



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

COMUNICACIONES  
"INSTALACION Y MEDICION DE  
FIBRA OPTICA"

TRABAJO DE SEMINARIO  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A :  
CESAR VIRGILIO MORENO VAZQUEZ

ASESOR: ING. FRANCISCO TELLITUD LOPEZ.

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO.

1998

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

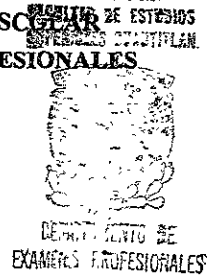
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLÁN  
PRESENTE.

AT'N: Q. MA. DEL CARMEN GARCIA MIJARES  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES-C.

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

\_\_\_\_\_ Comunicaciones  
"Instalación y Medición De Fibra Optica"  
\_\_\_\_\_

que presenta el pasante: César Virgilio Moreno Vázquez,  
con número de cuenta: 8819920-3 para obtener el Título de:  
Ingeniero Mecánico Electricista.

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

ATENTAMENTE.  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cuautilán Izcalli, Edo. de México, a 21 de Septiembre de 1998

MODULO:	PROFESOR:	FIRMA:
<u>I</u>	<u>Inj. Alfonso Contreras Márquez.</u>	<u>Contreras Márquez Alfonso</u>
<u>II</u>	<u>Inj. Juan González Vega.</u>	<u>Juan González Vega</u>
<u>IV</u>	<u>Inj. Vicente Magaña González.</u>	<u>Vicente Magaña</u>

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres:

Dr. José Virgilio Moreno García y Ma. Asunción Vázquez Juárez, con mi eterna gratitud por el inmenso apoyo que me han brindado a lo largo de mi formación personal y profesional.

A mis hermanas:

Dra. Ma. Alejandra y Azucena Moreno Vázquez, con un gran afecto.

Al Sr. Ing. Francisco Tellitud López,

con mi reconocimiento por la dirección de este trabajo.

***INSTALACION Y MEDICION  
DE FIBRA OPTICA***

## INDICE

<b>INTRODUCCION..</b> .....	1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>TIPOS DE FIBRA OPTICA</b> .....	2
I.1 Fibra Multimodo de Indice Escalonado.....	3
I.2 Fibra Multimodo de Indice Gradual.....	4
I.3 Fibra Monomodo.....	4
<b>CAPITULO II</b>	
<b>CONEXIÓN OPTICA</b> .....	7
II.1 Empalmes.....	7
II.2 Pérdidas en el Empalme.....	8
II.3 Empalme Mecánico Simple.....	9
II.4 Empalme Térmico Simple.....	10
II.5 Empalme Térmico Simple de Conductores de Fibra Optica Monomodo ...	12
II.6 Sistema de Inyección de Luz y Detección Local para Conductores de Fibra Optica (LID).....	14
II.7 Empalme Múltiple.....	16
II.8 Empalme Múltiple Mecánico.....	17
II.9 Empalme Múltiple Térmico.....	18
II.10 Conector Optico.....	18

II.11 Pérdidas en el Conector Optico.....	19
II.12 Conexiones por Conectores.....	20
II.12.1 Acoplamiento con Lentes .....	21
II.12.2 Acoplamiento Frontal.....	21

### **CAPITULO III**

<b>INSTALACION DE FIBRA OPTICA.....</b>	<b>25</b>
III.1 Consideraciones para la Instalación..	25
III.2 Instalación del Cable Optico en Ductos.....	29
III.2.1 Planificación.....	29
III.2.2 El Diseño.....	29
III.2.3 Características del Terreno. ....	30
III.2.4 Tipo de Suelo. ....	30
III.2.5 Tipo de Tendido.....	30
III.2.6 Planificación de Ruta.....	34
III.2.6.1 Colección de Datos.....	34
III.2.6.2 Selección de Ruta Probable.....	35
III.2.6.3 Diseño del Tramo de Repetición... ..	35
III.2.6.4 Decisión de la Ruta y Tramo de Repetición. ....	36
III.2.6.5 Limpieza e Introducción de la Guía.....	36
III.2.6.6 Inmersión del Flexoducto e Instalación de Subductos.....	38
III.2.6.7 Inmersión del Cable Optico en Subductos.....	41
III.2.6.8 Instalación del Cable Optico en Tubo Conduit.....	45

## **CAPITULO IV**

<b>MEDICIONES</b> .....	47
IV 1 Etapa de Medición.....	47
IV.2 Descripción de las Mediciones.....	51
IV.3 Comprobaciones Previas.....	51
IV 4 Detección de Defectos de la Fibra Optica..	52
IV.5 Atenuación por Retrodispersión. ....	53
IV.6 Atenuación por Pérdidas de Inserción .....	53
IV.7 Localización de Fallas. ....	55
IV.8 Enfoque Comparativo entre los Diferentes Métodos de Medición.....	56
<b>CONCLUSIONES</b> .....	57
<b>GLOSARIO DE TERMINOS</b> .....	59
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	71



## INTRODUCCION

Uno de los logros más importantes en el campo de las comunicaciones en los últimos años, es el avance explosivo en la tecnología de la transmisión de información a través de las fibras ópticas. Muchos sistemas de comunicaciones por fibras ópticas han sido instalados en el mundo por compañías telefónicas, transmitiendo datos a velocidades altas en distancias grandes sin repetidores, lo anterior se realizaría con un alto grado de dificultad empleando los medios convencionales, tales como: el espacio libre y los cables metálicos.

Las redes de fibras ópticas en expansión prometen aportar un medio inmenso de velocidad y capacidad, y conforme la fibra se desplace hacia el abonado, habrá una abundancia de nuevos servicios esperando utilizar esa capacidad potencial hasta su totalidad.

Los sistemas de comunicaciones por fibras ópticas son bastante utilizados en la transmisión punto a punto, aplicándose en: telecomunicaciones, troncales y distribución de señales de vídeo, conexiones entre equipos de procesamiento, control, instrumentos de medición, etc. Estos sistemas difieren de los sistemas de comunicaciones por radio y por cables metálicos por la forma de transmitir la información y el medio de transmisión. En los sistemas de comunicaciones por radio la información está contenida en ondas electromagnéticas y el medio de transmisión que se utiliza es el espacio libre. La comunicación por cables metálicos se hace a través de conductores, viajando la información a través de éstos en forma de ondas de voltaje o corriente. Para los sistemas de comunicaciones por fibra óptica el medio de transmisión es la fibra óptica y la información viaja en forma de luz.

## CAPITULO I. TIPOS DE FIBRA OPTICA

Existen dos tipos fundamentales de comportamiento desde el punto de vista de los modos propagados por las fibras ópticas: *comportamiento monomodo* y *comportamiento multimodo*.

La diferencia entre ambos radica en que el comportamiento monomodo, y por ende en las fibras ópticas monomodo, tan sólo se propaga por el núcleo de la fibra el modo fundamental o modo de orden inferior.

En el comportamiento multimodo, que se corresponde con las fibras ópticas multimodo, se propaga siempre en varios modos: El «modo fundamental» y los «los modos de orden superior o modos asociados».

La Fig. 1 representa las diferentes trayectorias descritas durante su propagación por el modo fundamental y por los modos de orden superior.

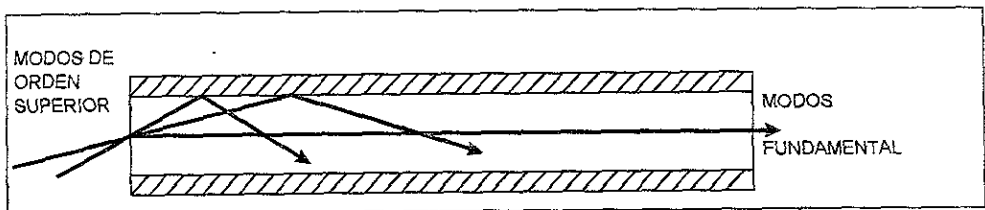


Fig. 1 La estructura de la fibra determina como la luz se propaga a través de ella.

En función del perfil del núcleo de la fibra, todas las fibras ópticas de perfil gradual presentan un comportamiento multimodo, mientras que las fibras ópticas de perfil escalonado pueden presentar un comportamiento monomodo o multimodo.

En lo fundamental se emplean tres tipos de fibras ópticas en los sistemas de telecomunicaciones. Multimodo de índice escalonado, Multimodo de índice gradual y monomodo.

### I.1 FIBRA MULTIMODO DE INDICE ESCALONADO

Las fibras ópticas multimodo de índice escalonado, son aquellas que el índice de refracción a lo largo del núcleo es constante y cambia abruptamente en la frontera núcleo - cubierta óptica. Existen diferentes modos de propagación en la fibra óptica.

