lo cuál tiene el efecto de que en algún ángulo crítico las pérdidas se conviertan de despreciables a prohibitivas.

2) Microflexiones.- Hay pérdidas de radiación en las fibras ópticas que resultan de acoplamiento de modos por microflexiones aleatorias. Las microflexiones son cambios frecuentes en el radio de curvatura de la fibra óptica.

-) Exposiciones a radiaciones nucleares.- La atenuación óptica en la guíaonda puede ser fuertemente afectada por la exposición a radiaciones nucleares. Esto se debe esencialmente a los efectos ionizantes que causan centros de absorción luminosa en el material de radiación afecta de distinta manera a las fibras, dependiendo del material con que esten hechas; también hay una dependencia con λ , en general, conforme aumenta la intensidad de la radiación, aumentan las pérdidas. Se recomienda que en la operación de enlaces de fibra óptica en estos ambientes se elija cuidadosamente el tipo de fibra, el material con que esta hecha y la longitud de onda de operación.

Las más bajas pérdidas han sido logradas con fibras de Silíceo dopadas y empleando la técnica CVD, por ejemplo se han logrado:

0.46 dB/Km a $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ con $\text{GeO}_2 - \text{SiO}_2$

0.47 dB/Km a $\lambda = 1.27 \mu\text{m}$ con $\text{P}_2\text{O}_5 - \text{SiO}_2$

0.2 dB/Km a $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ con $\text{GeO}_2 - \text{SiO}_2$

3.2).- DISPERSION.- La capacidad de información de una fibra óptica, es decir, la máxima cantidad de información que se puede transmitir por unidad de tiempo, esta limitada por la distorsión de la señal. Para sistemas digitales se manifiesta como ensanchamiento del pulso. La distorsión es consecuencia de dos efectos:

1).- DISPERSION INTRAMODAL.- Esta se debe al ensanchamiento del pulso dentro de un modo, resulta ya que la velocidad de grupo es función de λ , y también se conoce como dispersión cromática. Hay dos causas principales para la dispersión intramodal y son:

a).- Dispersión debida al material.- Ocurre cuando el índice de refracción varía como una función no lineal de la λ .

b).- Dispersión de la guíaonda.- Es debido a que la constante de propagación modal, β , es una función de a/λ , (a es el radio del núcleo).

2).- RETARDO INTRAMODAL.- Esta resulta debido a la diferencia entre las velocidades de grupo de los diversos modos. Normalmente en fibras multimodo la dispersión de la guíaonda es despreciable en comparación con las otras dos. Sin embargo en las fibras monomodo el retardo intermodal no se considera y los otros dos si.

IV).- FUENTES OPTICAS

4.1).- FUENTES LUMINOSAS

Los sistemas de fibras ópticas, generalmente utilizan dos tipos de fuentes, los diodos emisores de luz (LEDs) y los diodos laser, los primeros dan una potencia de salida menor que los segundos, sin embargo, el costo y la complejidad en la estructura de los LEDs es menor que la de los laser.

Estos dos tipos de fuentes de luz son los más versátiles en virtud de que la señal de salida se puede controlar en forma muy rápida modificando su corriente de polarización, otras características importantes tales como su - alta brillantez, pequeño tamaño, emisión de longitud de onda y voltaje de excitación bajo los hacen muy atractivos.

Los LED's y los Laser tienen la peculiaridad de que ofrecen un pico de emisión en la longitud cercana a los 480 nm. de manera que las fibras ópti--cas de bajas y medianas pérdidas presentan una buena respuesta a esta longi--tud de onda en las regiones cercanas.

1).- DIODO EMISOR DE LUZ (LED).- Es una fuente de luz no coherente, - es de fácil manejo y es adecuado para sistemas de corto alcance que transmi--ten señales digitales de frecuencia del orden de decenas de M bits/seg. En este tipo de dispositivo, cuando la unión p-n se polariza en sentido directo ocurre una emisión espontánea de fotones debido a la recombinación de los pa--res electrón-hueco. La magnitud de la energía de los fotones y su longitud de onda dependen del salto de energía entre las bandas de valencia y conduc--ción del semiconductor; en los LED's de GaAs, la longitud de onda corresponde a 850 nm. aproximadamente y puede modificarse con adulteraciones de alumi--nio. Los LED's tienen una esperanza de vida de 10^6 horas.

2).- RAYOS LASER.- Los rayos laser son fuentes de luz coherentes, es decir, la radiación electromagnética del laser es monocromática (una sola - frecuencia) y además tiene la misma fase (es coherente) y pueden transmitir señales digitales del orden de cientos de M bits/seg. en transmisiones de lar--go alcance.

Básicamente hay tres tipos de rayos laser:

- 1) El Rayo Laser de Estructura Homogénea
- 2) El Rayo Laser de Estructura Heterogénea Sencilla
- 3) El Rayo Laser de Estructura Heterogénea Doble

Los rayos laser de estructura heterogénea doble son los que tienen -- una mayor eficiencia debido a que requieren menor corriente para producir el efecto laser. Este tipo de laser está formado por películas de GaAs y GaAsAl; las películas son adulteradas con diversos elementos para hacer los tipos "p" o los tipos "n". (Ver. figura 4.1.)

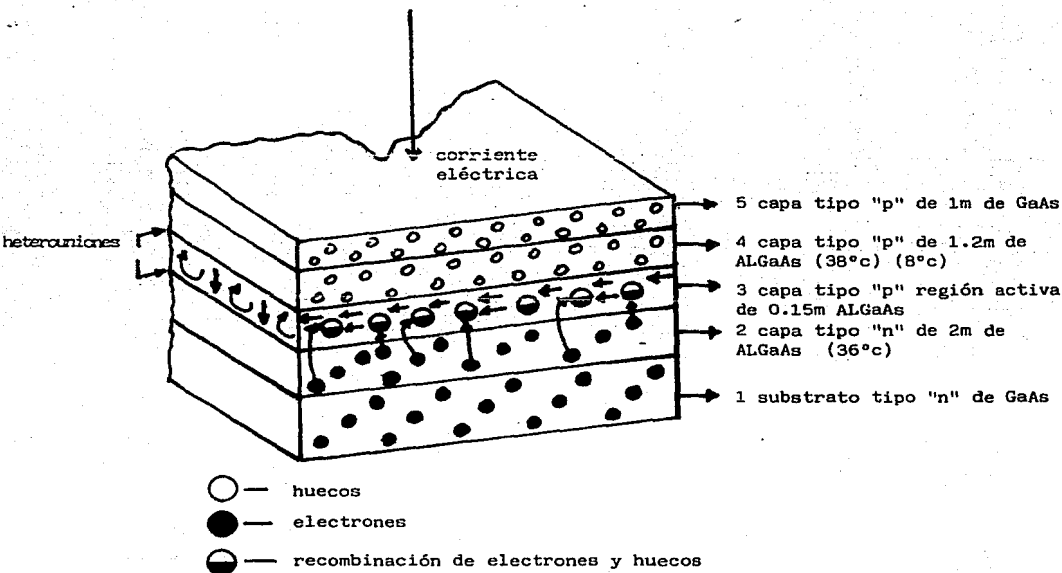


FIG. 4.1. LASER DE ESTRUCTURA HETEROGENEA DOBLE

La región activa, donde se produce el efecto laser, es una película - de material tipo "p" de GaAsAl limitado en la parte superior por una capa de material tipo "p" de GaAsAl y en la parte inferior por un material tipo "n" de GaAsAl; cuando una corriente eléctrica atraviesa las capas, los electro- nes en la capa 2 adquieren bastante energía de tal forma que pueden penetrar a través de la unión p-n hacia la región activa; simultáneamente, los huecos penetran la región activa desde la capa 4. En la región activa los electro- nes inyectados tienen una alta energía, más de lo normal para un material ti- po "p", de manera que de una forma espontánea se recombinan con huecos ante- riores de la región activa y con huecos inyectados desde la capa 4 en el pro- ceso de recombinación los electrones adoptan un estado de baja energía debi- do a la emisión de un fotón en el proceso, por otro lado, cuando un fotón - emitido espontáneamente choca con un electrón que aún no se ha recombinado y aún se encuentra en estado excitado, el electrón cae a un estado de baja -- energía y produce un fotón que tiene la misma frecuencia, dirección y fase - que el fotón incidente, produciéndose un proceso de emisión estimulada; el - resultado de todo este proceso es la producción de un rayo de luz coherente.

V) FOTODETECTOR PARA FIBRAS OPTICAS

5.1).- FOTODETECTORES.- La función que desempeña un fotodetector en - un sistema de transmisión por fibra óptica, es demodular la señal óptica, es decir, convertir las variaciones ópticas en variaciones eléctricas, las cuá- les después serán amplificadas y procesadas. Básicamente existen dos tipos de fotodetectores:

1) EL DIODO "PIN".- La estructura del dispositivo consiste en regiones tipo "p" y "n" separadas por una región intrínseca "i" dopada muy ligeramen-

te. En operación normal, el fotodiodo se polariza inversamente de manera - que se generan pares electrón-hueco de acuerdo al efecto fotovoltaico; por lo que los portadores son arrastrados por el intenso campo eléctrico a la - zona de depleción. Al aplicar una tensión inversa se depleciona la región intrínseca y los portadores derivan con velocidades próximas a sus velocida des máximas de deriva, reduciendo así el tiempo de respuesta al mínimo. (Ver figura 5.1)

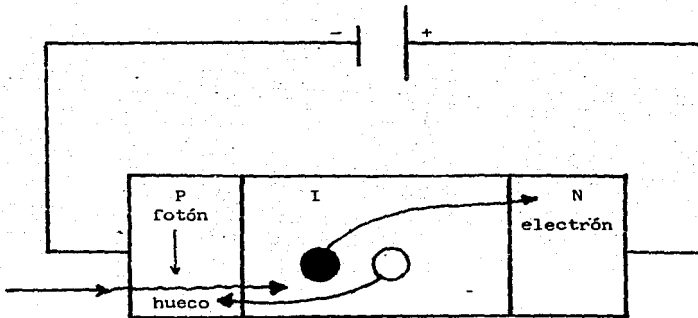


FIG. 5.1 COMPOSICION BASICA DEL FOTODIODO (PIN)

2) EL DIODO DE AVALANCHA "APD".- Es esencialmente un dispositivo de unión "p-n" compuesta de cuatro capas. (Ver. figura 5.2)

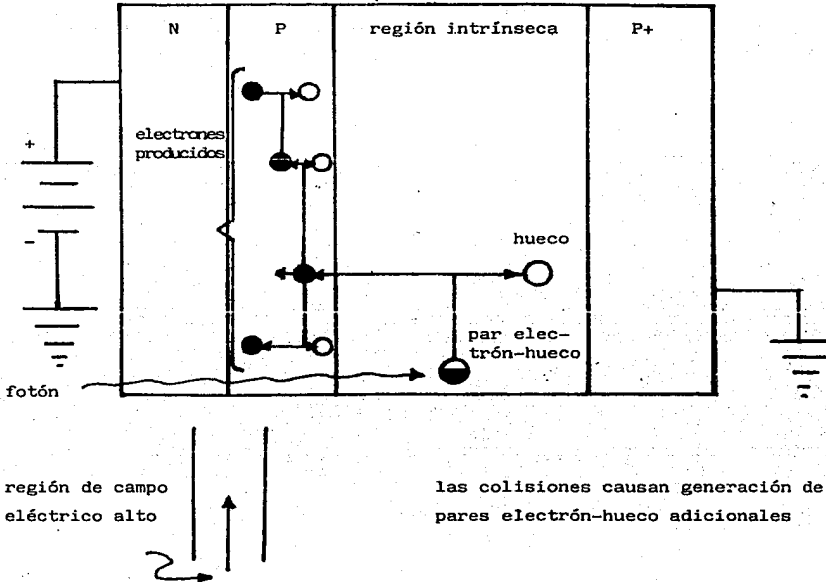


FIG. 5.2 ESTRUCTURA DE UN FOTODIODO DE AVALANCHA (APD)

La primera capa es de material tipo "n" seguido de una capa tipo "p", una capa de alta resistividad ó capa intrínseca y una capa de material "p+",

es decir, altamente dopada con material tipo "p".

La luz que proviene de la fibra óptica, entra al fotodiodo a través de la capa "n" y penetra a la región intrínseca, en donde los fotones generan pares electrón-hueco; los huecos son atraídos a la región "p+" y los electrones son atraídos a la región "p", creandose una corriente.

La colisión de electrones en la región "p", genera más pares electrón hueco produciendose un efecto de avalancha, lo cuál da al dispositivo alta ganancia de potencia de la señal a través del diodo.

El fotodetector de avalancha es más conveniente que el fotodiodo PIN, en los sistemas que requieran grandes anchos de bandas, sin embargo, requiere de una alta velocidad de transmisión (G bits/seg) y modulación por pulsos codificados.

El diodo APD es más costoso que el diodo PIN debido a que necesita una fuente auxiliar de alto voltaje, sin embargo, proporciona mayor sensibilidad debido a la ganancia del efecto avalancha.

C A P I T U L O I I

II).- TECNOLOGIA DE CABLES

2.1) TECNICAS DE FABRICACION.- Con el propósito de entender como funciona la fibra óptica, es muy útil profundizar un poco en su fabricación. - Los dos procesos usados comunmente son lós siguientes:

1) DEPOSITO POR VAPOR QUIMICO.- Este proceso se ilustra en la figura 2.1. Es una mezcla de gases que pasa por un tubo de silicio, el cuál esta - rotando mientras que el exterior del tubo está calentandose. La temperatura se debe elevar lo suficiente para permitir el depósito de vidrio al interior del tubo.

Variando la mezcla de los gases se logra variar el índice refractario del vidrio con cada paso del tubo por la flama caliente. De esta manera se logra hacer un tubo de vidrio de una estructura en el cuál se va cambiando - gradualmente el índice de refracción. El siguiente paso es calentar el tubo hasta que el silicio del exterior se ablande a tal grado que la tensión superficial hace que el tubo se desplome en una forma sólida (desaparece la cavidad del tubo para formarse una varilla sólida). De esta varilla que tiene normalmente un metro de longitud, se puede estirar hasta obtener 2 Kms. ó - más de fibra. Al mismo tiempo, se puede ir cubriendo de una capa delgada de resina con lo que se preserva su rigidez longitudinal y se evitan así posibles micro-rupturas en su superficie.

2) PROCESO DE DOBLE CRISOL.- Este consiste en un crisol interno, conteniendo vidrio fundido de cierto índice de refracción tiene alrededor otro crisol concéntrico conteniendo fibra de un índice menor. Este segundo método

do de fabricación se ilustra en la figura 2.2.

De la fibra se tira a través de una boquilla concéntrica, las dimensiones de la boquilla y la temperatura del vidrio dan un control del perfil de índice de refracción a través del diámetro de la fibra. Igual que el proceso anterior, se pone una capa protectora para conservar la rígidez longitudinal de la fibra que se fabrica.

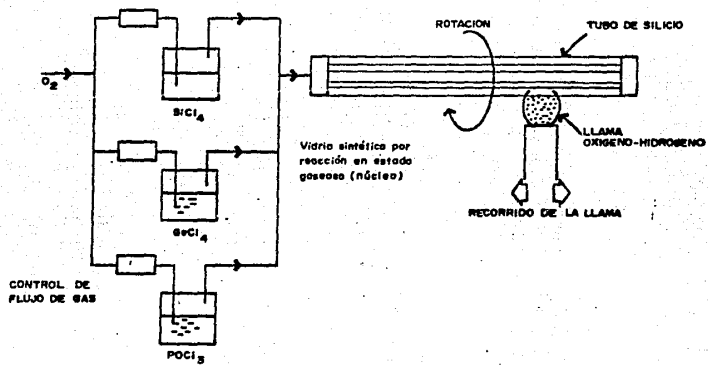


FIG. 2.1 Proceso MCVD para Fabricación de Fibras Ópticas

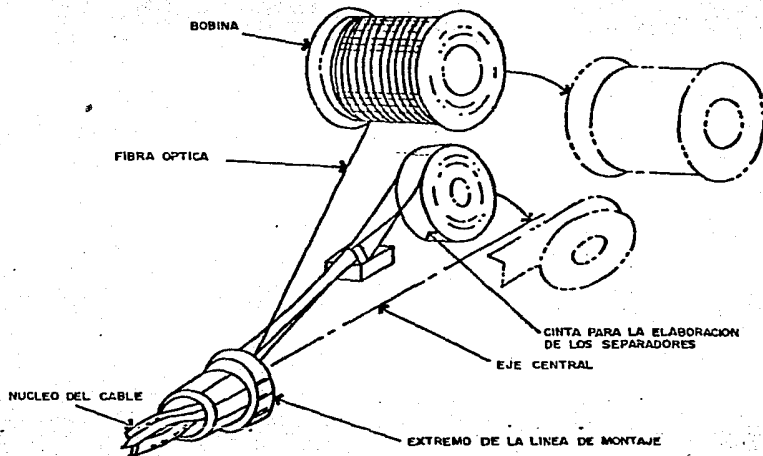


FIG. 2.1)- Proceso de Trenzado de Fibras Opticas

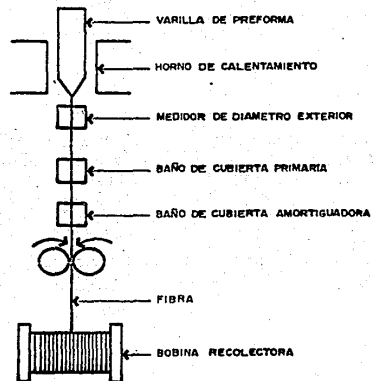
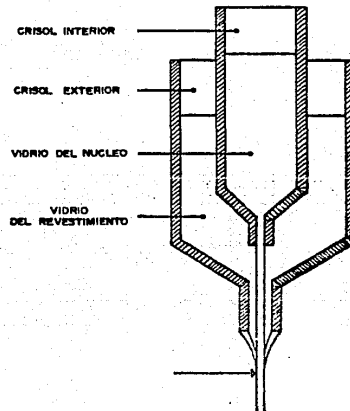


FIG. 2.1 - Estirado de la Fibra y Envoltura de Protección



DC para la Fabricación de Fibras Ópticas

Existen diferentes tipos de cables de fibras, de acuerdo al lugar -- donde se instalarán, en la figura 2.3 se da un ejemplo.

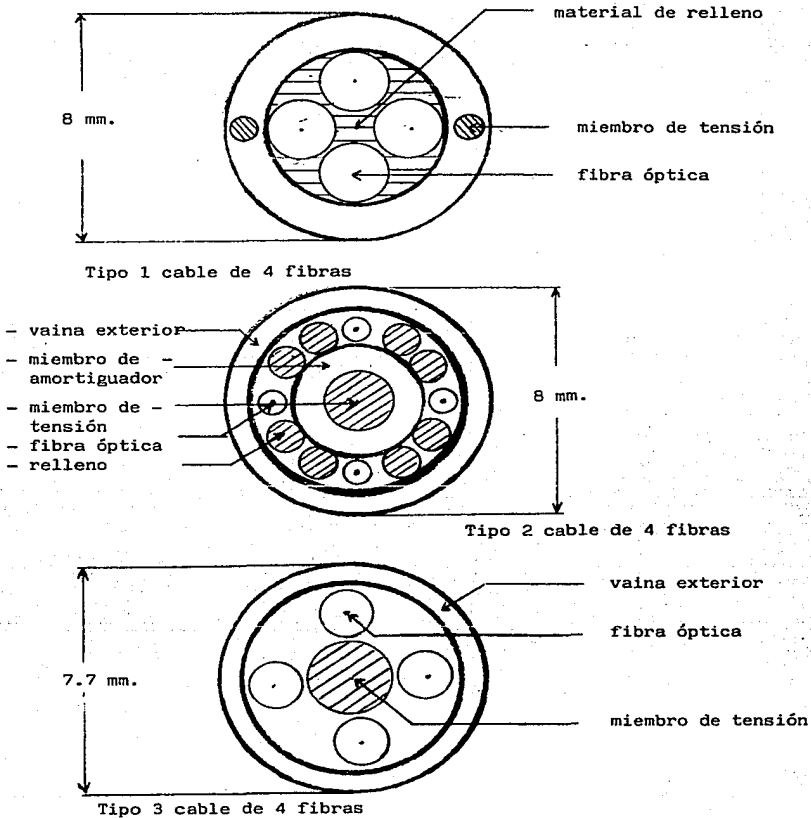


FIG. 2.3 DIFERENTES TIPOS DE CABLES DE F.O.

1) ALTA NA, fibras multimodo de ancho de banda moderado son aplicables en sistemas hasta 2 M bits/seg.

2) MEDIANA NA, fibras de índice gradual con mayor ancho de banda se pueden aplicar en sistemas hasta 140 M bits/seg.

3) MEDIANA NA, fibras monomodo con un gran ancho de banda (mayor a 1 Giga bit/seg.) son técnicamente factibles a nivel laboratorio, pero las técnicas de soporte como empalmes, conectores y acoplamiento óptico, aunque son técnicamente factibles, aún estan en desarrollo industrial. El tipo dos, promete hoy en día la mayor versatilidad y mayor número de aplicaciones a futuro.

2.2) TECNICAS DE CONECTARIZACION.- Los conectores surgen como una necesidad de realizar fáciles y rápidas instalaciones o reemplazos, de los equipos transmisores y receptores en los extremos terminales, estos permiten además la capacidad de interconexión entre enlaces y facilitan, la inspección y prueba tanto en la fabricación, como en el campo. Ya que las fibras ópticas modernas, tienen muy baja atenuación por unidad de longitud, los conectores empalmes, acopladores y otros componentes pasivos, deben diseñarse para una muy baja pérdida por inserción. Por ejemplo un conector con una pérdida por inserción, de 3 dB produce una atenuación de la señal equivalente a la producida por:

1 Km. de fibra a 0.85 μ m.

3 Km. de fibra a 1.3 μ m.

6 Km. de fibra a 1.5 μ m.

por lo que, se desea en general que la pérdida por inserción de un elemento pasivo sea de 1 dB. ó menos, lo cuál se ha logrado después de muchos años de

investigación y desarrollo.

Para definir un conector de fibra óptica, éste debe transferir la señal óptica de una fibra a otra con el mínimo de atenuación. El conector debe ser fácil de usar e instalar, tanto en las fábricas y laboratorios, como en el campo, con la ayuda de herramientas adecuadas y al mismo tiempo debe ser capaz de soportar condiciones ambientales hostiles, térmicas y mecánicas sin degradar su funcionamiento, manteniendo la alineación necesaria y precisa entre las dos fibras.

En general los efectos de la unión entre dos fibras sobre la propagación de la luz, debe quedar claramente entendidos, principalmente por los ingenieros responsables del diseño completo de los sistemas de fibra óptica.

Existen algunos parámetros importantes que influyen en la pérdida adicional debido a la existencia de una unión, estos se dividen en:

- a) **PARAMETROS INTRINSECOS.**- Relacionados con las propiedades de las fibras.
- b) **PARAMETROS EXTRINSECOS.**- Relacionados con las técnicas de unión.
- c) **PARAMETROS DEL SISTEMA.**- Relacionados con las condiciones de propagación de la luz, en la dirección de propagación de la luz y en la dirección contraria a la propagación de la luz.

a) **PARAMETROS INTRINSECOS.**- Las fibras ópticas son fabricadas con una cierta tolerancia, que se traduce en variaciones de sus características ópticas geométricas, esto, invariablemente da lugar a pérdidas en la potencia óptica cuando dos fibras se unen y cuando sus núcleos se alinean perfectamente a lo largo de sus ejes. Los principales parámetros de interés de la fibra son:

- El diámetro del núcleo
- La apertura numérica
- El perfil del índice de refracción

Otros parámetros intrínsecos de la fibra que pueden entrar en juego - en una unión son: la excentricidad del núcleo respecto al revestimiento y - las variaciones del diámetro exterior de la fibra así como los casos en que el núcleo sea elíptico.

b) PARAMETROS EXTRINSECOS.- Estos se refieren a las técnicas de unión y son lo más importante.

- 1) DESALINEAMIENTO TRANSVERSAL O AXIAL (δ) (Ver. fig. 2.4.)

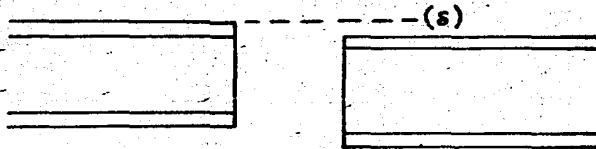


FIG. 2.4 ALINEACION LATERAL

2) DESALINEAMIENTO ANGULAR (\ominus) DE LAS DOS FIBRAS (Ver. fig. 2.5)

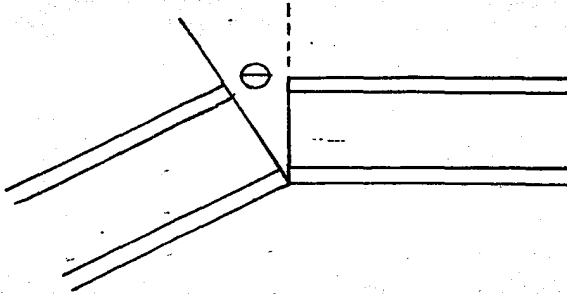


FIG. 2.5 ALINEACION ANGULAR

3) LA DISTANCIA ENTRE LAS CARAS (SUPERFICIES TRANSVERSALES) DE LAS DOS FIBRAS, A LO CUAL SE LE LLAMA SEPARACION (d) (Ver. fig. 2.6)

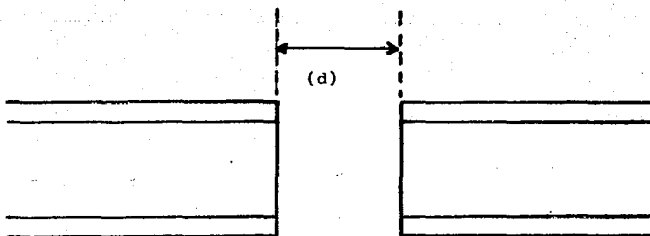


FIG. 2.6 SEPARACION ENTRE LOS EXTREMOS DE LAS FIBRAS

4) EL ESTADO DE LAS SUPERFICIES TRANSVERSALES (CARAS) DE LAS FIBRAS -
(RUGOSIDADES-NO PERPENDICULARES) (Ver. fig. 2.7)

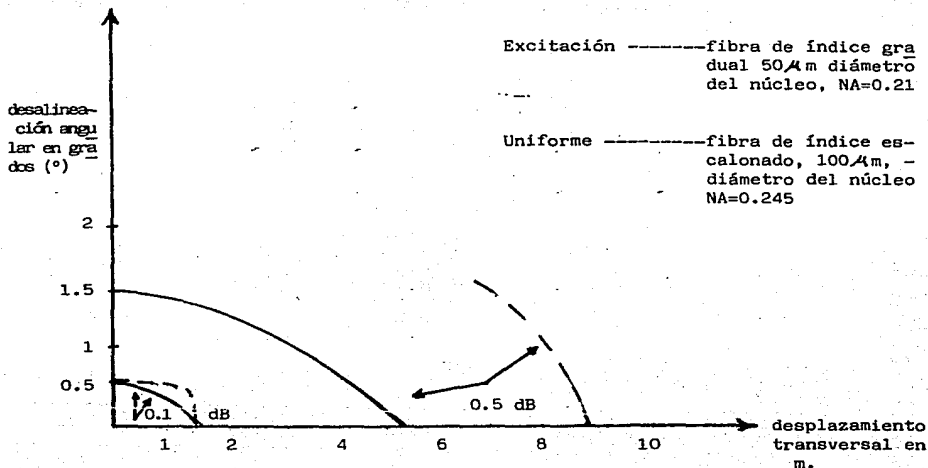


FIG. 2.7 EFECTO COMBINADO DE UN DESALINEAMIENTO ANGULAR Y UN DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL PARA NIVELAR LOS TIPOS DE FIBRAS.

La curva que se muestra en la figura 2.7 muestra la combinación de los efectos de desacoplamiento transversal y angular para dos valores (0.1 y 0.5 dB) y para dos tipos de fibras, de índice gradual de 50 μm de diámetro del núcleo y para índice escalonado con un diámetro del núcleo de 100 μm se puede deducir que se logra una pérdida de Fresnel, con valores típicos de $\delta = 5 \mu\text{m}$. y $\theta = 0.5^\circ$ (y suponiendo que las dos fibras a unir tienen igual diámetro de núcleo, aperturas numéricas y perfiles de índice).

c) PARAMETROS DEL SISTEMA.- La pérdida real debido a la unión entre fibra y fibra depende de las características del total del sistema así como las fibras y de las técnicas de unión. Las pérdidas en la unión se deben al acoplamiento local entre los varios modos de propagación. Por estas razones la pérdida aparente debido a la inserción de un conector depende de:

-) La condición de propagación de la luz que va hacia el conector por ejemplo el tipo de fuente y la longitud de la fibra entre la fuente y el conector y la posible presencia de otros conectores y empalmes.

Las condiciones de propagación en el sentido de alejarse del conector en cuanto que el conector modifica la distribución de energía entre los varios modos de propagación, y esto influye en las pérdidas en la sección que se aleja del conector.

Profundos estudios de este fenómeno muestran que para fibras de índice gradual empleadas en telecomunicaciones, la influencia de la separación transversal en las pérdidas por conexión depende muy poco de la naturaleza de la fuente de luz (LED o LASER) o de las propiedades de las fibras a unir, (suponiendo que estas sean idénticas) de manera que exista suficiente longitud (> 1000 mt.) de fibra después del conector. Lo mismo se aplica al efecto de potencial en cascada, cuando varios conectores se instalan muy cerca unos de otros, a lo largo de un enlace de fibra óptica. El efecto de cascada puede sin embargo traducirse en una degradación del funcionamiento del conector, cuando se mide inmediatamente después de la zona de conexión.

2.3) TECNICAS DE EMPALME

En la red de larga distancia uno de los requisitos importantes es obtener el mayor espaciamiento entre repetidores, cada fracción de decibel de pérdida es crítica, además el empleo de las fibras tipo monomodo en L.D. hace que los aspectos de empalme sean más estrictos. Ha surgido, toda una tecnología en torno a los métodos de empalme, para lograr cada vez menor pérdida por empalme. Existen básicamente dos métodos de empalme de fibras ópticas y son:

1) METODO MECANICO DE EMPALME. Se basa en la alineación de las dos fibras mediante un conector conocido como de guía en V (V-GROOVE) (Ver. fig. - 2.8), una vez preparada la fibra se colocan las fibras en posición de empalme y se presionan una contra la otra en el conector. Las fibras quedan perfectamente fijas mediante la aplicación de una sustancia que solidifica rápidamente y que además sirve como acoplador de índice, posteriormente se protege el empalme para evitar variaciones por efectos mecánicos o de cambios de temperatura.