Los rayos cuyos ángulos de incidencia son cercanos al ángulo crítico se denominan modos de alto orden. Los rayos cuyos ángulos de incidencia son cercanos a  $90^\circ$  se denominan de bajo orden. Una representación de los diferentes modos, en los cuales las ondas luminosas viajan a lo largo de la fibra óptica se muestran en la Fig. I.1

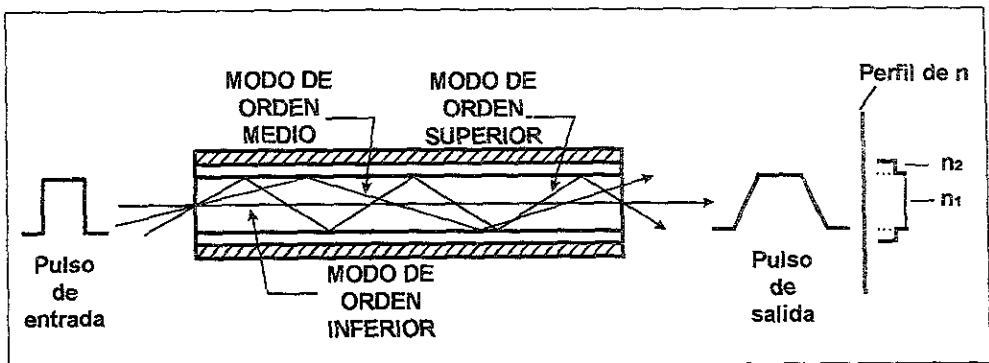


Fig. I.1 Propagación de los diferentes modos en una fibra óptica, multimodo de índice escalonado.

## I.2 FIBRA MULTIMODO DE INDICE GRADUAL

Puesto que el índice de refracción es una medida de la disminución de la velocidad de la luz que viaja en el medio, se puede hacer un núcleo cuyo índice disminuya conforme se acerque a la cubierta óptica, de tal manera que la velocidad de los rayos de luz crezca conforme los rayos se alejan del centro. De esta manera se puede lograr que los rayos de modos altos lleguen al mismo tiempo que los rayos de modos bajos en el otro extremo de la fibra óptica, resultando en una disminución de dispersión multimodal. Una representación de la programación y del perfil del índice de refracción para fibras multimodo de índice gradual se muestra en la Fig. 1.2

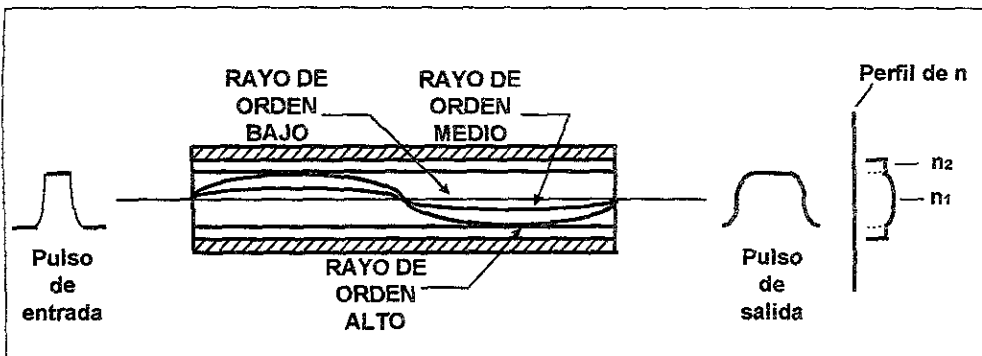


Fig. 1.2 Propagación a lo largo de una fibra multimodo de índice gradual o parabólico.

## I.3 FIBRA MONOMODO

Otra forma de reducir la dispersión multimodal es permitiendo que solo se propague un solo modo. Este se logra reduciendo el diámetro del núcleo y eligiendo la relación de índices de refracción del núcleo y de la cubierta óptica

A este tipo de fibras se denominan fibras ópticas monomodo. Una representación de la propagación de la luz a través de una fibra óptica monomodo se muestra en la Fig. 1.3.1

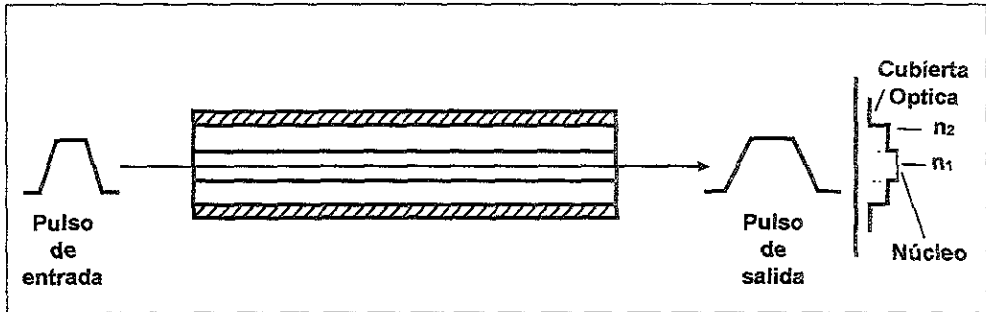


Fig. 1.3.1 Propagación a lo largo de una fibra óptica monomodo.

En las fibras multimodo de índice gradual se ha reducido la dispersión multimodal con respecto a la dispersión por el pulso de luz cuando se propaga a lo largo de la fibra óptica multimodo de índice escalonado, por lo tanto, si se tiene un enlace de una determinada longitud, las fibras multimodo de índice gradual pueden llevar información a mayor velocidad que las fibras multimodo de índice escalonado.

En las fibras monomodo, la dispersión multimodal se ha reducido a cero, ya que sólo se propaga un solo modo, y es por este motivo que estas fibras ópticas monomodo pueden transmitir mayores volúmenes de información, en comparación con las fibras ópticas multimodo. Una representación cualitativa que permite ilustrar comparativamente la dispersión de los pulsos de luz propagados a través de fibras ópticas multimodo y monomodo se muestra en la Fig. 1.3.2

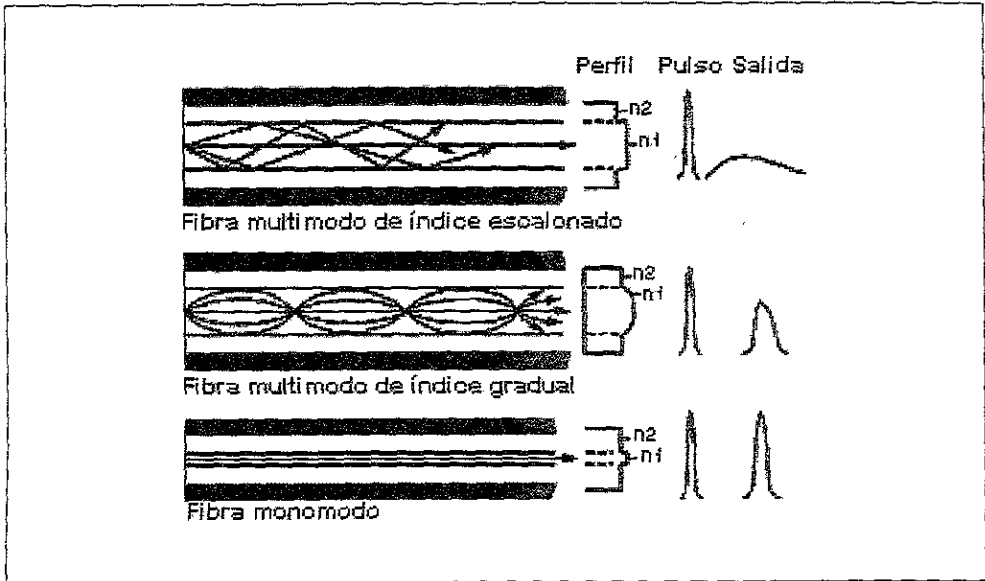


Fig. I.3.2 Propagación de la luz a través de fibras multimodo y monomodo.

## **CAPITULO II. CONEXIÓN OPTICA**

La conexión de los elementos que integran un sistema de comunicación por fibra óptica, es una de las consideraciones fundamentales para una realización teórico-práctico adecuada. La conexión se puede realizar entre fibras, siendo de dos tipos: a) empalme, que es una unión fija, b) conector, la cual es una unión temporal.

El empalme encuentra su mayor aplicación en la planta externa y en menor grado en el equipo de oficina. El empalme puede ser de dos tipos: 1) mecánico, el alineamiento y sujeción de la fibra se realiza por medios mecánicos, térmicos y adhesivos, 2) por fusión, se aplica a las fibras una elevada temperatura que las funde, al normalizar la temperatura, las fibras quedan unidas permanentemente, es el que se emplea mayormente y se realiza por microflama o arco eléctrico, siendo esta última técnica la que ha dado mejores resultados. El conector se usa más en el equipo de oficina que en la planta externa. El cierre de empalmes se usa básicamente en la planta externa.