Se logran teóricamente mediante este procedimiento, pérdidas por empalme hasta de 0.1 dB, sin embargo en la práctica se obtiene mayor pérdida debido a las variaciones de los diámetros.

2) METODO DE EMPALME POR FUSION. Este se realiza, por arco eléctrico, el equipo se alimenta con 110 ó 220 V. o batería de 12 Vcd.

El empalme se realiza en dos etapas:

a) PREFUSION.- Consiste en una descarga aplicada a las terminales de las fibras, con el objeto de limpiarlas y redondear sus bornes.

b) FUSION.- Consiste en una descarga que funde y suelda las fibras.

Los equipos cuentan con controles para alinear perfectamente las fibras mediante microposicionadores.

El proceso puede observarse mediante, un microscopio de proyección con características de 50 x y cuenta con marcas de posición para facilitar el alineamiento de las fibras, se cuenta también con una fuente de luz de alta eficiencia.

Generalmente, cuando las dos fibras han sido alineadas, presionando un botón se inicia la operación en secuencia automática, de prefusión y fusión.

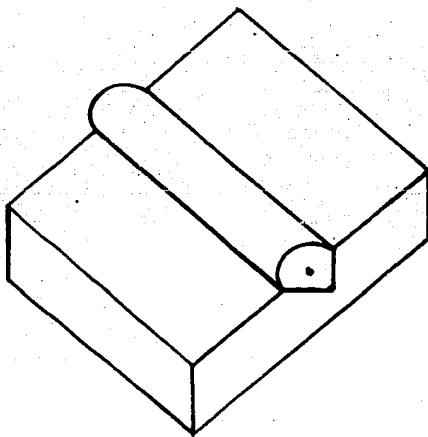


FIG. 2.8 ALINEACION POR SISTEMA DE RANURA "V"

C A P I T U L O I I I

I I I . - METODOLOGIA DE DISEÑO DE UN ENLACE DE COMUNICACIONES POR FIBRA
OPTICA.

3.1. - ELEMENTOS PRINCIPALES EN EL PROCESO DE DISEÑO

Los elementos ó parámetros principales de diseño se pueden dividir en los grupos siguientes:

1) DE ENTRADA O REQUERIMIENTOS DEL USUARIO. - Los requerimientos que se consideran más significativos para el diseño son:

A) Distancia. - En las fibras ópticas pueden considerarse los siguientes rangos de distancias:

- Corta distancia ($L < 1 \text{ Km}$)
- Media distancia ($1 \text{ Km} < L < 30 \text{ Km}$)
- Larga distancia ($L > 30 \text{ Km}$)

Atendiendo a cada una de ellas, puede proponerse la calidad de la fibra, el tipo de emisor y fotodetector, así como la separación y número de repetidores que resulten más adecuados.

B) Tipos de Datos (Analógicos o Digitales). - La utilización de un sistema de transmisión digital o uno analógico dependerá de cuál de los dos presente mayores ventajas, tanto, técnicas como económicas para una aplicación específica, por ejemplo: un sistema de comunicación que implique el manejo de una gran cantidad de canales de voz con un mínimo de ruido e interferencia favorece el uso de técnicas digitales de transmisión tales como el PCM. Sin embargo, si lo que se refiere es un enlace de video, un sistema de trans

misión analógico representaría menos problemas de complejidad y costo que un sistema digital.

C) Ancho de Banda del Canal o Velocidad de Transmisión.- La Capacidad de transmisión de información se especifica como ancho de banda en hertz cuando se emplea modulación analógica y cómo velocidad de transmisión en bits/seg. en modulación digital.

D) Calidad Deseada en la Transmisión (SNR ó BER).- Los términos en que se expresa la calidad deseada en la transmisión son función del sistema que se utilice. Básicamente, en sistemas analógicos se tiene la relación señal o ruido, y en sistemas digitales la probabilidad de error. La Relación Señal a Ruido (SNR) es la razón de la amplitud de una señal deseada a la amplitud de las señales de ruido en un punto determinado, se expresa en decibelos y generalmente se usa el valor pico para el ruido impulsivo y el valor RMS para ruido aleatorio.

La probabilidad de error o tasa de bits erróneos (BER) está dada por la razón de bits identificados incorrectamente, al número total de bits transmitidos. En aplicaciones de fibra óptica, un valor típico de BER es 10^{-9} .

Los factores de distancia y capacidad de transmisión son esenciales en el diseño porque determinan, prácticamente, el sistema de comunicación por fibras ópticas que va a utilizarse y si es necesario, además el uso de repetidores ópticos. Estos dos factores tienen que ver directamente con las limitantes de los sistemas de comunicación por fibras ópticas, la ATENUACION y la DISPERSION.

Por supuesto, existen otros parámetros que deben considerarse en el -

diseño final tales como el costo, confiabilidad, tamaño, peso, medio ambiente y alimentación. Sin embargo los requerimientos que se mencionan involucran las limitantes más importantes del sistema y determinan la factibilidad de realización del enlace de comunicación.

2) INTERMEDIOS O CALCULOS PRINCIPALES.- Los cálculos principales en el diseño de un sistema de comunicación por fibra óptica están relacionados a las dos limitantes mencionadas, de tal forma que los valores permisibles de atenuación y dispersión pueden conocerse en base a los requerimientos y resultados de diseño propuestos.

Esencialmente, el cálculo de la atenuación se realiza mediante la suma de las componentes siguientes:

- La atenuación en la fibra óptica a la longitud de onda de transmisión utilizadas.
- Las pérdidas por acoplamiento, de la fuente de emisión a la fibra óptica y de la fibra óptica al fotodetector.
- Las pérdidas en los empalmes necesarios para unir dos secciones de la fibra óptica.

En base a lo anterior, la longitud "L" es la separación máxima entre equipos terminales o entre repetidores, considerando únicamente la limitante de atenuación, puede expresarse por:

$$\alpha L + K_{aj} = 10 \log. \left(\frac{P_t}{P_r} \right) \text{-----}(3.1)$$

Donde:

α - es la atenuación en la fibra -----(dB/Km)

a_j - es la pérdida por empalmes promedio -----(dB.)

P_t - es la potencia acoplada a la fibra óptica -----(watts)

P_r - es la potencia mínima requerida en el receptor ---(watts)

La dispersión a su vez depende:

- La longitud de onda de la transmisión.
- El tipo de graduación del índice de refracción, ya sea parabólico o escalonado.
- La apertura numérica
- El ancho espectral de la fuente de emisión

La dispersión llega a ser significativa cuando la distorsión por retardo del pulso transmitido, llega a ser lo suficientemente grande como el intervalo entre bits. Eventualmente después de un cierto límite, cualquier incremento en la velocidad de transmisión causa una disminución en el espaciamiento entre repetidores. Este límite, de dispersión puede ser estimado por la ecuación:

$$\sigma_{\text{tot}} L = 0.25 T = \frac{1}{4 f_0} \text{ -----(3.2)}$$

Donde:

σ_{tot} es el valor cuadrático medio de la distorsión por retardo por unidad de longitud.

En la fórmula anterior, se ha supuesto que la dispersión aumenta linealmente con la longitud de la fibra L . Sin embargo el fenómeno de acoplamiento entre modos, reduce en alguna extensión el problema de dispersión por lo que los resultados prácticos son mejores que los resultados obtenidos teóricamente.

Debe considerarse, además, los componentes de este ensanchamiento, como son el ensanchamiento debido a la dispersión modal y el ensanchamiento cromático ocasionado por la dispersión del material.

$$\sigma_{\text{tot}}^2 = \sigma_{\text{mod}}^2 + \sigma_{\text{crom}}^2 \text{ -----(3.3)}$$

A partir de las ecuaciones 3.1 y 3.2 puede estimarse la frecuencia límite de modulación (flim), más allá de la cuál, el enlace de la fibra está limitado por dispersión.

$$f_0 < \text{flim} = \frac{\alpha}{4 \sigma_{\text{tot}}} \frac{1}{10 \log \frac{P_t}{P_r} + K_{aj}} \text{ -----(3.4)}$$

A frecuencias menores el enlace está limitado por atenuación.

3) DE SALIDA O RESULTADOS DE DISEÑO.- Los resultados de diseño son condicionados por los requerimientos del usuario y los cálculos principales. Estos resultados de salida definen las características de los elementos del sistema de comunicación como son:

- a)- Subsistema Transmisor
- b)- Cable Optico
- c)- Subsistema Receptor

a) Para el subsistema transmisor deben considerarse:

- Longitud de onda de transmisión
- La potencia de la fuente
- El ancho espectral de la fuente, lo que determinará si se utiliza un diodo emisor de luz (LED) o un diodo Láser de inyección (ILD).

b) Para la fibra óptica se consideran:

- La atenuación espectral
- El perfil del índice de refracción (gradual ó escalonado)

c) Para el subsistema receptor se considera:

- La sensibilidad

El término de sensibilidad se refiere a la potencia óptica mínima a la entrada del receptor requerida para lograr la relación señal ruido ó la probabilidad de error deseado. De este factor dependerá el tipo de fotodetector que será utilizado, ya sea fotodiodo PIN o fotodiodo avalancha APD.

3.2.- INTERRELACION ENTRE LOS PARAMETROS PRINCIPALES

En la figura 3.1 se muestra la interrelación existente entre los parámetros anteriormente descritos con el fin de mostrar las características principales del proceso de diseño de un enlace óptico de comunicación.

Por ejemplo si tomamos como base el diseño en el receptor vemos que este se ve influido por:

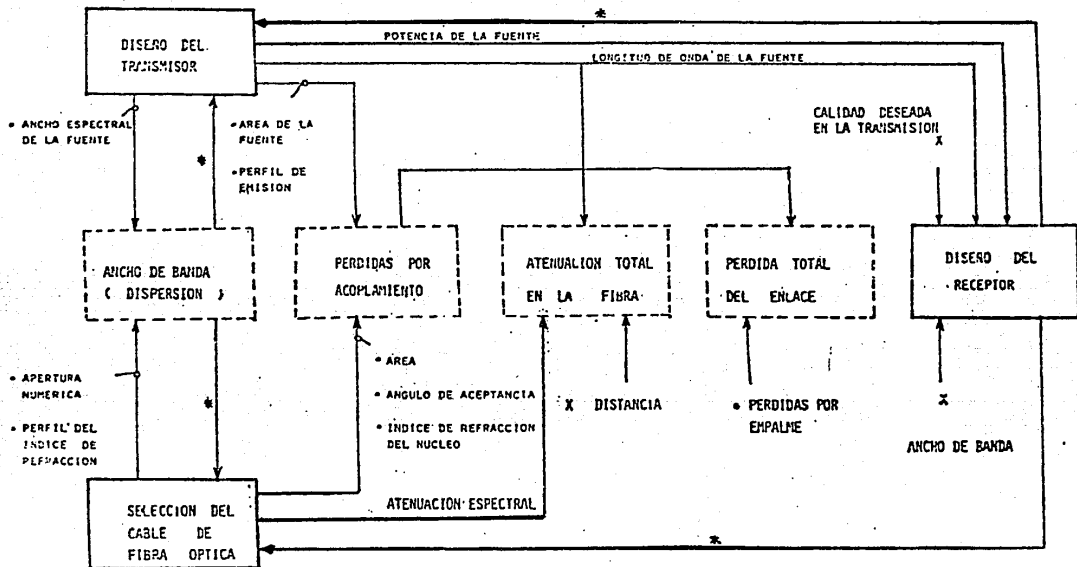
- La potencia óptica disponible
- La longitud de onda
- El ancho de banda de la información

Luego la potencia óptica recibida se determina por:

- La potencia óptica de la fuente
- Las pérdidas totales del enlace

Luego las pérdidas totales del enlace se dividen en:

- Pérdidas por acoplamiento



X Requerimientos de diseño. [] Cálculo principal de diseño [] Salida de diseño
 * Decisión de diseño que modifica al elemento indicado

FIG. 3.1 .- ELEMENTOS PRINCIPALES EN EL PROCESO DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACION POR FIBRA OPTICA.

- Pérdidas en la transmisión

Por otro lado, las pérdidas por acoplamiento están dadas por:

a) Las características de la fuente las cuáles son:

- Area de radiación efectiva

- Perfil de emisión

b) Las características de la fibra las cuáles son:

- Apertura numérica

- Area de radiación efectiva

- Índice de refracción del núcleo

Y las pérdidas en la transmisión están determinadas por:

a) Las características de atenuación espectral de las fibras son:

- Longitud de onda

- Pérdidas por empalmes

- Distancia entre la fuente y el detector

De lo anterior se desprende que, el proceso de diseño de un enlace de comunicación por fibras ópticas es un problema que involucra muchas variables y que puede llevar varios ensayos antes de completarse, ya que la selección de un elemento final (transmisor, receptor ó cable óptico), afectará la selección de los otros dos.

Generalmente, es necesario suponer las características de ciertos elementos del sistema, y entonces proceder de manera sistemática a interrelacionar y redefinir los elementos restantes.

3.3. PROCESO DE DISEÑO PARA LA SELECCION DEL TRANSMISOR OPTICO

A continuación se proporcionan los diagramas de flujo que describen -

un método de diseño para los sistemas de comunicación por fibra óptica, así como un breve análisis en cada caso.

En la figura 3.2 se muestra un diagrama de flujo que indica el proceso de diseño en el subsistema transmisor.

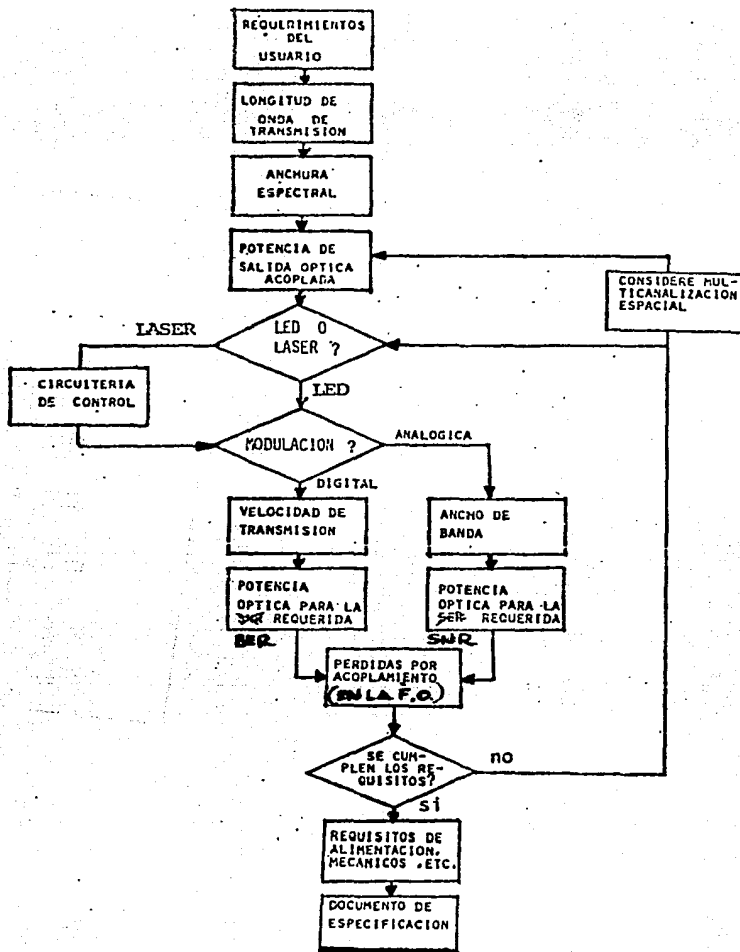


FIG. 3.2 Diagrama de flujo que muestra el proceso de diseño para la selección del transmisor óptico.