La conexión óptica no es tan sencilla como la conexión eléctrica; donde solo se requiere contacto eléctrico que se obtiene torciendo y soldando los conductores metálicos. La unión óptica requiere alineamiento y conexión precisa del núcleo de la fibra, lo cual se dificulta por las dimensiones reducidas.

### **II.1 EMPALMES**

Para planificar el sistema es necesario tener en cuenta, además del coeficiente de atenuación de los conductores de fibra óptica, los valores de atenuación de los empalmes y de los conectores. Precisamente teniendo en cada vez más largos sin el uso de regeneradores, además de cables de longitudes cada vez mayores y

valores de atenuación de los conductores de fibra óptica cada vez más reducidos, también resulta necesario, optimar los empalmes y conectores en lo relativo a las atenuaciones de inserción de las respectivas uniones. Al hablar de conectores se dice que son conexiones *separables*, y de los empalmes, que son *permanentes*.

Para unir cables con un número relativamente bajo de conductores de fibra óptica se aplica, para empalmes individuales, la técnica del pegado y la soldadura. Para cables con gran número de conductores de fibra óptica se pueden utilizar equipos empalmadores múltiples. Estos son de particular importancia cuando se pretende efectuar los empalmes con la máxima velocidad posible.

## II.2 PERDIDAS EN EL EMPALME

El objetivo de la conexión óptica es acoplar o transferir potencia óptica de un punto a otro. Sin embargo, en la transferencia de potencia existe pérdida causada en el elemento de conexión, estas pérdidas se clasifican en:

1. *Intrínsecas*, se deben a las variaciones de las características propias de las fibras como son: diámetro del núcleo, apertura numérica, índice de refracción, concentricidad, etc. Estas propiedades dependen del proceso de fabricación pudiendo variar entre fibras aún del mismo fabricante.
2. *Extrínsecas*, son función de la técnica de unión empleada, se producen por terminaciones defectuosas en el extremo de la fibra, Reflexiones de Fresnel y por desalineamientos del núcleo. Los desalineamientos pueden ser de tres tipos, longitudinal, transversal y angular, los tres desalineamientos y las reflexiones de Fresnel, introducen pérdidas que son acumulativas. Aunque estas fuentes de pérdida son algo interdependientes, para el mejor entendimiento de su efecto, se pueden considerar independientes



### II.3 EMPALME MECANICO SIMPLE

El método de empalme ilustrado en la figura II.3 se emplea para empalmar conductores de fibra óptica con perfil gradual en la técnica de conductores huecos.

El principio del empalme se basa sobre el autocentrado de los conductores de fibra óptica a ser unidos en una chapa con forma de V.

Dos brazos giratorios fijan las vainas así como los conductores de fibra óptica y los llevan, tras ser cortados al largo exacto, a la posición de empalme sobre la chapa en forma de V del empalmador, produciendo tras un tensado preliminar su unión. La fijación permanente de los conductores de fibra óptica se logra con ayuda de un adhesivo de inmersión de rápido endurecimiento y otra chapa en forma de V la que por acción de la fuerza proveniente de unos resortes ejerce presión sobre los lugares de empalme. La resistencia a la tracción de la unión se obtiene fijando el empalmador en forma de V por presión a las dos vainas de los conductores.

El empalme mecánico simple es de fácil manejo. Dado que no se requiere una llama abierta para empalmar, el equipo sirve también para efectuar trabajos de empalme en un ambiente expuesto a peligro de explosiones.

La atenuación media de empalmes es de aproximadamente de 0.2 dB (que depende, asimismo, de las tolerancias del conductor de fibra óptica).

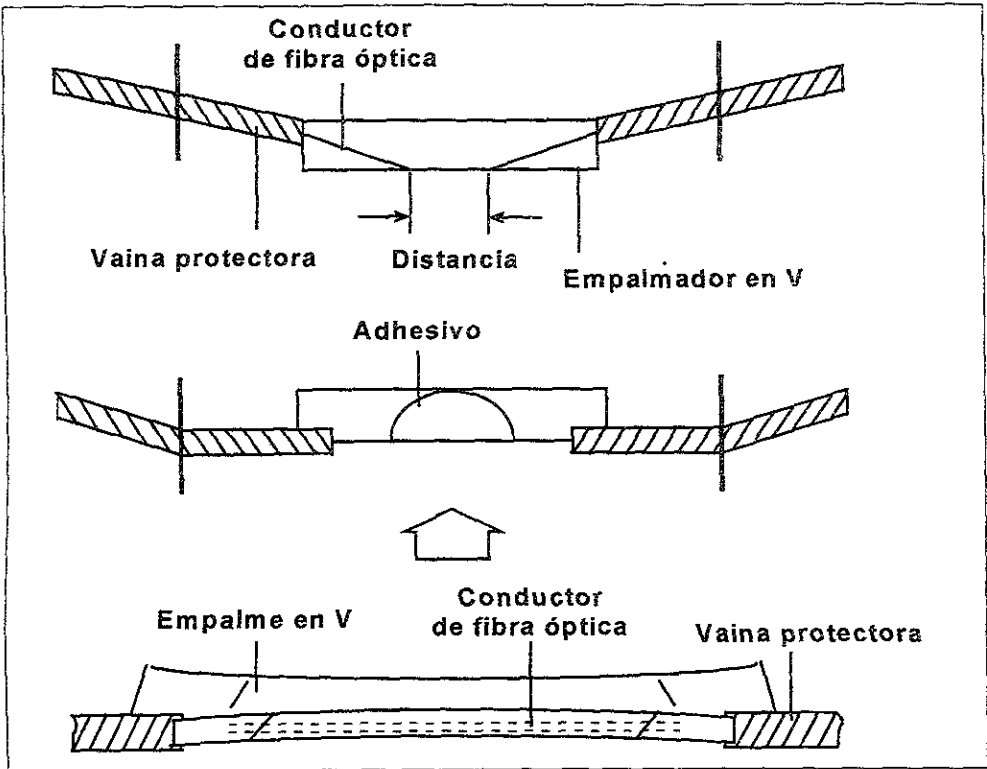


Fig. II.3 Método de empalme mecánico simple

#### II.4 EMPALME TERMICO SIMPLE

Para soldar conductores con una fibra óptica de vidrio de cuarzo con perfil gradual o de vidrio de varios componentes, existe un equipo empalmador térmico cuyo manejo también es sumamente sencillo.

Para encender el arco se emplea una tensión alterna de alta frecuencia. Entre los electrodos se genera la descarga necesaria para efectuar el empalme. La tensión

de superficie del vidrio fundido efectúa el autocentrado de los conductores de fibra óptica a ser unidos, compensándose automáticamente un desplazamiento de hasta  $10\ \mu\text{m}$  sin una atenuación adicional significativa.

Un mecanismo de corte incorporado en el equipo garantiza cortes de fracturas netas con caras lisas como un espejo y con errores de ángulo menores que  $3^\circ$ .

Gracias a la elevada precisión de las guías y de las buenas características de autocentrado del arco, el ajuste del conductor de fibra óptica en sentido longitudinal es el único que resta hacer (Fig. II.4). El proceso de ajuste se puede observar con el auxilio de un microscopio de proyección.

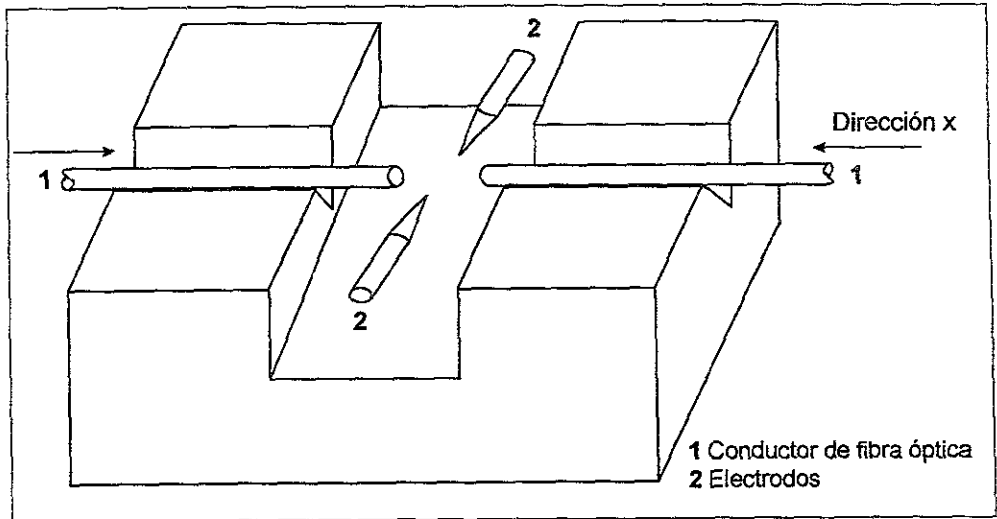


Fig. II.4 Método de ajuste del conductor de fibra óptica en sentido longitudinal.

Ambos conductores de fibra óptica se ajustan haciendo coincidir dos marcas de ajuste en el microscopio de proyección y luego se puede activar el proceso de

soldadura accionando el correspondiente pulsador, tras lo cual los procesos de soldadura preliminar, unión de los conductores de fibra óptica y soldadura definitiva se desarrollan en forma automática.

Tras terminar el proceso de empalme, los conductores de fibra óptica se colocan en un módulo de empalme que, además, los protege.

El equipo lleva incorporado un portamódulos o soporte, en condiciones de contener diferentes módulos de empalme. Estos pueden ser metálicos o cassettes de material plástico.

Una batería de plomo fácilmente intercambiable suministra la energía eléctrica necesaria. Con su carga completa, la batería permite realizar más de 150 empalmes.

La atenuación media del empalme se encuentra en la gama de 0.1 hasta 0.2 dB (y depende además de las tolerancias de los conductores de fibra óptica).

## **II.5 EMPALME TERMICO SIMPLE DE CONDUCTORES DE FIBRA OPTICO MONOMODO**

Para empalmar núcleos con un diámetro de unos 9  $\mu\text{m}$  se requiere una precisión y cuidados tan elevados que ya no alcanza la exactitud de los equipos empalmadores usuales para conductores de fibra óptica con perfil gradual. Por eso existe un equipo empalmador especialmente desarrollado para conductores de fibra óptica monomodo, el cual, para alcanzar pequeños valores de atenuación en el empalme, permite realizar el ajuste de los conductores de fibra óptica en tres ejes (Fig. II.5)

El proceso de soldadura se desarrolla automáticamente en el mismo orden que para conductores de fibra óptica con perfil gradual, un potenciómetro permite graduar

el recorrido de avance en forma continua entre 0 y 20  $\mu\text{m}$ . Contrariamente al conductor de fibra óptica con perfil gradual, el efecto autocentrante producido por las tensiones superficiales del vidrio fundido resulta un inconveniente para los conductores de fibra óptica monomodo. Los movimientos resultantes de la masa de vidrio en fusión en la zona de unión provocan curvaturas del núcleo que pueden producir altas atenuaciones en el empalme. Es posible evitar este efecto con tiempos de soldadura breves, fractura en ángulo recto con error menor que 1 grado y baja corriente de soldadura.

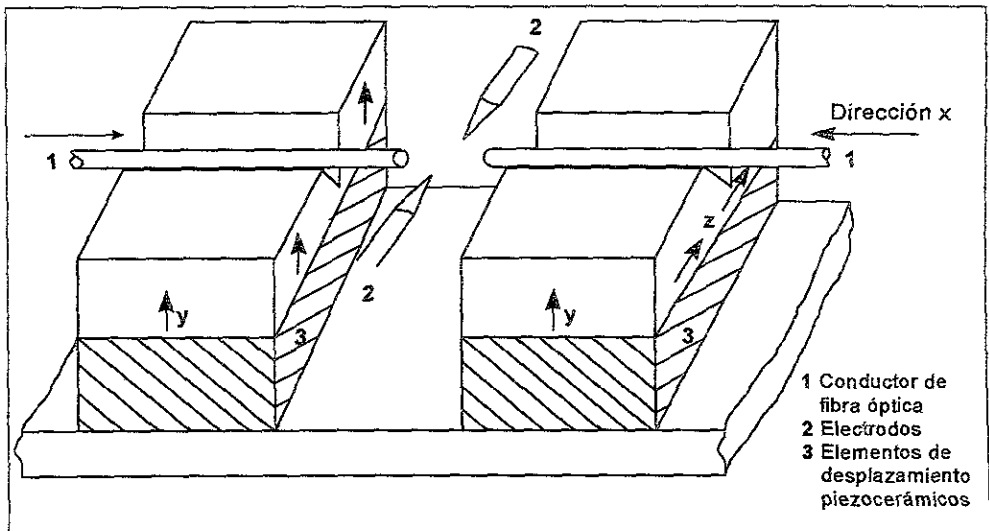


Fig. II.5 Método de ajuste en tres ejes.

En el equipo de empalme se encuentra integrado un dispositivo de corte para conductores de fibra óptica monomodo, el cual garantiza cortes de alta precisión con errores de ángulo menores de 1 grado.

Las atenuaciones en el empalme son menores de 0.1 dB (debiéndose tener en cuenta las tolerancias de los conductores de fibra óptica)

## II.6 SISTEMA DE INYECCION DE LUZ Y DETECCION LOCAL PARA CONDUCTORES DE FIBRA OPTICA (LID)

El sistema local de inyección de luz y detección, LID (Local Injection and Detection System) permite el ajuste rápido y sin inconvenientes de los conductores de fibra óptica multimodo o monomodo a ser empalmados.

El equipo trabaja de acuerdo al siguiente principio (Fig. II.6.1).

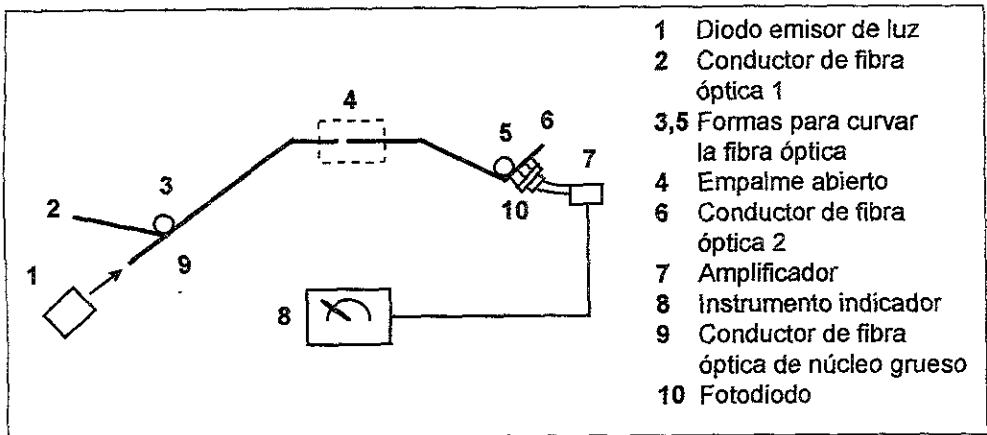


Fig. II.6.1 Principio del sistema LID.

Únicamente puede acoplarse la luz con rendimiento técnicamente útil en el frente del núcleo de un conductor de fibra óptica idealmente rectilíneo. De igual manera un conductor de fibra óptica rectilíneo no irradia prácticamente ninguna luz al exterior. Lo anterior deja de tener vigencia cuando se dobla el conductor. Si el radio de curvatura es suficientemente pequeño, la mayor parte de la luz que pasa por el núcleo sale del conductor de fibra óptica por dicha curvatura y puede ser captado por un fotoelemento.

Este proceso es reversible: la luz también puede ser acoplada en el núcleo de un conductor de fibra óptica curvado atravesando el revestimiento teñido y el vidrio del recubrimiento.

Como elemento transmisor se emplea un diodo emisor de luz la cual es transmitida hasta el punto de acoplamiento por medio de un conductor de fibra óptica de núcleo grueso. Cuando la luz ha pasado, en el punto de empalme, del conductor de fibra óptica número 1 al número 2, la fracción de luz irradiada en el desacoplador por efecto de la curvatura incide en un fotoelemento. Este convierte la potencia lumínica incidente en un valor proporcional de corriente, indicada por un instrumento de medición tras su amplificación y filtrado. Todo cambio de posición del extremo del conductor de fibra óptica 1 con respecto al extremo del 2 modifica la potencia lumínica incidente y es indicada por una variación en el desplazamiento de la aguja en el instrumento de medición. El receptor son el sistema de desacoplamiento se conecta por medio de un cable con el transmisor. El equipo empalmador o una batería de 12 V separada suministra la corriente necesaria.

El empleo del sistema LID permite el posicionamiento óptimo de los núcleos de fibra óptica y simultáneamente una reducción del tiempo de ejecución de cada empalme, ya que se puede prescindir del hasta ahora necesario control de éste en el otro extremo del cable con osciloscopio, ya sea por medio de radio control o por medio de fibra óptica libres o conductores de cobre.

El equipo que trabaja de acuerdo al principio que se acaba de describir es un aparato autónomo, utilizable en el campo y combinable con casi todos los equipos empalmadores.