El diseño comienza con los requisitos propuestos por el usuario. Cualquier limitante de confiabilidad, de potencia ó de medio ambiente que pudiera afectar la selección del componente y de esta manera la calidad en la transmisión, debe tomarse en cuenta y permitir que influya en la configuración del sistema y decisiones del tipo de componente.

La longitud de onda de transmisión y los requisitos de anchura espectral son función de las características de la fibra elegida. Se ha supuesto que estos parámetros han sido ya investigados y especificados cómo un resultado del esfuerzo del diseño del medio de transmisión.

La potencia óptica de salida acoplada se calcula a partir del nivel de señal mínima requerida en el extremo terminal del sistema y la pérdida de transmisión de la fibra óptica, incluyendo las pérdidas por acoplamiento en la salida y empalmes. Esta figura de potencia acoplada se obtiene después de las pérdidas por acoplamiento en la entrada y de esta manera afecta la selección de la fuente de acuerdo con sus características de emisión.

De manera general, podemos decir que un diodo LED se utiliza cuando se requieren productos anchos de banda, distancias bajas y un diodo Laser cuando se necesitan valores altos de esta especificación. Como puede notarse, el producto ancho de banda-distancia (ó velocidad de transmisión-distancia) relaciona la capacidad de transmisión de la fibra óptica con la distancia y tiene su origen en la limitante de dispersión.

Datos proporcionados por el fabricante:

α = Atenuación de fibra -----(dB/Km)

a_j = Pérdida por empalme promedio en -----(dB)

P_t = Potencia acoplada a la fibra óptica -----(watts)

P_r = Potencia mínima requerida en el receptor -----(watts)

L = Separación entre equipos

K = Número de empalmes

$$\sigma_{\text{tot}} L = 0.25 T = \frac{1}{4f_0}$$

σ_{tot} = Valor cuadrático medio de la distorsión por retardo por unidad de longitud.

$$\alpha L + K a_j = 10 \log \left(\frac{P_t}{P_r} \right)$$

$$L = \frac{10 \log \frac{P_t}{P_r} - K a_j}{\alpha}$$

$$\alpha = \frac{10 \log \frac{P_t}{P_r} - K a_j}{L}$$

$$a_j = \frac{10 \log \frac{P_t}{P_r} - \alpha L}{K}$$

$$K = \frac{10 \log \frac{P_t}{P_r} - \alpha L}{a_j}$$

$$P_t = P_r \times 10^{\frac{\alpha L + K a_j}{10}}$$

Separación entre equipos:

$$\alpha L + K a_j = 10 \log \frac{P_t}{P_r}$$

α = Atenuación de la fibra (dB/Km)

a_j = Es la pérdida por empalme promedio (dB)

P_t = Potencia acoplada a la fibra óptica (watts)

P_r = Potencia mínima requerida en el receptor (watts)

K = Número de empalmes

$$G_{\text{tot}} = L = 0.25 T = \frac{1}{4f_0}$$

G_{tot} = Valor cuadrático medio de la distorsión por unidad de longitud.

$$G_{\text{tot}}^2 = G_{\text{mod}}^2 + G_{\text{crom}}^2$$

$$f_0 \angle f_{\text{lim}} = \frac{\alpha}{4} \frac{1}{\text{tot}} \left(\frac{1}{10 \log \frac{P_t}{P_r} - K \text{ aj}} \right)$$

f_{lim} = Frecuencia límite de modulación.

Por ejemplo, para un sistema digital y basándose en la tecnología actual de longitud de onda de transmisión de 0.85 μm , un valor típico de producto velocidad de transmisión - distancia para un LED es de 140 M bits - Km mientras que para un diodo láser, este producto es de 2500 M bits/Km debido principalmente a su reducido ancho espectral.

Las características de acoplamiento para un diodo LED y un diodo Láser son también muy distintos: Para un LED, las pérdidas por acoplamiento - fuente -fibra son del orden de 15 dB, en cambio para un diodo Láser es solamente 3 dB. Sin embargo, el Láser, al ser un dispositivo cuyo funcionamiento esta determinado por un umbral que depende de la temperatura, requiere de -

circuítos de control que lo hacen más costoso en comparación con el LED.

En el caso, de modulación analógica, la salida de potencia óptica se especifica para lograr una determinada calidad de transmisión en términos de la Relación Señal a Ruido en el ancho de banda que va a utilizarse. Para sistemas de modulación digital, además de la potencia óptica, deben especificarse los tiempos de elevación y descenso de generación del pulso óptico en el diodo emisor, para conocer si es compatible el dispositivo con los requisitos de diseño.

Finalmente, una vez que la fuente es compatible con los requisitos del usuario, el diseño se completa especificando las características de protección ambiental, alimentación y limitantes mecánicas.

3.4.- PROCESO DE DISEÑO PARA LA SELECCION DEL CABLE DE LA FIBRA OPTICA

En la figura 3.3, se muestra un diagrama de flujo para la selección del cable de fibra óptica. Como puede observarse, el proceso comienza con un completo entendimiento de los requisitos básicos del usuario, incluyendo la distancia entre la fuente y el detector y el ancho de banda de la información. Basado en lo anterior, el diseñador supone la configuración de un cable de fibra óptica que incluye:

- Número de Fibras
- Apertura Numérica
- Perfil de Índice de Refracción
- Longitud Máxima Disponible
- Atenuación en la Longitud de Onda de Interés.

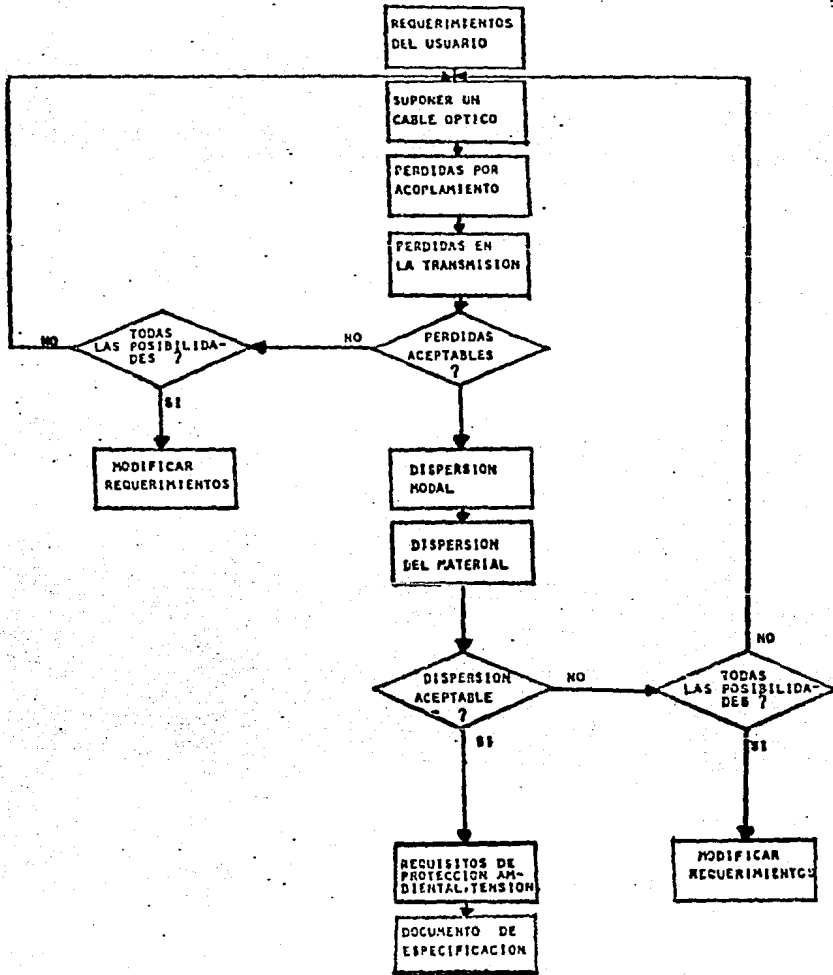


Figura 3.3 Diagrama de flujo que muestra el proceso de diseño para la selección del cable de fibra óptica.

El siguiente paso es entonces, calcular la pérdida total del enlace, incluyendo tanto pérdidas de atenuación en la fibra óptica como pérdidas por acoplamiento.

Las pérdidas por acoplamiento están determinadas por las características de la fuente (área y perfil de emisión), así como las características de la fibra (apertura numérica, área e índice de refracción) y por reflexiones Fresnel.

Las pérdidas por acoplamiento de salida depende de:

- El índice de refracción de la fibra
- El índice de refracción del medio entre la fibra y el detector
- El campo de visión que ocupa el detector con respecto a la fibra óptica.
- Las reflexiones Fresnel.

Las pérdidas de transmisión pueden calcularse en base a la distancia conocida y a la atenuación de la longitud de onda óptica de interés. Sin embargo, en suma, debido a que las fibras disponibles se suministran generalmente en longitudes estandar menores a la distancia requerida, es necesario empalmar varios segmentos. Por lo tanto, la estimación de las pérdidas en los empalmes hay que tomarlas en cuenta para la atenuación total.

De la manera descrita en las discusiones precedentes, el diseñador continua ensayando, en los cálculos de la pérdida de transmisión y en la solución de la fibra hasta que se pueda encontrar un cable con una pérdida aceptable. Suponiendo que un cable de fibra óptica satisface ya los requisitos de atenuación, se procede a determinar si las características de dispersión

modal y del material son adecuadas para el ancho de banda requerido de la información. La dispersión del material se determina por el ancho espectral - de la fuente, así como, por las propiedades del material del núcleo de la fibra.

La dispersión modal se determina, básicamente, por la apertura numérica de la fibra de vidrio y el perfil del índice de refracción. Sin embargo, la experiencia ha mostrado que el ancho de banda real de las fibras ópticas es mejor que el predicho por la teoría. De aquí, que un diseño real, debe - consultarse al fabricante para obtener datos más precisos.

Después que las propiedades de la atenuación y la dispersión son satisfactorias, debe considerarse cuidadosamente el medio ambiente y los esfuerzos mecánicos de tensión bajo los cuáles operará la fibra óptica para - que de esta manera se especifique el diseño del cable que ofrezca protección y reforzamientos adecuados, ya que los esfuerzos de tensión y en particular aquellos que causan distorsiones en el eje de la fibra (curvaturas y microcurvaturas) pueden tener un afecto significativo sobre las propiedades de - atenuación de la fibra.

3.5- PROCESO DE DISEÑO PARA LA SELECCION DEL RECEPTOR OPTICO

En la figura 3.4 se muestra un diagrama de flujo para el proceso de - diseño en el subsistema receptor. Primeramente, el usuario define el tipo - de información que va a manejarse, ya sea analógica ó digital.

En el caso analógico, el usuario debe especificar el ancho de banda - de la información y la Relación Señal Ruido que va a requerirse.

En el caso digital, el usuario especifica la velocidad de transmisión

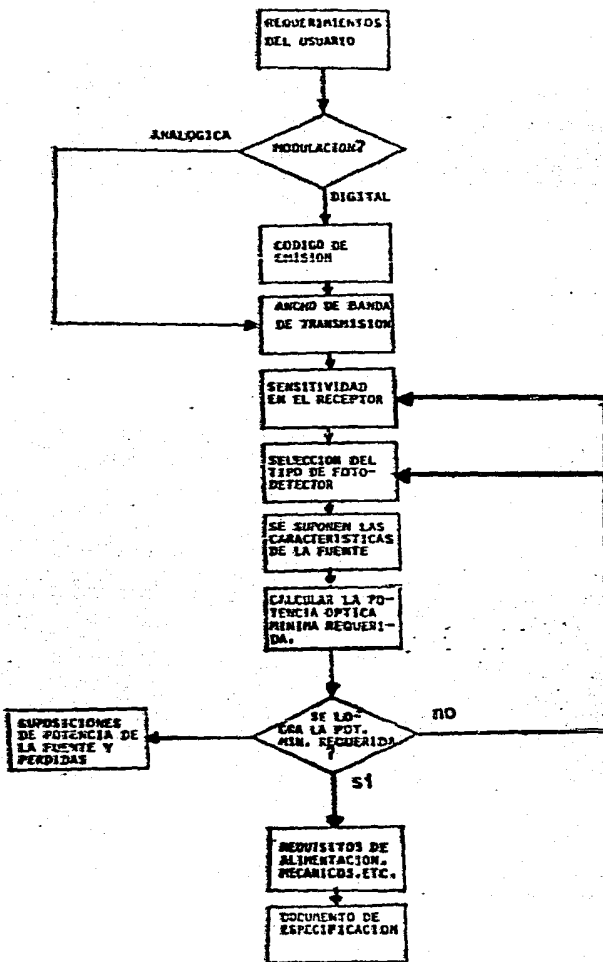


Figura 3.4 Diagrama de flujo que muestra el proceso de diseño para la selección del receptor óptico.

y la tasa de error esperada en el sistema. Deben considerarse también, las condiciones ambientales que puede afectar la elección del componente y de esta manera, la calidad de la transmisión del sistema.

Si el usuario requiere un sistema digital, debe considerarse el formato de la señal y el código de emisión para calcular el ancho de banda de la señal en receptor. El formato de la señal se refiere a los diferentes esquemas de codificación tales como el Manchester, NRZ.

La sensibilidad del receptor es uno de los parámetros de diseño más - importantes en el receptor óptico y como se menciona, se refiere a la potencia óptica mínima requerida a la entrada del receptor para lograr una determinada Relación Señal a Ruido en sistemas analógicos y una determinada probabilidad de error en sistemas digitales.

Por ejemplo, la Relación Señal a Ruido en un receptor óptico analógico esta en función de la intensidad de la señal eléctrica a la salida del receptor y de la intensidad de las señales de ruido las cuáles se pueden dividir básicamente en dos componentes:

- Ruido Térmico
- Ruido Cuántico

Además, la intensidad de la señal eléctrica de salida depende de la - potencia de la señal óptica incidente. De tal manera que, si conocemos las fuentes de ruido podemos entonces determinar la sensibilidad del receptor.

Es conveniente recordar algunas características básicas de los receptores ópticos. Existen dos tipos de fotodetectores:

- Fotodiodo PIN (Semiconductor P, Intrínseco y tipo N).
- Fotodiodo de avalancha APD (Avalancha Photo - Diode).

El fotodiodo PIN posee ganancia unitaria, es decir, por cada fotón, - genera un electrón, en cambio, el fotodiodo de avalancha puede generar hasta 100 electrones por cada fotón incidente. Sin embargo esto último representa problemas de ruido por variaciones estadísticas sobre el nivel medio de su - ganancia m , la cuál es una variable aleatoria.

Esencialmente, la selección del tipo de fotodiodo es un problema de - optimización. Por otro lado, en el receptor óptico existe la alternativa de emplear amplificadores FET ó bipolares que representan nuevamente un compromiso de uso, dependiendo de las fuentes de ruido que aparecen en estos dispo sitivos para diferentes rangos de frecuencia.

En receptores ópticos digitales la sensibilidad está también en fun-- ción de las fuentes de ruido cuántico y térmico del receptor, pero además de lo que se conoce como interferencia entre símbolos. Este afecto consiste en el trasladamiento entre pulsos vecinos de la señal óptica digital a lo largo de su recorrido en la fibra óptica.