Para simplificar aún más el desarrollo del proceso y mejorar, al mismo tiempo, la calidad de los empalmes se ha desarrollado un empalmador térmico con control por

microprocesadores, en el cual se encuentra integrado el sistema LID. Este aparato de configuración modular (Fig. II.6.2) posibilita la operación totalmente automática y puede ser utilizado para conductores de fibra óptica monomodo y multimodo.

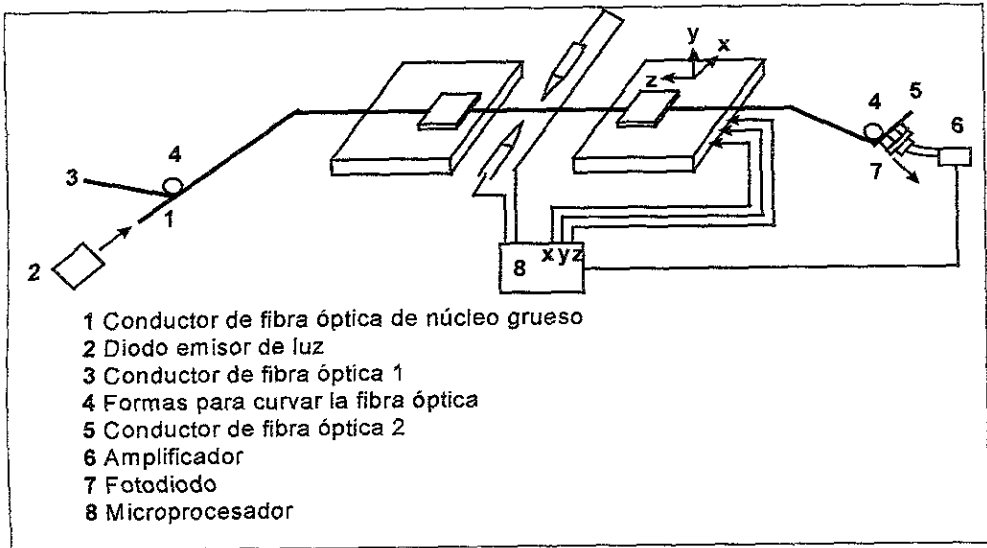


Fig. II.6.2 Método de ajuste con ayuda de un empalmador con control de microprocesadores y sistema LID integrado.

## II.7 EMPALME MULTIPLE

La creciente cantidad de cables con numerosos conductores de fibra óptica provoca forzosamente una mayor complejidad en los trabajos. Para contrarrestar esta dificultad se encuentran en proceso de desarrollo adicionalmente técnicas de empalmes múltiples. Este método permite, por ejemplo, efectuar 12 empalmes en forma simultánea. Al igual que para la técnica del empalme simple, también para la del empalme múltiple existe el método mecánico y térmico



## II.8 EMPALME MULTIPLE MECANICO

Todas las partes del empalmador múltiple son de silicio. Con procesos corrosivos de desgaste de alta precisión se ha practicado en la base guías para conductores de fibra óptica y guías para alojar los dos elementos a ser empalmados. Tras haber sido posicionados los conductores de fibra óptica, resulta posible alojar en un elemento de empalme como máximo doce conductores de fibra óptica multimodo o seis monomodo. Tras haber sido pulidos los extremos de los conductores de fibra óptica se procede a unir ambos conectores de silicio. Las partes del conector múltiple son montados en un módulo que protege al empalme y a los conductores de fibra óptica de deterioros mecánicos (Fig. II.8).

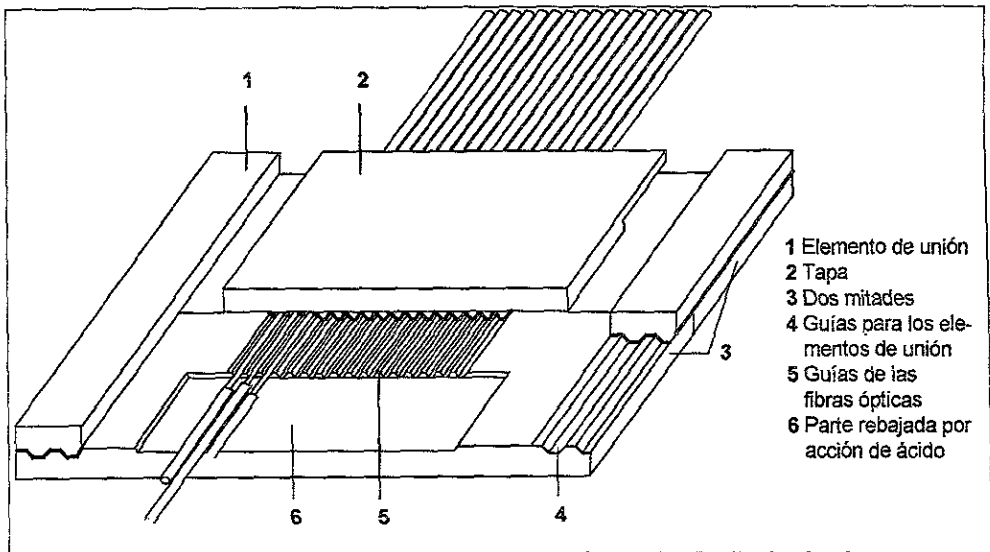


Fig. II.8 Empalme múltiple desprendible.

El empalme puede ser montado por tramos; existen aparatos adecuados para hacerlo. Habitualmente se ejecutan en fábrica. En el lugar del montaje se efectúa

únicamente el acoplamiento de ambos extremos. Es posible, sin inconveniente alguno, separar y reconectar repetidas veces los elementos de empalme.

Para conductores de fibra óptica multimodo y la dimensión 50/125  $\mu\text{m}$  la atenuación de inserción es de aproximadamente 0.2 dB, para los de 10/125  $\mu\text{m}$  alrededor de 0.5 dB por cada empalme.

## **II.9 EMPALME MULTIPLE TERMICO**

Además del empalmador simple de funcionamiento térmico, casi automáticamente, existe un empalmador múltiple térmico que trabaja de acuerdo al mismo principio: una tensión alterna de alta frecuencia suministra, con una descarga entre los electrodos, el calor necesario para fundir los extremos de los conductores de fibra óptica. La exacta colocación recíproca de éstos y el correcto posicionamiento de ambos electrodos son factores importantísimos para obtener buenos empalmes. En vista de que operaciones como quitar el revestimiento, separar el conductor de fibra óptica y colocar la protección del empalme tienen lugar en forma simultánea para todos los conductores de fibra óptica; el tiempo necesario para empalmar un grupo con 10 conductores de fibra óptica se reduce a aproximadamente una cuarta parte de valores habituales para equipos de empalme simple.

## **II.10 CONECTOR OPTICO**

El conector óptico es un dispositivo pasivo que sirve para interconexionar fibras y conversores electro-ópticos (LED, LASER, PIN, APD). La conexión no es permanente, es decir, es fácilmente separable y ensamblable. Una de las propiedades

más importantes en conectores es su pérdida de inserción, la cuál depende del tipo de conector y de su aplicación a fibras multimodo o monomodo.

Cuando se operan enlaces largos la longitud de onda empleada es  $1.3\ \mu\text{m}$  o  $1.55\ \mu\text{m}$ . En estas regiones la atenuación en la fibra monomodo es cercana a  $0.4\ \text{dB/Km}$  y  $0.2\ \text{dB/Km}$  respectivamente. En un enlace con fibra se pueden usar 2, 4 o más conectores ópticos, si la pérdida por inserción de conector es cercana a  $1\ \text{dB}$ , fácilmente se obtiene una pérdida acumulativa de  $3\ \text{dB}$ , con lo cuál se pierde la mitad de la potencia y por lo tanto se reduce considerablemente la longitud del enlace.

De esta forma el conector óptico juega un papel importante en los sistemas de comunicación por fibra óptica, por lo que su selección y empleo han de ser cuidadosas.

## **II.11 PERDIDAS EN EL CONECTOR OPTICO**

La función del conector es acoplar o transferir con un mínimo de pérdida, la potencia óptica que sale de un extremo de la fibra a la entrada del extremo de otra fibra. Para que el acoplamiento sea adecuado, el alineamiento de sus núcleos tiene que ser muy exacto y el acabado en la sección transversal de los extremos de la fibra debe ser de alta calidad. La pérdida en el conector es de dos tipos:

1. Pérdidas intrínsecas, se deben a la fibra en sí.
2. Pérdidas extrínsecas, se producen por el desalineamiento entre los núcleos de las fibras y por defectos en el acabado de los extremos de las fibras. Las pérdidas extrínsecas se deben al diseño del conector y a la calidad al armar el conector sobre la fibra.

## II.12 CONEXIONES POR CONECTORES

Las conexiones por conectores en líneas de transmisión óptica se emplean para separar fácilmente 2 conductores de fibra óptica y acoplarlos, cuando fuese necesario, con una poca atenuación. En función del diámetro del núcleo del conductor de fibra óptica empleado y la atenuación de inserción requerida para la conexión, los conectores deben ajustarse a diversos requerimientos en cuanto a sus tolerancias mecánicas.