Este fenómeno de interferencia entre símbolos es función de la señal óptica incidente y de la respuesta en frecuencia del receptor. Esto último sugiere que puede ser controlado parcialmente por el diseño adecuado de cir-- cuitos de filtro.

Cuando aumenta la distancia de transmisión en el sistema de comunica-- ción óptica se requiere el uso de repetidores para regenerar la señal a in-- tervalos determinados. Este proceso de regeneración se lleva a cabo a tres

pasos, en el caso de un repetidor óptico digital:

- Amplificación e igualación de la forma de onda del pulso
- Recuperación de la señal de sincronismo de tren de pulsos
- Detección síncrona y retransmisión de los pulsos

Para un repetidor óptico analógico bastarían únicamente el primer paso y la retransmisión de los pulsos.

Es muy importante hacer notar que la separación máxima entre repetidores depende de la sensibilidad del receptor óptico que contienen de manera - que la metodología de diseño para un repetidor óptico es la misma que la de un receptor óptico y la de un transmisor óptico conjuntamente..

Cuándo se ha logrado la señal mínima requerida se toman en cuenta, - también, las condiciones ambientales (temperatura, vibración, choque, radiación y humedad), consumo de potencia y acoplamiento mecánico, para escribir el documento de especificaciones del receptor.

IV.-) APLICACION DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISION POR FIBRA OPTICA EN -
LA RED URBANA DE TELEFONOS DE MEXICO

C O N T E N I D O :

- 1.- OBJETIVO
 - 2.- INTRODUCCION
 - 3.- RED URBANA DE TEL-MEX.
 - 4.- CARACTERISTICAS GENERALES DEL ENLACE PARA DESCENTRALIZACION DEL -
CENTRO TELEFONICO SN. JUAN
 - 4.1) ASPECTOS GENERALES
 - 4.2) RUTAS DE MAYOR IMPORTANCIA
 - 5.- SISTEMAS DE TRANSMISION POR FIBRA OPTICA (S.T.F.O.)
 - 5.1) DESCRIPCION GENERAL Y CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE UN
S.T.F.O.
 - 5.2) AREAS DE APLICACION
 - 5.3) EVOLUCION Y TENDENCIAS
 - 6.- CARACTERISTICAS DEL S.T.F.O. PARA EL ENLACE ENTRE LAS CENTRALES -
URBANAS PARA LA DESCENTRALIZACION DEL C.T.S.J.
 - 7.- COSTOS
 - 8.- EQUIPO NECESARIO PARA LA SUSPERVISION Y EL MANTENIMIENTO
 - 9.- CONCLUSIONES Y CONTINUIDAD
- 1.- O B J E T I V O

El objetivo principal es la realización de un enlace de descentraliza-
ción del CENTRO TELEFONICO SN. JUAN, el cuál era la central principal para -
el desbordamiento de las llamadas de LARGA DISTANCIA (L.D.) solicitadas por
cualquiera de las centrales urbanas. Todo esto seguira realizandose, pero -

utilizandose ahora el novedoso sistema de transmisión por fibra óptica, con lo cuál se adquirirán conocimientos sobre:

- A) Diseño de enlaces con S.T.F.O.
- B) Criterios para la elección de los sistemas ópticos a un enlace dado.
- C) Conocimientos del mercado y costos
- D) Conocimientos de los métodos de medición en los sistemas ópticos y de los equipos necesarios para efectuarlos.

2.- I N T R O D U C C I O N

El desarrollo de sistemas de transmisión de gran ancho de banda ha sido labor constante de los laboratorios y centros de investigación así como de la industria de las telecomunicaciones, desde el año de 1970 fecha en que se logró obtener, una fibra con un valor de atenuación relativamente bajo, - (20 dB/Km), la tecnología de los S.T.F.O. se ha convertido en parte vital de las telecomunicaciones mundiales.

La comprensión del funcionamiento básico de las componentes que integran un sistema óptico, de los requerimientos para su buen funcionamiento y de las alternativas que ofrecen a los problemas presentes en la RED URBANA; Es un aspecto indispensable para el diseño de enlaces por fibra óptica.

3.- R E D U R B A N A D E T E L - M E X

La red urbana de TEL-MEX. está constituida básicamente de 182 series locales instaladas en 68 edificios que estaban orientadas para cursar su tráfico de larga distancia a través del C.T.S.J. La introducción de sistemas de transmisión por fibra óptica en la red urbana de TEL-MEX. representa por

lo tanto un cambio radical, en la estructura de las redes, sin embargo la ta sa estimada de crecimiento de los circuitos para los próximos 5 años, y la - demanda de nuevos servicios, hace necesario el estudio de sistemas que pre-- senten alternativas a tal problemática.

La actividad constante de dimensionamiento correcto de la planta de - la red urbana requiere del estudio de la demanda de tráfico y determinación de las estrategias, para la introducción de nuevas configuraciones y tecnolo gías. La tecnología que se empleará los próximos años depende básicamente - de las políticas que se tomen respecto a la digitalización de la planta.

4.- CARACTERISTICAS GENERALES DEL ENLACE PARA LA DESCENTRALIZACION - DEL C.T.S.J.

4.1) ASPECTOS GENERALES.- Dentro de las características generales es-- tá la aplicación importante de los sistemas de transmisión por fibra óptica en la red urbana de TEL-MEX, creando una red de fibras ópticas y obteniendo-- se así un cinturón que rodeará la ciudad de México. Todo esto como conse-- cuencia de los sismos ocurridos en Septiembre de 1985, en la ciudad de Méxi-- co, originándose así pronta descentralización de su centro de larga distan-- cia, C.T.S.J.

Por lo tanto para asegurar la confiabilidad del sistema, se estable-- cieron 19 rutas de fibras ópticas, con una longitud total de 153.8 Km. de ca-- ble, con 12 fibras monomodo que dan un total de 1848 Km-fibra.

Cada par de ellas, maneja 1920 canales telefónicos, lo que permite - una capacidad de 11520 conversaciones por esa vía. Considerando las 19 rutas la capacidad de toda la red de fibras ópticas es de 230,400 canales.

Para su operación utiliza terminales con fuentes de rayos Laser modulados por señales digitales.

4.2 RUTAS DE MAYOR IMPORTANCIA.- Estos 19 enlaces troncales con fibras ópticas se pueden ver en la siguiente figura 4.1. y son como se enlistan a continuación:

RUTA	LONG. (Km.)	PROVEEDOR	FILIAL	CABLE DE RESERVA (Km.)
CALD MO-RO	2.8	CONDUTEL	CONTELM	
CALD MO-ES CALD	17.6	"	"	
CH-RO	6.2	"	"	
TL-AT	7.6	"	"	
GO-AT	<u>2.9</u>	"	"	
CONDUTEL	37.1	CONDUTEL	CONTELM	22.9
CALD MO-VL CALD	8.8	ERICSSON	CYCSA	
CT-VL CALD	8.8	"	"	
CT-BA TND	4.8	"	"	
CT-MO CALD	5.2	"	"	
CT-ES CALD	14.4	"	"	
CALD MO-CH	4.3	"	"	
CALD MO-RO TND	<u>2.8</u>	"	"	
ERICSSON	49.1	ERICSSON	CYCSA	25.9

ruta	LONG. (Km.)	PROVEEDOR	FILIAL	CABLE DE RESERVA (Km.)
TND CL-ES CALD	6.0	INDETEL	TELECONST	
TND PP-CL TND	8.2	"	"	
CALD VL-ES CALD	<u>23.0</u>	"	"	
INDETEL	37.2	INDETEL	TELECONST	12.8
CALD VL-TL	9.3	NEC	CONTELM	
CALD VL-AT	5.7	"	"	
GO-VL CALD	5.7	"	"	
SO-VL CALD	<u>9.7</u>	"	"	
NEC	30.4	NEC	CONTELM	14.6
TOTAL	153.8			76.2

A continuación se representa estas rutas en la fig. 4.1.

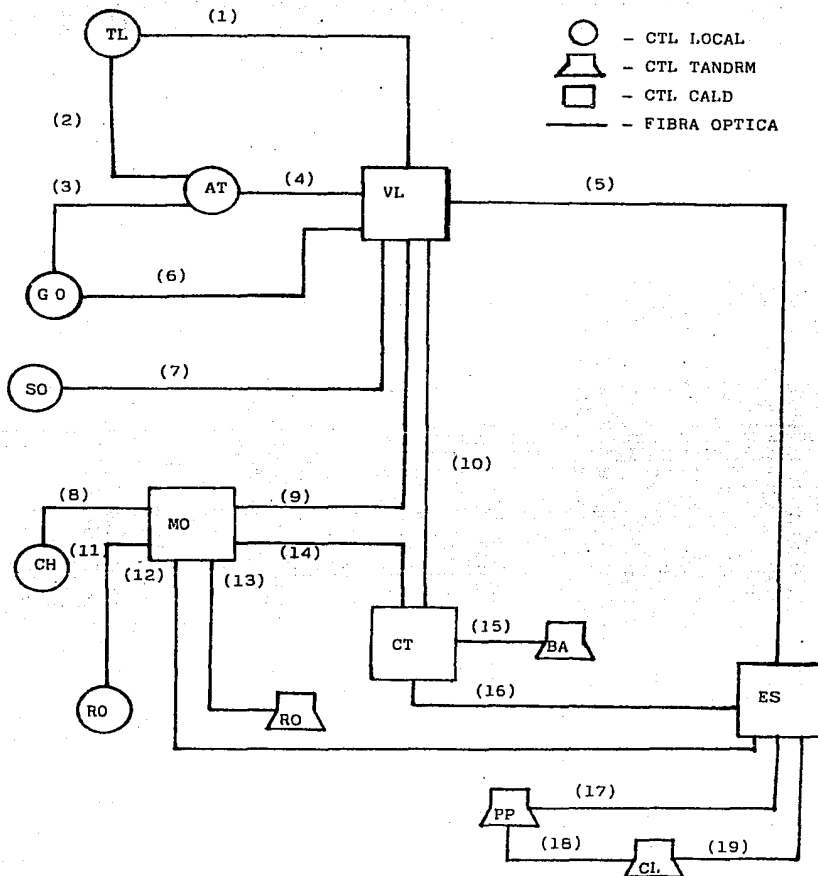


FIG. 4.1. DIAGRAMA DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA MALLA TRONCAL DE LOS 19 ENLACES CON CABLE DE FIBRA OPTICA

5.- SISTEMAS DE TRANSMISION POR FIBRA OPTICA (S.T.F.O.)

5.1.) DESCRIPCION GENERAL Y CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE UN S.T.F.O.

	ATENUACION	DISPERSION	ANCHO DE BANDA	APLICACIONES	MANEJO
MULTIMODO	PEQUEÑA 0.7 dB/Km a 1.3 m 2.5 dB/Km a 0.85 m	MODAL CROMATICA	BUENO 500 MHZ Km.	TRANSMISION A CORTA Y LARGA DISTANCIA	FACIL
MONOMODO	PEQUEÑA 0.5 dB/Km a 1.3 m 0.3 dB/Km a 1.5 m	CROMATICA	EXCELENTE 1G Hz-Km	TRANSMISION A MUY LARGA DISTANCIA	DIFICIL

TABLA 5.1 FIBRAS OPTICAS

RECEPTORES OPTICOS.- Existen dos tipos básicos:

- a).- PIN.- Es un fotodiodo semiconductor
- b).- APD.- Es un fotodiodo semiconductor el cuál opera en forma de -
avalancha.

	SENSITIVIDAD DE RECEPCION	LINEALIDAD	APLICACIONES
PIN	BUENA -38 dBm	TANTO EL PIN COMO EL APD TIENEN SUFICIENTE LINEALIDAD	TRANSMISION A CORTA DISTANCIA
APD	EXCELENTE		TRANSMISION A LARGA DISTANCIA

TABLA 5.2 RECEPTORES

A continuación la figura (5.1) muestra el diagrama a bloques simplificado de un sistema de transmisión por fibra óptica y sus principales bloques constitutivos.

- CONMUTADOR DE PROTECCION (c.p).- Proteje automáticamente al equipo, contra pérdidas de la señal digital e incremento en la razón de bits de error de la transmisión. Este conmutador puede operarse manualmente.

- EQUIPO DE CONTROL Y SUPERVISION (E.C.S).- Se emplean para realizar pruebas de identificación y localización de fallas en los repetidores, desde la oficina terminal, y que además desempeña acciones de control

- MODULADOR DEL LASER (M.L.).- Esta sección representa, elmezclador, codificador e interfaz ópto/electrónico de transmisión.

- DEMODULADOR Y REGENERADOR (D.R.).- Representa la interfaz ópto/electrónica de recepción, el regenerador, el decodificador y el decifrador de código.

- EQUIPO DE SUPERVISION (E.S.).- Opera de manera similar que el (E.C.S.) pero no realiza operaciones de control.

- MEDIO DE TRANSMISION (FIBRA OPTICA).- Es la guía de las ondas de luz, la transmisión se ve afectada aquí por la atenuación propia de la fibra y por las atenuaciones introducidas por los empalmes y los conectores.

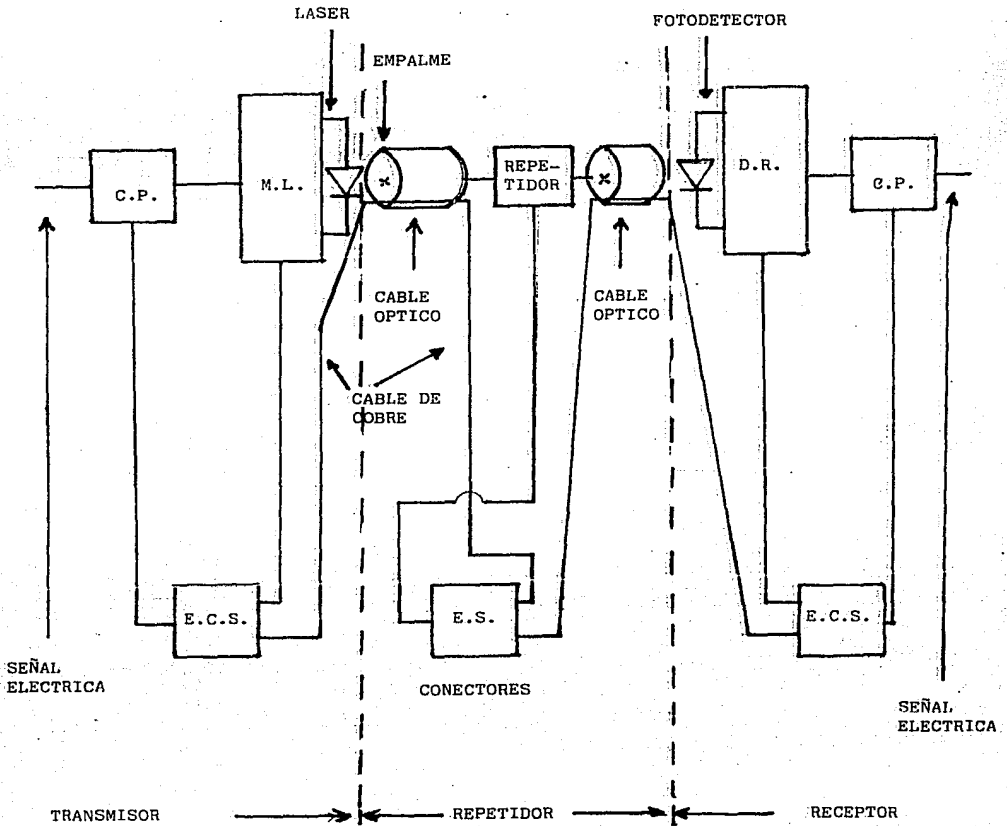


FIG. 5.1 SISTEMA DE TRANSMISION POR FIBRA OPTICA

- La señal de control puede también ser enviada a través de la fibra óptica simultáneamente con la señal digital del multiplex.