En lo referente a su funcionamiento pueden dividirse en dos grupos; el primero se basa en el principio del acoplamiento con lentes (Fig. II.12.1) y el segundo, en el principio de acoplamiento frontal (Fig. II.12.2).

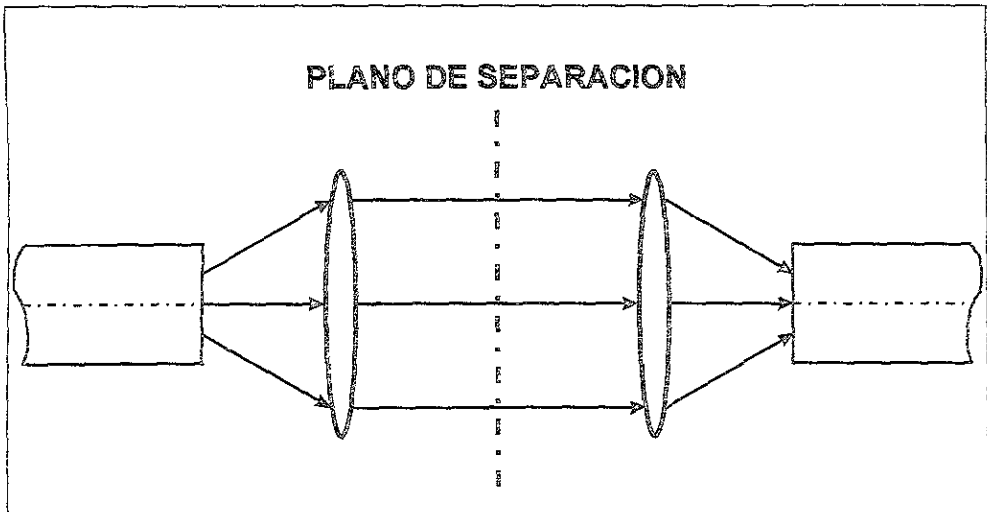


Fig. II.12.1 Principio de acoplamiento por lentes

### II.12.1 ACOPLAMIENTO CON LENTES

Para el acoplamiento con lentes se emplean lentes u otros sistemas ópticos formadores de imágenes, los cuales transforman la luz que sale del conductor de fibra óptica emisor en un rayo de luz casi paralelo de gran diámetro y lo vuelven a concentrar posteriormente sobre la cara frontal receptora del conductor de fibra óptica. La ventaja de esta clase de acoplamiento consiste en que la zona de conexión (representada en la Fig. II.12.1 por «Plano de separación») se admiten, en parte, mayores tolerancias respecto de las distancias.

Sin embargo, para tener esta ventaja es necesario aceptar pérdidas adicionales de los sistemas formadores de imágenes debido a reflexiones en las diversas capas límite de diferentes índices de refracción y reducida tolerancia del ángulo entre el eje longitudinal de ambas fibras. Por eso, con excepción de algunos usos específicos como por ejemplo el acoplamiento de diodos semiconductores a conductores de fibra óptica, en la práctica se usan conexiones por conectores de acuerdo al principio del acoplamiento frontal.

### II.12.2 ACOPLAMIENTO FRONTAL

Lo característico para el acoplamiento frontal (Fig. II.12.2) es que las caras de emisión y recepción de luz se enfrentan una respecto de la otra a corta distancia y de forma paralela, independientemente de si se trata del conductor de fibra óptica o diodo. Únicamente este principio permite lograr conectores de muy baja atenuación para la gama de 850 nm, 1300 nm y 1500 nm

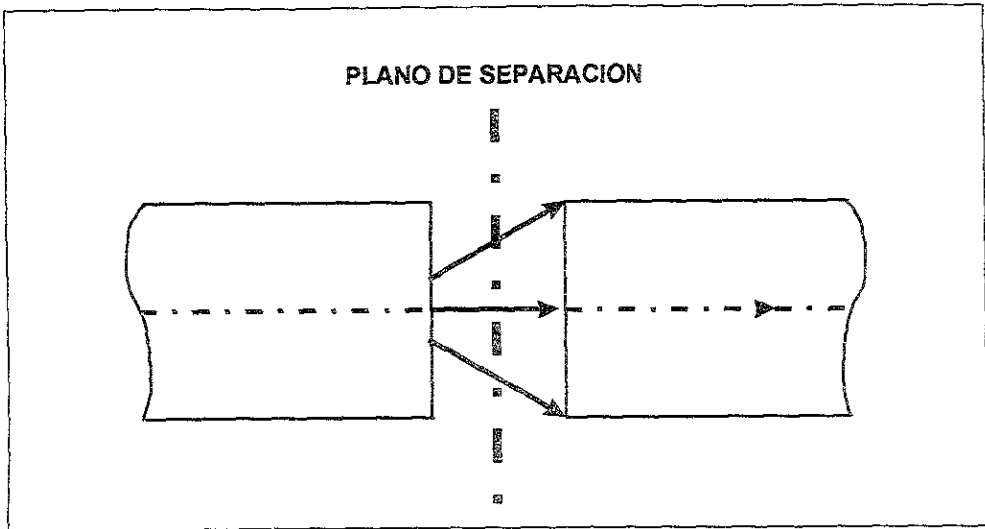


Fig. II.12.2 Principio de acoplamiento frontal.

Por eso las siguientes explicaciones se refieren únicamente a conectores según el principio de acoplamiento.

Para evaluar la calidad de transmisión de un conector, se considera su *atenuación de inserción*, es decir se determina en cuánto aumenta la atenuación de una línea de transmisión óptica si se intercala en ella un conector (adicional).

La atenuación de inserción resulta de las tolerancias de los elementos del conector y del conductor de fibra óptica. De manera general, el corrimiento del conductor de fibra óptica (Fig. II.12.3), el ángulo entre los ejes de ambas fibras (Fig. II.12.4) y la distancia entre ambas caras frontales de los conductores de fibra óptica (Fig. II.12.5) deben quedar reducidos a valores mínimos. Es necesario limpiar prolijamente las caras frontales sin rayarlas, y luego secarlas.

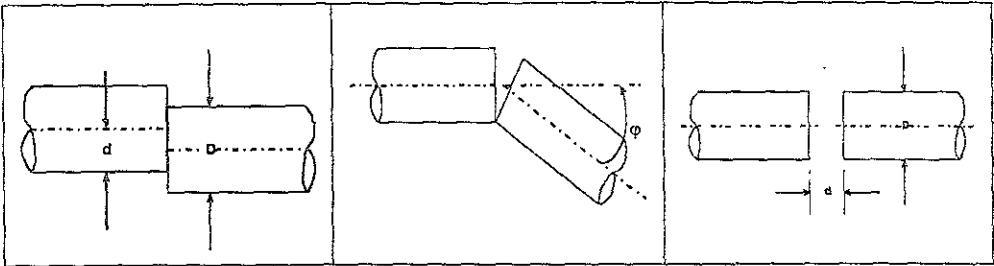


Fig. II.12.3 Corrimiento de conductores de fibra óptica.

Fig. II.12.4 Angulo entre el eje longitudinal de ambas fibras ópticas.

Fig. II.12.5 Distancia entre caras frontales de conductores de fibra óptica.

Debe tenerse en cuenta, de manera general, que por efecto de reflexiones en las superficies límite entre vidrio y aire se producen no sólo pérdidas («pérdidas tipo Fresnel») sino también variaciones en la atenuación debido a interferencias. Por medio de un tratamiento antireflexión óptico y/o de líquido que consiste en sumergir los extremos, es posible reducirlas.

Las tolerancias de las aperturas numéricas AN así como el diámetro de núcleos son parámetros específicos que influyen en el conductor de fibra -en este caso del multimodo- siempre cuando el valor de AN o el diámetro del núcleo del conductor de fibra óptica transmisor son más grandes que el valor de AN y el diámetro del núcleo del conductor de fibra óptica receptor. El pasar de un núcleo fino a otro más grueso no constituye un aspecto crítico en conductores de fibra óptica multimodo.

Para sujetar en el conector cables con elementos de tracción de plástico o alambre de acero (para usos especiales) se puede establecer una buena conexión mecánica por «crimpeado» (ver glosario de términos). Según el diámetro del conductor de fibra óptica también para compensar tolerancias de diámetros se cuenta con un surtido de conectores hembra con agujeros de diferentes tolerancias (escalonamiento de los diámetros de los agujeros a razón de 3  $\mu\text{m}$ ).

Existen formatos especiales de conectores para otros usos, así por ejemplo para la conexión a transmisores optoeléctricos o para la técnica de los sistemas intercambiables del tipo 7R como conectores en regletas.

La atenuación de inserción es de aproximadamente 1 dB.

En conectores monomodo también se procura alcanzar para una conexión el valor máximo de 1 dB, lo cual naturalmente requiere tolerancias considerablemente más estrechas.

Para el montaje en obra o sitio, es decir, cuando no es posible preparar los conectores en fábrica, se encuentran disponibles maletas de montaje, con las cuales es posible montar en forma rápida y sencilla cualquier conector. En estos casos, la atenuación de inserción es por lo general algo mayor que en el caso de conectores montados en fábrica.



## **CAPÍTULO III. INSTALACION DE FIBRA OPTICA**

### **III.1 CONSIDERACIONES PARA LA INSTALACION**

En este capítulo se describen las características para la instalación y mediciones finales en enlaces realizados con cable óptica. La fibra de índice gradual se usa por lo general en enlaces de troncal cortos y baja capacidad, también tiene mucha aplicación en redes locales. La fibra monomodo se emplea en enlaces de troncal largos y de alta capacidad, al igual que en el cable submarino.

El cable óptico de troncal se instala por lo común bajo tierra, pudiendo estar en ductos, túneles o directamente enterrado.

La instalación del cable óptico por un lado es deseable que tenga la mayor longitud posible a fin de evitar empalmes y cierre de empalmes. Por otro lado durante la instalación, la fragilidad de la fibra está expuesta a presiones laterales, tensiones y curvaturas que pueden dañarla. Dado que los efectos anteriores aumentan con la longitud, se ha llegado al resultado que para una eficiente instalación en ductos la longitud usual es cercana a 1 km cuando existen curvas. En esta forma la longitud óptima del cable, permite llegar al método de instalación más adecuado, ver Figura III.1.1

El método de instalación debe permitir 3 características importantes:

- Tensión en el cable abajo del límite permitido. La inmersión o guiado del cable debe evitar los factores adversos como curvas excesivas, bordes filosos que desgarran el cable, etc.
- Bajos niveles de fricción durante el jalado.
- Monitoreo y control de la tensión en el cable.

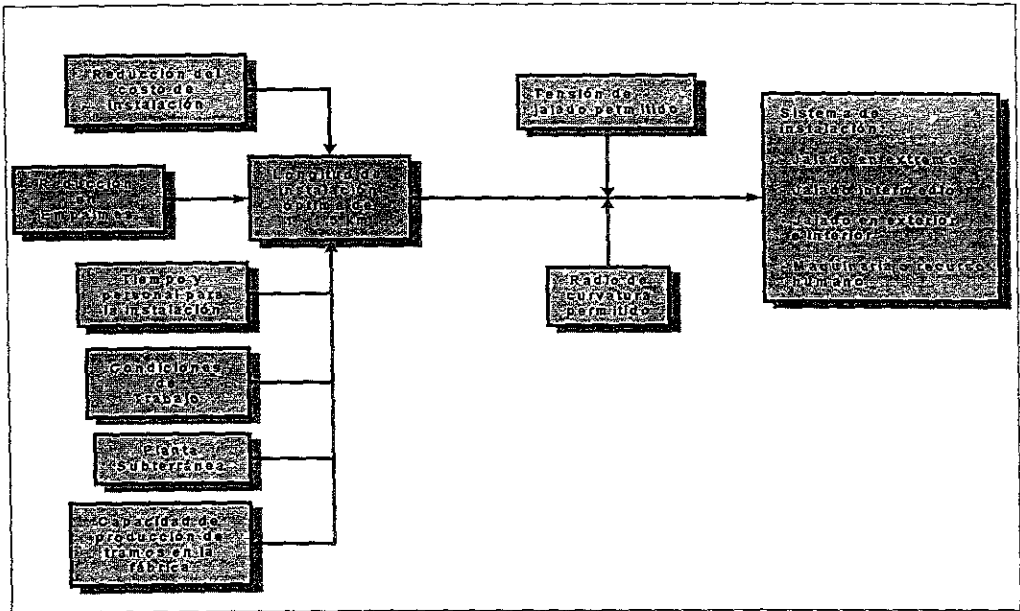


Fig. III.1.1 Características de instalación de la fibra óptica.

Las características mencionadas varían de acuerdo a la fibra y cable usado, por lo que habrá de poner atención a las especificaciones del fabricante para cada tipo. Como ejemplo en las tablas III.1 y III.2 se muestran los valores de radio de curvatura mínimo y tensión máxima permitidos.

**Método de Instalación.** Cuando el cable de fibra óptica se encuentra embobinado existen dos métodos para su instalación ó tendido:

1. Uno de los extremos del cable se fija y el carrete se rota moviéndolo en la dirección que se quiere tender el cable. Este método no es aplicable en ductos y túneles, pero si se usa en instalación de cable directamente enterrado a orilla de carreteras.

2. El carrete se fija en uno de los extremos y se jala el cable hacia la dirección que se quiere tender, para esto el carrete se monta en gatos, patines, tubos, etc., que permiten girarlo y desenrollar el cable. El tendido en ductos se hace por lo general usando este método, el cual se puede realizar por medio de la técnica mostrada en la figura III.1.2. Para disminuir la tensión en el cable por el jalado, se colocan en los pozos intermedios una o más máquinas de jalado intermedio. El cable inicialmente es jalado por esta máquina y posteriormente por el vehículo. Para el tendido en túnel la tensión en el jalado puede ser hasta 150kg y en los ductos de 100kg.

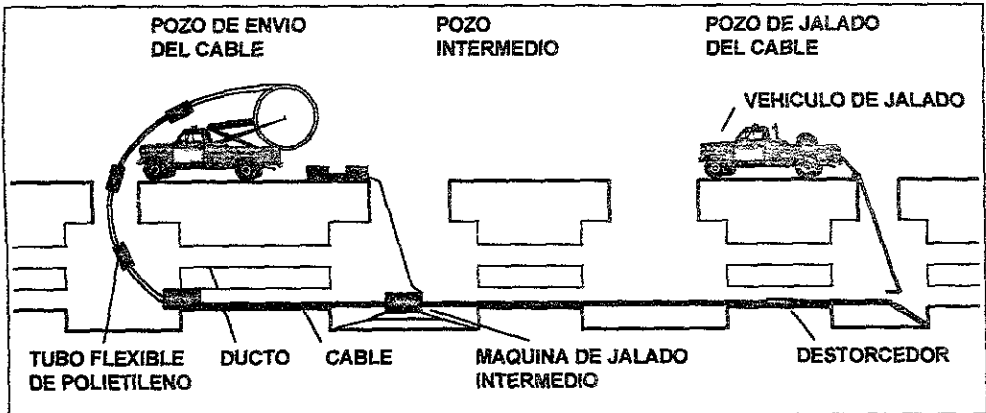


Fig. III.1.2 Instalación del cable óptico en ductos.

Cuando no se tienen los elementos mecánicos mencionados para el tendido del cable, se pueden sustituir con el recurso humano. Se distribuyen en los pozos terminales 2 ó 3 hombres y uno en cada pozo intermedio, el jalado a través de curvas debe ser muy cuidadoso, por lo que se recomienda que lo hagan 2 hombres.

Tabla III.1 Radio mínimo de curvatura para cable óptico en (cm).

TIPO DE CABLE		TENSION DE JALADO	DURANTE LA INSTALACION	YA INSTALADA
CABLE SM		ABAJO DE 200Kg F	MAS DE 25	MAS DE 20
CABLE TIPO UNITARIO GI		MAS DE 200Kg F ABAJO DE 700Kg F	MAS DE 60 MAS DE 25	
CABLE LAMINADO GI			MAS DE 20	MAS DE 20
MONOMODO			INDICE GRADUAL	

Tabla III.2 Tensión mínima permitida en cable óptico en Kg.

TIPO DE CABLE	TIPO DE LINEA DE TRANSMISION	DUCTO	TUNEL (CUANDO COEXISTEN DUCTOS Y TUNELES)	AEREO
CABLE MONOMODO CON PROTECCION		200	150	100
CABLE TIPO UNITARIO GI	2 - 18 NUCLEOS	400	150	100
	20 - 24 NUCLEOS	500	150	100
CABLE LAMINADO INDICE GRADUAL		200	150	100
CABLE MONOMODO TIPO IF		115	115	100
MONOMODO		INDICE	GRADUAL	

## III.2 INSTALACION DEL CABLE OPTICO EN DUCTOS

La instalación se puede dividir en las etapas siguientes:

1. Planificación.
2. Limpieza e introducción de la guía.
3. Inmersión del flexoducto.
4. Instalación del cable.

### III.2.1 PLANIFICACION

El objetivo principal de la planificación desde el punto de vista mecánico consiste en diseñar la configuración de los cables de fibra óptica de tal manera que éstos se encuentren protegidos de las influencias ambientales de la mejor manera posible. Para lograrlo es necesario obtener información lo más detallada posible para saber si las configuraciones de los cables deben ser de tipo estándar o diseñadas especialmente para un fin determinado.