5.2 AREAS DE APLICACION.- Las áreas de aplicación de los sistemas de transmisión por fibra óptica, dependen fundamentalmente de las características de, ancho de banda, distancia máxima, equipos terminales que se pueden lograr, ver. figura 5.2.

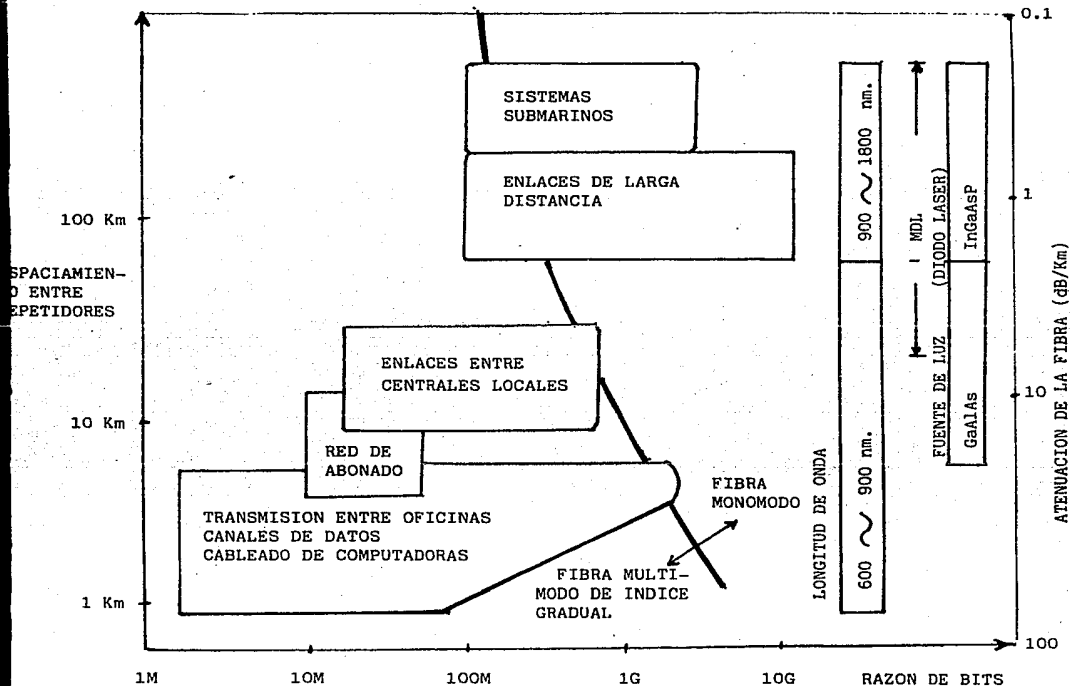


FIG. 5.2 AREAS DE APLICACION DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACION POR F.O.

5.3.- EVOLUCION Y TENDENCIAS.- El estado actual de la tecnología de los sistemas de transmisión por fibra óptica, tanto de laboratorio como comerciales se muestran a continuación en la tabla 5.3.

TIPO DE FIBRA	MULTIMODO		MONOMODO	
	INDICE GRADUAL			
LONG. DE ONDA (μ m.)	0.85	- 1.3	1.3	1.5
COMERCIAL (dB/Km)	2.5	- 0.7	0.45	0.3
LABORATORIO (dB/Km)			0.3	0.16
TEORIA (dB/Km)	2.3		0.24	0.12
ANCHO DE BANDA	1.5 GHz - Km.			

TABLA 5.3 TECNOLOGIA DE LA FIBRA

- EVOLUCION TECNOLOGICA.- La evolución tecnológica que han observado los sistemas de transmisión por fibra óptica se obtiene de las características de las diferentes generaciones de sistemas que se han producido.

6.- CARACTERISTICAS DEL S.T.F.O. PARA EL ENLACE ENTRE LAS CENTRALES URBANAS PARA LA DESCENTRALIZACION DEL C.T.S.J.

En esta infraestructura requerida para la instalación del sistema se deben determinar:

- La canalización (por tramo)
- Proveedor
- Asignación de Vía
- Herraje de Pozo
- Inmersión del cable

- Empalmes
- Pruebas Finales

Una vez establecidos los requisitos del enlace, debe seleccionarse el sistema de comunicación óptico que lo satisfice para lo cuál se deben considerar la siguientes características:

-CARACTERISTICAS GENERALES DE TRANSMISION

-) Velocidad de Transmisión ----- 140 Mb/sg.
-) Fibras Opticas ----- Tipo Monomodo
-) Longitud de Onda ----- (λ)=1.3 μ m.
-) Atenuación Promedio L \longrightarrow ∞ prom L = 0.66 dB/Km
-) Atenuación Promedio E \longrightarrow ∞ prom E = 0.2 dB/EMPALME
-) Atenuación Promedio C \longrightarrow ∞ prom C = 1.0 dB/CONECTOR

-TEMPERATURA PROMEDIO DE OPERACION

-) - 40°C a + 70°C
-) N °canales cto. -----1920
-) N °canales cable -----11520

A continuación en la figura 6.1 se presenta la construcción de redes con cables de fibras ópticas en la red urbana de TEL-MEX., S.A. de C.V.

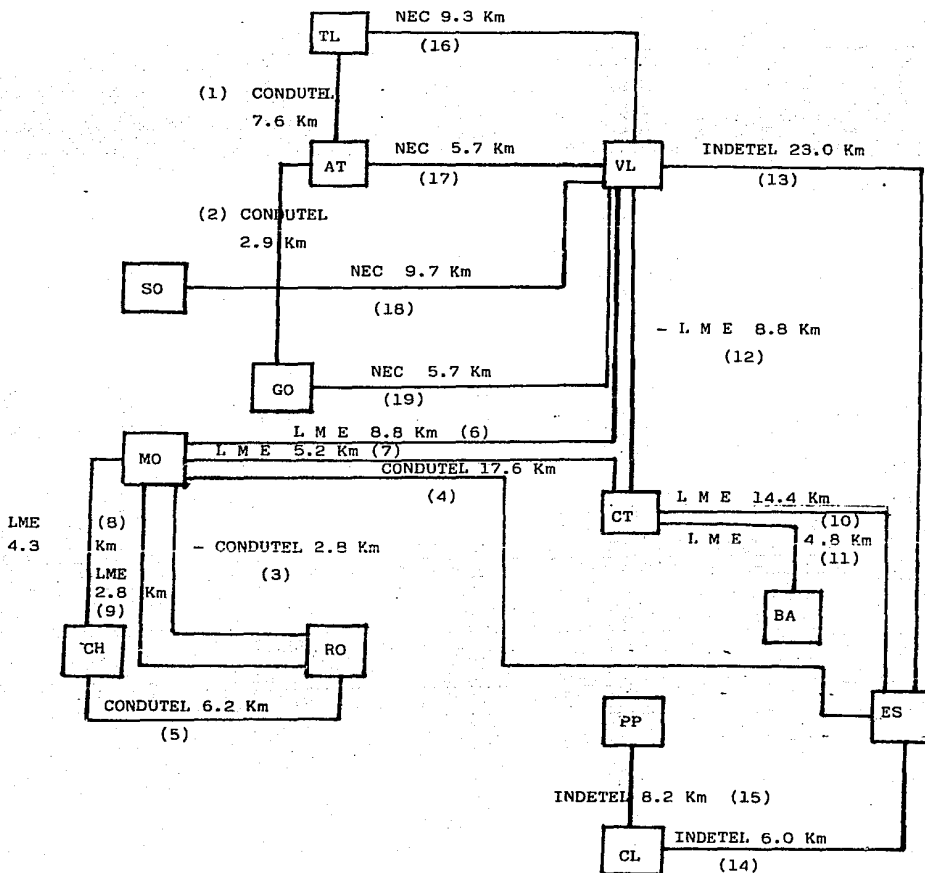
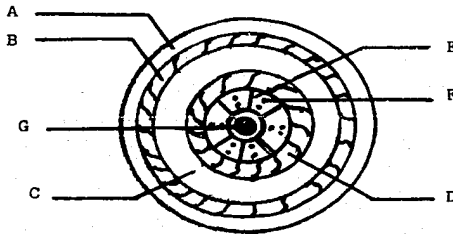


FIG. 6.1. CONSTRUCCION DE REDES CON CABLES DE FIBRAS OPTICAS EN LA RED URBANA DE TEL-MEX.

Ahora se proporciona la constitución y características del cable de -
fibras ópticas, por parte de los cuatro proveedores que son: INDETEL, NEC, -
CONDUTEL y ERICSSON.

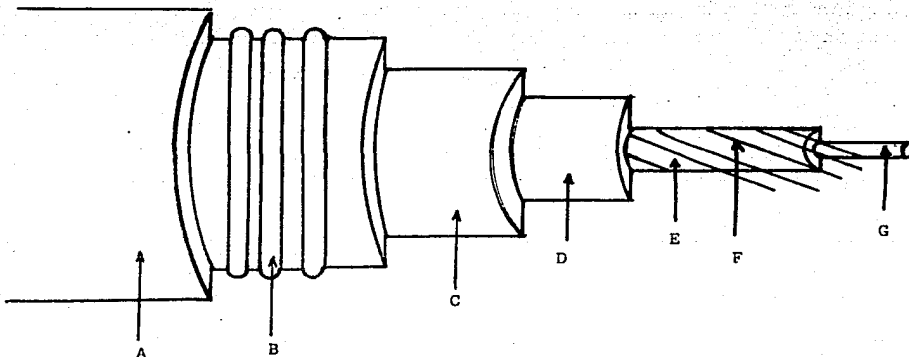
1.- Constitución del cable de Fibras Ópticas tipo INDETEL.

a) Corte del Cable:



- A) CUBIERTA EXTERIOR
- B) ARMADURA
- C) CUBIERTA INTERIOR
- D) CUBIERTA PLASTICA
CON GELLY
- E) ESTRUCTURA RANURADA
- F) FIBRAS OPTICAS
- G) NUCLEO DEL CABLE

b) Vista Lateral:



2.- Características del cable de F.O. tipo INDETEL.

- a) N.º de Fibras ----- 12
- b) \varnothing Exterior ----- 13.716 mm.
- c) R. mín. Curvatura ----- 355.4 mm.
- d) Tipo Ranurado -----
- e) Tensión Máxima ----- 90.7 Kg.
- f) Peso ----- 0.183 Kg/m
- g) Temperatura ----- -40 a 70°C
- h) Elemento Central de Refuerzo Plástico
- i) R. mín. Curvatura 25 X \varnothing Exterior = 25 X 13.716 mm = 343.9 mm.

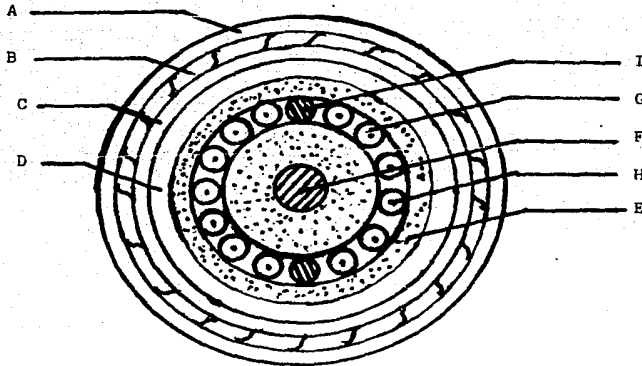
3.- Características de la F.O. tipo INDETEL

- a) \varnothing de Núcleo ----- 10 μ m.
- b) n Núcleo ----- \approx 1.4622
- c) \varnothing Revestimiento ----- 125 μ m.
- d) n Revestimiento ----- \approx 1.4511
- e) Longitud de Onda (λ) ----- 1.3 μ m.
- f) Atenuación de la Línea (α_L) ----- \leq 0.65 dB/Km.
- g) Atenuación del Empalme (α_E) ----- \leq 0.2 dB/Emp
- h) Atenuación del Conector (α_C) ----- \leq 1.10 dB/Conec.
- i) N.º canales por circuito ----- 1920
- j) N.º canales por cable ----- 11520

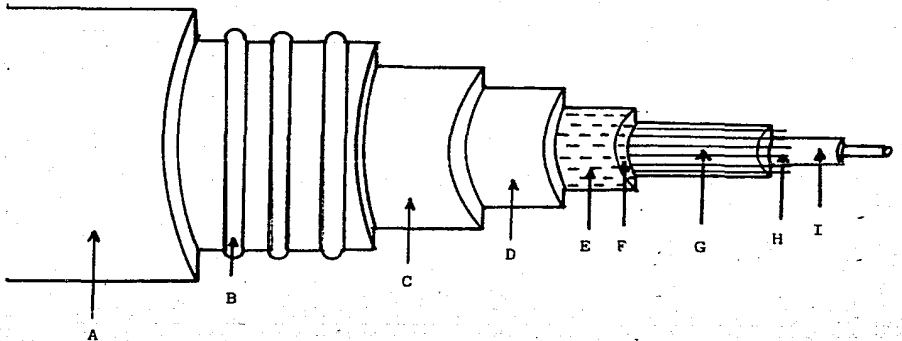
1.- Constitución del Cable de F.O. tipo NEC

a) Corte del Cable:

- A) CUBIERTA EXTERIOR
- B) ARMADURA CORRUGADA
- C) CUBIERTA INTERIOR
- D) CUBIERTA DE ALUMINIO
- E) PAPEL CELOFAN Y GELLY
- F) BLINDAJE
- G) PROTECCION SECUNDARIA DE LA FIBRA
- H) FIBRA OPTICA
- I) CONDUCTORES DE COBRE



b) Vista Lateral



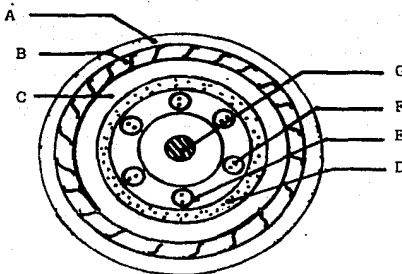
2.- Características del cable de F.O. tipo NEC.

- | | | |
|--|-------|----------------|
| a) N° de Fibras | ----- | 12 |
| b) \varnothing Exterior | ----- | 20 mm |
| c) R mín Curvatura | ----- | 250 mm. |
| d) Tipo Armado | | |
| e) Tensión Máxima | ----- | 200 Kg. |
| f) Peso | ----- | 0.40 Kg/m |
| g) Temperatura | ----- | -- 30 a + 70°C |
| h) Elemento Central de Refuerzo | | ACERO |
| i) R mín Curvatura = 12.5 X \varnothing Exterior | | = 250 mm |

3.- Características de la F.O. tipo NEC

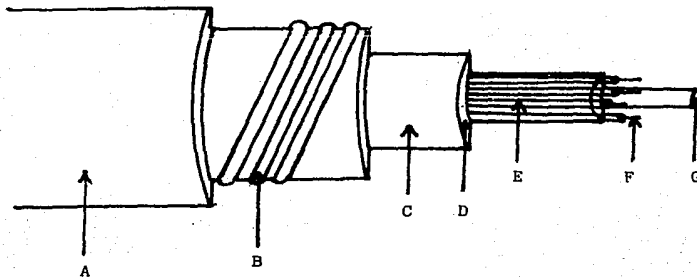
- a) \varnothing del Núcleo -----10 μ m.
 b) n Núcleo ----- \approx 1.463
 c) \varnothing Revestimiento -----125 μ m
 d) n revestimiento ----- \approx 1.458
 e) N.A. -----0.1
 f) B_0 -----10 GHz/Km
 g) λ -----1.3 μ m.
 h) Atenuación de la línea ----- \leq 0.5 dB/Km
 i) Atenuación del empalme ----- \leq 0.2 dB/Emp.
 j) Atenuación del conector ----- \leq 1 dB/Con.
 k) N° Canales por circuito -----1920
 l) N° Canales por cable -----11520

1.- Constitución del Cable de F.O. tipo CONDUTEL



- A) CUBIERTA EXTERIOR
 B) ARMADURA
 C) CUBIERTA INTERIOR
 D) CUBIERTA PLASTICA
 E) ESTRUCTURA OLGADA
 F) FIBRA OPTICA
 G) NUCLEO DEL CABLE

b) Vista Lateral:



2.- Características del Cable de F.O. tipo CONDUCTEL

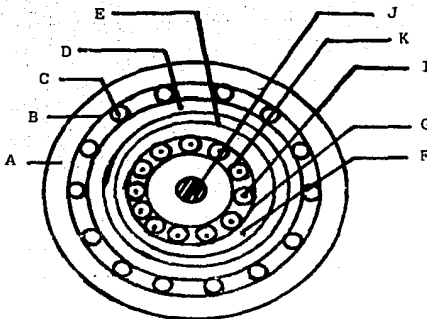
- a) N° de Fibras -----12
- b) \varnothing Exterior -----16 mm
- c) R mín. Curvatura -----320 mm
- d) Tipo Armado
- e) Tensión Máxima -----200 Kg.
- f) Peso -----0.275 Kg/m
- g) Temperatura ----- -30 a + 70°C
- h) Elemento Central de Refuerzo ACERO
- i) R mín. Curvatura = 20 X \varnothing Exterior = 20 X 16 mm = 320 mm

3.- Características de la F.O. tipo CONDUCTEL

- a) \varnothing del Núcleo ----- $9 \mu\text{m}$
 b) η Núcleo ----- ≈ 1.46
 c) \varnothing del Revestimiento ----- $125 \mu\text{m}$
 d) η revestimiento -----
 e) N.A. ----- 0.11
 f) B_0 ----- 100 GHz/Km
 g) λ ----- $1.3 \mu\text{m}$
 h) Atenuación de la línea ----- $\leq 0.5 \text{ dB/Km}$
 i) Atenuación del Empalme ----- $\leq 0.3 \text{ dB/Emp.}$
 j) Atenuación del conector ----- $\leq 1.0 \text{ dB/conec}$
 k) N° Canales por circuito ----- 1920
 l) N° Canales por cable ----- 11520

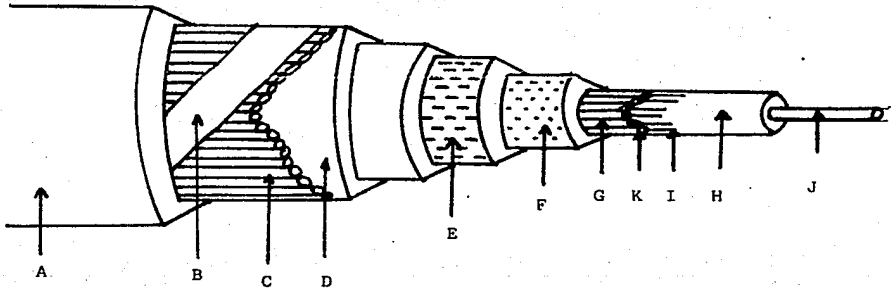
1.- Constitución del Cable F.O. tipo ERICSSON

a) Corte de Cable:



- A) CUBIERTA EXTERIOR - POLIETILE
NO ESPESOR 1.5 mm
 B) ENVOLTURA - CINTA DE ACERO
 C) ARMADURA - ALAMBRE DE ACERO
GALVANIZADO
 D) CUBIERTA INTERIOR - POLIETILE
NO - ESPESOR 1.00 mm
 E) BARRERA DE HUMEDAD - FOLIO DE
ALUMINIO 0.15 mm
 F) ENVOLTURA - FOLIO DE PLASTICO
 G) RECUBRIMIENTO SECUNDARIO POLIA
MIDO
 H) RECUBRIMIENTO PRIMARIO - GOMA
DE SILICON
 I) FIBRA OPTICA
 J) HILO MENSAJERO - ACERO O FIBRA
DE VIDRIO
 K) GELATINA DE PETROLATO.

b) Vista Lateral:



2.- Características del Cable de F.O. tipo ERICSSON

- a) N° de Fibras -----12
- b) \varnothing Exterior -----19.7 mm
- c) R mín Curvatura -----394 mm
- d) Tipo Armado
- e) Tensión Máxima -----3500 N
- f) Peso -----0.63 Kg/m
- g) Temperatura ----- -30° a 70°C
- h) Elemento Central de Refuerzo ----- VINIL
- i) R mín Curvatura = $20 \times \varnothing$ Ext. = 20×19.7 mm = 394 mm

3.- Características de la F.O. tipo ERICSSON

- a) \emptyset del Núcleo ----- 10 μ m
- b) η núcleo ----- \approx 1.465
- c) \emptyset Revestimiento ----- 125 μ m
- d) η revestimiento ----- \approx 1.46
- e) N.A. ----- 0.11
- f) Bo ----- $\rightarrow \infty$
- g) λ ----- 1.3 μ m
- h) Atenuación de la línea ----- \leq 1.0 dB/Km
- i) Atenuación del Empalme ----- \leq 0.2 dB/Emp.
- j) Atenuación del conector ----- \leq 1.0 dB/conec.
- k) N°canales por circuito ----- 1920
- l) N°canales por cable ----- 11520

7.- COSTOS

Uno de los principales aspectos a considerar en la forma de desición de introducir S.T.F.O. en la red urbana telefónica, es el costo del enlace.

En este capítulo se desgloza el costo de la siguiente manera:

- Costo Total del Sistema
- Costo de la Infraestructura requerida para su realización

- Costo del Sistema: (U.S. dlrs.)

Descripción	Costo Unitario	Cantidad	Costo Total
Equipo Terminal Optico			
Sistema Automático de protección 1 + 1			
Cable con 12 Fibras - Opticas			
TOTAL			(U.S. dlrs.)

- Costo de la canalización, ductos, pozos y cajas empalme.

Descripción	Costo Unitario	Cantidad	Costo Total
- Colocar ducto 4 vías			
- Cajas de empalme			
- Pozos para cajas de empalme			
TOTAL			

- Costo Total:

- 1) Costo del Sistema
- 2) Costo de canalización, pozos y cajas de empalme
- 3) Costo Total

8.- EQUIPO NECESARIO PARA LA SUPERVISION Y EL MANTENIMIENTO

En conjunto con los S.T.F.O. Teléfonos de México debe considerar los aspectos de operación, supervisión y mantenimiento, para lo cuál requiere de

equipos de medición especializados.

Lo concerniente a la determinación de los principales parámetros a medir en un S.T.F.O. de los métodos de medición, de los equipos necesarios y de la periodicidad con que deben realizarse estas mediciones se especifican a continuación.

8.1.- MEDICION DE LOS PARAMETROS RELEVANTES.- A continuación se describe la forma en que se deben verificar las características de transmisión de las distintas partes que constituyen un sistema óptico, se presenta también la lista de los equipos de medición que se requieran así como la forma en que deben conectarse para realizar las mediciones necesarias. Los resultados que se obtienen, de la medición continua y programada son:

- La localización de fallas
- Un mantenimiento preventivo eficaz del equipo
- Optimizar las reparaciones
- Contar con un registro del compartimiento del equipo

EVALUACION DEL CABLE DE FIBRA OPTICA

a) Cuando se recibe el cable de fibra óptica, deben verificarse las características de transmisión especificadas por el proveedor (ATENUACION), así como verificar, que la fibra no haya sido reparada, lo anterior mediante el método de RETRO DIFUSION.

b) El método de retro difusión, permite el monitoreo durante la instalación de los efectos causados por las tensiones a que es sometido el cable, y también de las operaciones de empalme, requiriendo solamente una persona.

en uno de los extremos, ver. figura 8.11.

c) Una vez hecha la instalación deben medirse, la atenuación y el ancho de banda globales, empleando ya sea el método de INSERCIÓN O RETRO DIFUSIÓN.

CABLE DE FIBRA OPTICA.- Durante la instalación del cable deben medirse los siguientes parámetros.

PARAMETROS	EQUIPOS DE MEDICION	OBSERVACIONES
- ATENUACION - LONGITUD DEL CABLE - PERDIDA POR EMPALME - LOCALIZACION DE LOS EMPALMES - PERDIDA POR CONECTOR	REFLECTOMETRO OPTICO EN EL DOMINIO DEL TIEMPO	ESTE METODO ES DE PARTICULAR INTERES YA QUE CON EL SE HACEN PRUEBAS DE: - PERDIDAS GLOBALES - DEFECTOS POR BURBUJAS, CAMBIOS ABRUPTOS DE DIAMETRO, - MICROCURVATURAS - FALLAS EN LA FIBRA ENTREGADA POR EL PROVEEDOR.
Una vez instalado el cable se procede a medir.		
- ANCHO DE BANDA TOTAL - PERDIDA TOTAL	MEDIDOR DE DISPERSION MEDIDOR DE ATENUACION FUENTE DE LUZ Y MEDIDOR DE POTENCIA OPTICA	MEDIANTE EL METODO DE INSERCIÓN: VER FIG. 8.12, 8.13, 8.14.

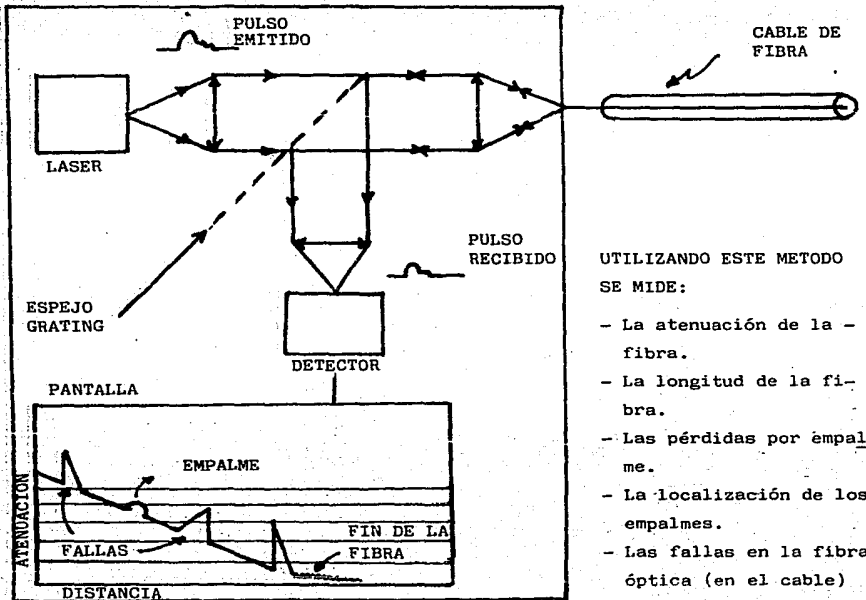


FIG. 8.11 METODO DE RETRO DIFUSION

METODO DE INSERCIÓN.- Fibra de inyección, (tramo de fibra que se coloca con el objeto de que los modos se normalizen antes de entrar a la fibra - bajo prueba).

- Cable Optico de Línea.- Es el cable bajo prueba
- Medición de la Atenuación del Cable Optico de Línea:

1) Calibrar el equipo de Medición.- Medir la potencia óptica de entrada al cable de la línea, ver fig. 8.12

2) Conectar el cable óptico y medir la potencia óptica, ver fig. 8.13

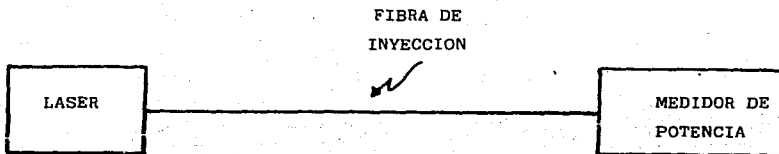


FIG. 8.12

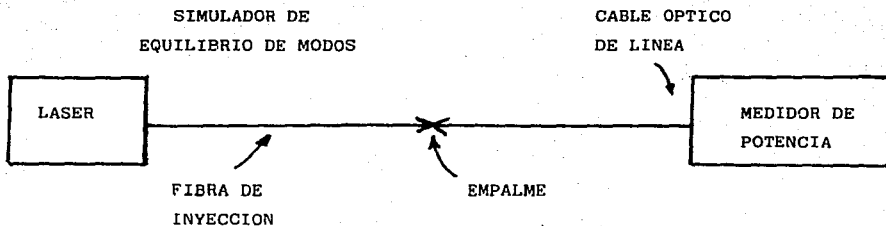


FIG. 8.13

- Medición del Ancho de Banda.- Existen equipos en los cuáles el generador de frecuencias, el laser y el detector, están integrados y unicamente debe conectarse la fibra para su medición, ver. Fig. 8.14. Sin embargo en el de tener los equipos por separado, debe procederse de la siguiente manera:

- 1) Primero calibrar el equipo (sin el cable de la fibra óptica)
- 2) Conectar la fibra y anotar los valores de potencia óptica recibida vs. la frecuencia del emisor y deducir el ancho de banda de la fibra a - 6 dB. (eléctricos).

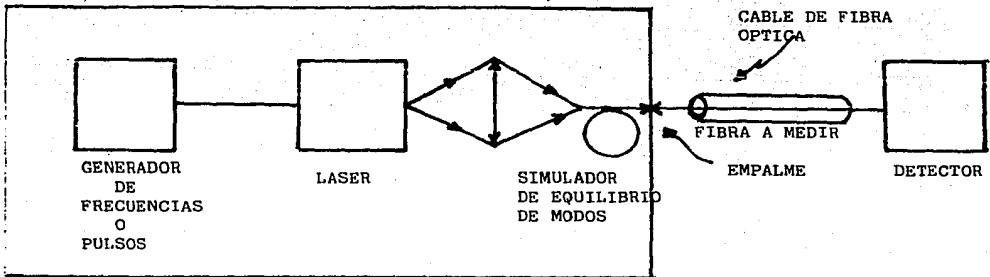
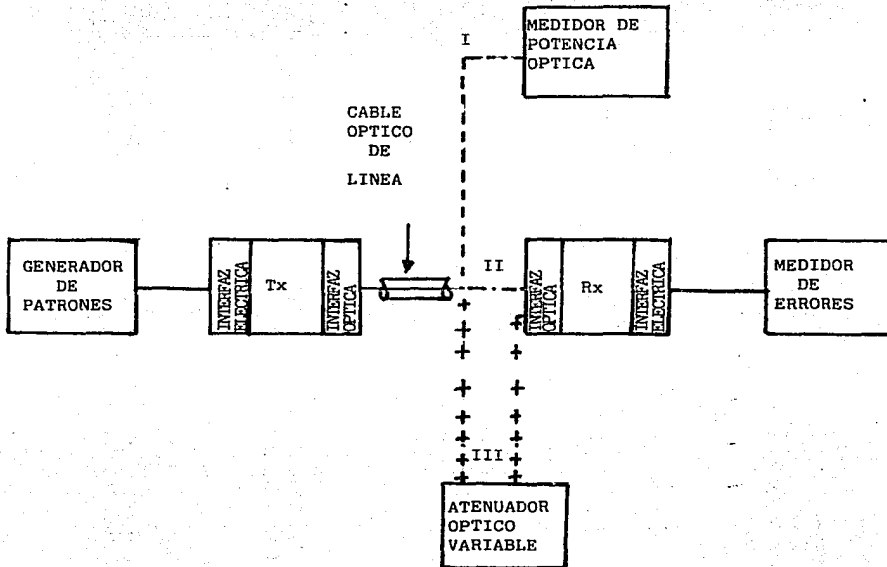


FIG. 8.14

- EQUIPO COMPLETO (ver fig. 8.15)

PARAMETRO	EQUIPO DE MEDICION	OBSERVACIONES
Atenuación total del cable entre dos terminales	- Medidor de Potencia Optica	Incluido: - Empalmes - Conectores
Potencia Optica recibida	- Medidor de Potencia - Generador de Patrones 140 M b/s (para excitar al transmisor).	
Razón de Error Margen de Operación para BER = 10^{-9}	- Generador de Patrones 140 M b/s - Medidor de razón de error - Atenuador variable	Nos indica el margen de seguridad para reparaciones futuras, así como el empleo de nuevas técnicas de multiplexación óptica.
Consumo de energía por terminal bidireccional.	- Wattmetro	Equipo de propósito general.



I.- Medición de potencia óptica

recibida -----

II.- Medición de la razón de errores .-.-

III.- Medición del margen de operación ++++

FIG. 8.15 EQUIPO COMPLETO DE LOS PARAMETROS DE MEDICION

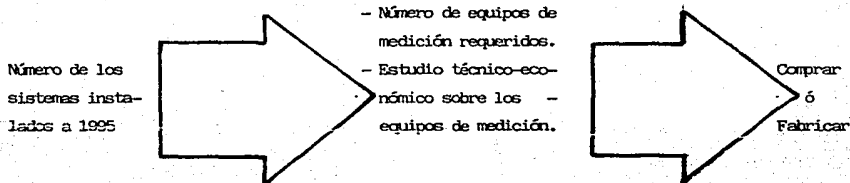
- 1) Aumentar la atenuación hasta que la razón de error de bits sea 10^{-9}
- 2) Leer la atenuación, que será igual al margen de operación.

8.2.- EQUIPOS DE MEDICION

Los equipos de medición se dividen en dos grupos:

- A) Los que se emplean tanto para sistemas ópticos, como eléctricos.
- B) Los que son específicos para sistemas ópticos.

Se requiere realizar un estudio técnico-económico sobre los equipos - necesarios para hacer las mediciones. Y un estudio de factibilidad de integración nacional de los equipos de medición en base a:



- CLASIFICACION DE LOS EQUIPOS DE MEDICION EMPLEADOS EN SISTEMAS OPTICOS.

Equipos que se emplean tanto en sistemas ópticos como en sistemas convencionales.	Equipos que se emplean únicamente en sistemas ópticos.
<ul style="list-style-type: none"> . Generador de Patrones de 140 M b/s . Medidor de Tasa de error . Osciloscopio . Contador de Frecuencias . Multímetro . Wattmetro . Equipo Generador de Patrones de Error 	<ul style="list-style-type: none"> . Atenuación óptico variable . Medidor de Potencia Optica . Medidor de Atenuación <ul style="list-style-type: none"> - Por retro difusión - Por inserción . Medidor de Ancho de Banda

9.- CONCLUSIONES Y CONTINUIDAD

En este capítulo se trataron los aspectos determinantes sobre los beneficios de la introducción de sistemas ópticos en la red urbana de TEL-MEX. para poder cursar su tráfico de L.D.

Los principales beneficios que se obtienen al introducir S.T.F.O. en la red urbana para su manejo de L.D. son:

- Contar con enlaces de L.D. independientes de la S.C.T. en lo que se respecta a la asignación de frecuencias, esto permite dimensionar la red L.D. de acuerdo a los planes de TEL-MEX., o a la demanda en el momento que se requiera.

- Enlaces de L.D. con capacidad prácticamente ilimitada en una misma ruta, condición que no se puede cumplir totalmente empleando enlaces por microondas por la saturación del espectro de frecuencias.

- Adopción de las nuevas tecnologías futuras en beneficio, tanto del incremento de la capacidad del sistema, como de la distancia entre repetidores que se pueda lograr, (eliminar a futuro equipo regenerador) todo lo cuál no requerirá de cambiar el cable óptico.

- Preparar la red de L.D. para crear en lo futuro una red digital integrada de servicios.

- Adicionalmente contar con la posibilidad de preparar y sensibilizar al personal de TEL-MEX., respecto al manejo de sistemas de transmisión óptica.

- Contar con una red urbana constituida por sistemas que pueden coexistir con cualquier otro sin existir interferencia.

CAPITULO V

5.- OTRAS APLICACIONES

Las aplicaciones que pueden ser cubiertas por las fibras ópticas son muy variadas y pueden considerar sistemas de comunicación y otros usos, como se muestran a continuación:

TECNOLOGIA DE LA FIBRA OPTICA PARA:

1) SISTEMAS SUBMARINOS DE COMUNICACION

Desde mediados de los 80's, las transmisiones submarinas por fibras ópticas constituyen una alternativa rentable a los actuales sistemas de cable coaxial. Como resultado de los intensos desarrollos y evaluaciones de fibras, transmisores y detectores, pronto será fiable la operación con fibras monomodo en longitudes de onda larga.

2) SISTEMAS DE TRANSMISION PARA LA RED DE TELECOMUNICACIONES EN LA CIUDAD DE MEXICO.

En la Ciudad de México se han instalado ya enlaces por fibras ópticas como parte de un programa de digitalización y expansión a gran escala promovido por la administración telefónica mexicana.

3) SISTEMA DE TRANSMISION PARA LA RED DE FERROCARRILES

El cable tendido por un túnel ferroviario, está resistiendo bien la alta vibración y humedad existente.

4) SISTEMA OPTICO DE TRANSMISION DE VIDEO

La transmisión de un canal video de color con dos canales de sonido -

asociados se ha simplificado considerablemente con la introducción de un nuevo sistema óptico de transmisión de video, que elimina los inconvenientes para ésta aplicación de los sistemas de cable coaxial y por microondas.

5) SISTEMAS DE TRANSMISION PARA MEDIDA DE NIVEL EN PRESAS HIDROELECTRICAS

Por su inmunidad a las perturbaciones e inducciones eléctricas, los sistemas de transmisión por fibra óptica, se prestan excepcionalmente a ser utilizadas en la industria. El sistema de demostración instalado en la presa de Alvarellos, ha probado la factibilidad de transmitir información, tal como el nivel de agua, sobre cable de fibra óptica en entornos hostiles.

6) EQUIPOS MILITARES

Las fibras ópticas sirven también de base para nuevos equipos militares, entre ellos los misiles y torpedos controlados, en los que una fibra de alta resistencia proporciona un enlace de video y control entre el arma y un controlador en tierra ó en el buque.

7) APLICACIONES ESPECIALES

Las singulares propiedades de las fibras ópticas han posibilitado una gama enteramente nueva de dispositivos tales como:

- a) Detectores de Contaminación
- b) Medidores de Flujo en Fluidos
- c) Sensores Magnéticos
- d) Auriculares Opticos
- e) Visión, Iluminación y Sistema de Presentación.

C A P I T U L O VI

6.- CONCLUSIONES GENERALES

Desde el punto de vista técnico, la evolución y situación actual de la tecnología de los sistemas de transmisión por fibra óptica muestra las siguientes ventajas:

1) Son filamentos de fibra óptica de varias milésimas de pulgada de diámetro, ésta ventaja de tamaño y peso son especialmente importantes para cables submarinos y en áreas con congestionamiento de líneas de transmisión.

2) La transmisión óptica es inmune a cualquier ruido eléctrico ambiental, resonancias, ecos ó interferencias electromagnéticas. No genera ningún ruido eléctrico propio y la comunicación por fibra óptica no presenta ningún problema de diafonía.

3) Los cables ópticos son seguros para utilizarse en ambientes explosivos y eliminan los riesgos de corto circuito en alambres y cables metálicos. Los sistemas ópticos se pueden fabricar para tener un aislamiento eléctrico total.

4) El número de repetidores requeridos es menor que, con sistemas convencionales y para tramos cortos menores ó iguales a 10 Km no serán necesarios los repetidores.

5) Los cables de fibras ópticas, actuales, tienen un costo aproximadamente igual a los cables coaxiales. Como los materiales con que se fabrican los cables de fibra óptica existen en abastecimientos suficientes para incrementar el volumen de producción, esos costos disminuirán por debajo del 50 %

de su costo actual, haciendo al cable de fibra muy ventajoso en términos del costo inicial por unidades de longitud.

6) Las pérdidas en cables de fibra óptica pueden ser disminuidas cambiando la fuente de luz a base de "LEDS" por fuentes "LASER", en cuanto lleguen a ser aprovechables.

7) Los costos de instalación de cables de fibra óptica son menores - que los cables de metal, ya que los costos de trámite y envío son aproximadamente el 25 % que el de los cables metálicos normales y la mano de obra será aproximadamente un 50 % menor.

8) La necesidad de reemplazo y mantenimiento preventivo de cables de fibra óptica es reducida debido a su invulnerabilidad en la construcción.

9) Correctamente diseñadas las líneas de transmisión y los acoplamientos son relativamente inmunes a condiciones de temperatura y humedad adversas, y se pueden utilizar en cables submarinos. Bajo condiciones muy adversas las fibras descubiertas con una composición de vidrio (silicon) puede soportar 1000°C, donde el cable coaxial está limitado a 300°C.

La tecnología de los sistemas de transmisión por fibra óptica ha evolucionado en forma acelerada hasta el punto en que se presenta hoy alternativas a las redes de telecomunicaciones, y respecto a la utilización de los - S.T.F.O. en las redes telefónicas, los puntos que destacan y que deben determinarse son:

- La parte de la red de teléfonos en que es aplicable la fibra óptica.
- Cómo se puede explotar su uso de manera que se obtengan, bajo costos de mantenimiento y administración.

Una vez estudiados estos importantes aspectos, así como la evolución y el estado actual de la tecnología de los sistemas de transmisión por fibra óptica y su situación en el mercado.

Dada la lista de características y ventajas de los cables de fibra óptica, se puede concluir que la transmisión por fibra óptica, no tiene una sino muchas posibilidades para el futuro, aunque todavía los cables de fibras ópticas no compiten con los cables de cobre para algunas aplicaciones, su empleo será interesante, cuando las técnicas digitales tengan mayor penetración en las redes telefónicas, estas redes proveerán nuevos servicios, como la transmisión de señales de video y audio de alta fidelidad, así como toda clase de datos que requieran de una mayor capacidad que la ofrecida por un canal telefónico común.

La aplicación, depende fundamentalmente de la manera en que las características de estos sistemas cumplan con los requisitos impuestos por las redes.

Con lo que respecta a lo relacionado del tema sobre la aplicación de los S.T.F.O. en la red urbana de TEL-MEX. referente a la descentralización de la red de L.D. del centro telefónico SN. JUAN. TEL-MEX., realizo estos trabajos para transferir el tráfico telefónico de cada una de las centrales urbanas de la zona metropolitana, a fin de que terminen en la nueva central digital más próxima a su ubicación; ya sea la central MORALES, VALLEJO, SN. JUAN ó ESTRELLA. Además estos sistemas de transmisión se diseñaron con el objeto de proporcionar una alta confiabilidad al servicio de larga distancia y que exista mutuo respaldo entre el sistema de fibra óptica y el de microondas digitales.

Por lo tanto las ventajas que el nuevo sistema representa son:

- Mayor confiabilidad del servicio telefónico de L.D.
- Calidad de servicio superior a la existente.
- Menor congestión en el tráfico telefónico.
- Amplia facilidad de operación y mantenimiento.
- Y uso de nuevas bandas de frecuencias que son compatibles con el sistema de Satélite Morelos.

Por lo tanto se puede deducir que las fibras ópticas tienen tal potencial para mejorar las telecomunicaciones y reducir los costos de equipo operativo y de entrenamiento, que bien podrían convertirse rápidamente en la forma más eficaz en relación a los costos de aumentar la eficacia de transmisión. La industria de las telecomunicaciones ya no se ve limitada por circuitos vocales terrestres analógicos con conmutación mecánica. La transmisión y el manejo numéricos de señales de telecomunicaciones a través de fibras ópticas y circuitos ópticos integrados es una realidad, que abre campos nuevos y vastos por los que seguiremos adelante hacia la red del futuro.

B I B L I O G R A F I A

T I T U L O	A U T O R
1.- LINEAS DE TRANSMISION, GUIAS DE ONDA Y FIBRAS OPTICAS.	MARIA JOSE SALMERON. EDT. TRILLAS
2.- SISTEMA DE TRANSMISION DE 140 M BIT/S USANDO FIBRA OPTICA DE 1.3 μ M	B. LE MOVEL, Y. BERNIER, S. CALU, P. PAUL
3.- ON THE ULTIMATE LOWER LIMIT OF ATTENUATION IN GLASS OPTICAL WAVEGUIDES	D.B. KECK, R.D. MAURER AND P.C. SCHLTZ
4.- SPECTRAL LOSSER OF LOW-OH-CONTEN OPTICAL FIBRES	M. HORIGUCHI AND H. OSANAI.
5.- ZERO MATERIAL DISPERSION IN OPTICAL FIBRES.	D.N. PAYNE AND. W.A. GAMBLING.
6.- LES TECHNIQUES DE MESURE SUR FIBRES OPTIQUES.	M. BOUILLIE
7.- PERSPECTIVES OFFERTES PAR LES FIBRES OPTIQUES.	L. JEUNHOMME.
8.- LE POINT DE CONMUTATION OPTIQUE	M. TREHEUX - F. LE COQUIL.
9.- OPTICAL FIBRE CABLE AND SPLICING TECHNIQUES.	GE LE NUAME:
10.- LA MECANIQUE DE LA RUPTURE APPLIQUEE AUX FIBRAS OPTIQUES	A. ZAGANIARIS
11.- COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA.	MARCOMBO. MUNDO ELECTRICO
12.- COMUNICACIONES OPTICAS	SIEMENS
13.- TELECOMUNICACIONES VIA FIBRAS OPTICAS	APUNTES EDUCACION CONTINUA UNAM.
14.- FIBER OPTICS.	LACY. PRENTICE - HALL PRACTICO TOTALMENTE
15.- FIBER OPTICS COMMUNICATIONS.	PALAIS, SPECTRUM BOOK.

16.- INTRODUCTION TO OPTICAL FIBER
COMMUNICATIONS

SUEMATSU - IGA.
WILEY INTERSCIENCE.

17.- OPTICAL FIBERS.

OKOSHI. ACADEMIC PRESS.

18.- OPTICAL FIBERS FOR TRANSMISSION.

MIDWINTER. WILEY INTERSCIENCE.

19.- OPTICAL FIBER COMMUNICATIONS.

SENIOR. PRENTICE - HALL INTER-
NATIONAL

20.- FIBER OPTIC DESIGN AND APPLICATIONS.

BAKER. RESTON.

21.- AN INTRODUCTION TO OPTICAL FIBERS.

CHERIN. M^C GRAW - HILL.

22.- OPTICAL FIBER COMMUNICATIONS.

KEISER. M^C GRAW - HILL.