Para establecer una diferencia en cuanto a los usos previstos se divide a los sistemas de los cables en *exteriores*, *interiores* y *especiales*.

Resulta necesario verificar algunos parámetros, referidos especialmente a las condiciones del trazado y el tipo de tendido, a saber:

### III.2.2 EL DISEÑO

De los planos de situación y de la altura se desprenden las subidas y las

pendientes así como los cruces a nivel y bajo nivel de ríos y calles, asimismo el número de curvas críticas (con indicación de ángulos).

### **III.2.3 CARACTERISTICAS DEL TERRENO**

Se debe verificar si se trata por ejemplo de zona llana, montañosa, boscosa, pantanosa, de aguas, etc.

### **III.2.4 TIPO DE SUELO**

Hay que aclarar si el suelo es de humus, arcilloso o arenoso o si contiene impurezas químicas, etc.

### **III.2.5 TIPO DE TENDIDO**

Se debe diferenciar entre:

cables enterrados o colocados en surcos practicados en la tierra teniendo en cuenta la temperatura del suelo a la profundidad del tendido y la introducción en conductos tubulares teniendo en cuenta las longitudes de los cables y el máximo de esfuerzo de tracción aplicable empleando amarras al cable o mangas de tracción.

En comparación con los conductores metálicos no se requieren para los cables de fibra óptica, por su bajo peso y su alta flexibilidad así como su diámetro relativamente reducido, emplear técnicas especiales de tendido

En ninguno de los tipos de tendido se pueden utilizar radios de curvatura menores que los valores mínimos indicados en las hojas de características de los cables. Es necesario ponderar los parámetros señalados precedentemente para decidir cuáles de los tipos de tendido son los más adecuados para cada caso.

Finalmente, la configuración de los cables se debe diseñar de tal manera que, cuando se han elegido y dimensionado correctamente sus elementos constitutivos, las influencias mecánicas, técnicas y químicas no deben provocar modificaciones permanentes de las características de transmisión. En principio, en todos los casos se debería procurar utilizar los tramos de cable con los máximos largos posibles a fin de limitar al mínimo las atenuaciones adicionales producidas por los empalmes entre tramos. Actualmente ya es común tender tramos de 2000 m de longitud.

En muchísimos casos, en los cuales se puede asegurar que es totalmente imposible superar la fuerza máxima de tracción, los cables de fibra óptica en razón de su reducido peso pueden ser tendidos *en forma manual*. Sin embargo, en estos casos se debe documentar la fuerza de tracción durante el tendido.

Para evaluar la fuerza de tracción a que estarán expuestos los cables durante el tendido se puede partir de la base de que cuando los trazados son rectilíneos y horizontales, dicha fuerza aumenta de forma lineal con la longitud del cable tendido. Es necesario tener en cuenta que en las curvas y los codos la fuerza de tracción aumenta en forma exponencial por efecto de los ángulos de los codos y la fricción en éstos

Otra posibilidad de tender cables de fibra óptica consiste en introducirlos con presión en un tubo empleando aire comprimido. Esta forma de tendido es posible con longitudes de hasta aproximadamente 1000 m cuando el terreno es apropiado y existe una relación óptima entre el diámetro del tubo protector y el cable de fibra óptica.

Para el tendido de cables de fibra óptica en tramos muy extensos (por ejemplo mayor que 3 Km. en una dirección) se pueden emplear en el trayecto uno o más «dispositivos de extracción intermedios con accionamiento propio».

Para aprovechar mejor los conductos tubulares ya existentes es posible introducir en los mismos hasta 4 tubos plásticos. Este tipo de división de un conducto tubular permite el tendido de varios cables independientes unos de otros.

En casos excepcionales también es posible introducir, en forma sucesiva, cables con reducido diámetro exterior en conductos tubulares no subdivididos. En estos casos, considerando la posibilidad del atascamiento o pinzamiento de los cables tendidos en la forma señalada, la diferencia máxima del diámetro exterior de éstos no debería ser mayor que 5 mm.

En los sistemas de cables interiores debe tenerse en cuenta, además, factores tales como inflamabilidad, ausencia de halógenos, etc. Las sollicitaciones mecánicas por lo general son insignificantes.

En los casos de sistemas de cables especiales, por ejemplo, cables aéreos autoportados, cables para instalaciones mineras, cables submarinos, etc., además de los aspectos señalados precedentemente es necesario tener en cuenta criterios específicos.

El empleo de cables de fibra óptica brinda grandes ventajas para las empresas de abastecimiento de energía, de acuerdo a los siguientes tres conceptos:

- Tendido de cables de fibra óptica enterrados y en conductos tubulares de acuerdo a los métodos descritos precedentemente.
- El principio de los cables aéreos autoportados, conocido de la técnica de cables de cobre. En este caso existe la posibilidad de usar configuraciones de cables totalmente dieléctricos lo mismo que aquellos con armaduras de alambre de aluminio de una o varias capas, de acero, (cable de aluminio con alma de acero) en una



combinación de todos ellos. Existen asimismo configuraciones de cables de fibra óptica apropiadas para conductores de tierra aéreos. Las distancias entre soportes de los cables, aún aquellas con largos mayores a 500 m, no constituyen problemas para ninguna de estas variantes, siempre que los cables hayan sido dimensionados en forma correspondiente y en función de las condiciones ambientales. La técnica y los equipos de tendido son los usuales para las construcciones de cables aéreos.

- La fijación de cables de fibras ópticas livianos, sin componentes metálicos, mediante abrazaderas a cables conductores de tensión de fase (siempre que sea conductor individual) en la gama de tensiones medias de hasta 20 kV, o cables a tierra en la gama de las altas tensiones de 110, 220 o 380 km. Existe una máquina para fijar abrazaderas, que «vincula» el cable de fibras ópticas al cable de tensión de fase o de tierra. La máquina «corre» sobre el cable tirado en forma manual o por un torno. A medida que avanza, las fuerzas de fricción accionan un mecanismo de trabajo, el cual toma abrazaderas prefabricadas de un cargador que forma parte de la máquina y las coloca en distancias de aproximadamente 0.5 m de los lugares de unión (cable/cable soporte) y las cierra firmemente con un dobléz. Sin embargo, para usar esta solución es necesario conocer las tolerancias de los diámetros del conductor de fase y de tierra así como del de fibras ópticas. En trayectos con conductores de fases, por razones de protección contra contactos accidentales, se conecta la cubierta del cable de fibras ópticas al final del trayecto y en los puntos de empalme con el mástil en forma conductiva, teniendo en cuenta las distancias correspondientes.

La instalación en ductos se realiza usando la infraestructura de ductos telefónicos, siguiendo un procedimiento como el de la figura anterior III.1.2.

### III.2.6 PLANIFICACION DE RUTA

#### III.2.6.1 COLECCION DE DATOS

Para la selección de la ruta es necesario recopilar información, pudiendo citar:

1. Orden de trabajo, para precisar puntos a enlazar.
2. Reuniones técnicas con personal que se requiera.
3. Planos de:
  - a) Ductos.
  - b) Cable por instalar (sección transversal y características).
  - c) Pozos de trabajo, pozos de visita.
  - d) Entradas a las centrales telefónicas.
  - e) Estructuras dentro de centrales para instalar cable (por ejemplo escalerilla metálica, cama metálica).
  - f) Configuración del bastidor del equipo óptico (para la llegada del cable óptico).
4. Verificar que los ductos estén libres de obstrucciones.
5. Localización de obstrucciones al trazado de la ruta como: ríos, edificios subterráneos, subway, carreteras.
6. Localización de zonas peligrosas cercanas por efectos de sustancias corrosivas, de inducción eléctrica y daños por descarga de rayos, etc.

### III.2.6.2 SELECCIÓN DE RUTA PROBABLE

La selección de la ruta probable se hace en base al análisis de diferentes factores por ejemplo:

1. Planificación a futuro de las zonas de alcantarillado, luz, subways, cruce de ríos, cruce de carreteras, etc.
2. Desastre por temblores, inundaciones, destrucción de cable por roedores, etc.
3. Congestionamiento de ductos y uso efectivo de los mismos.
4. Instalación de repetidores en oficinas ya existentes.

### III.2.6.3 DISEÑO DEL TRAMO DE REPETICION

El tramo de repetición máximo que es posible tener, lo determinan las características del equipo electrónico terminal y el cable óptico usado. En la práctica los tramos de repetición, se tratan de ajustar a las facilidades que se obtienen en las centrales telefónicas existentes, y que son puntos naturales para la repetición de la señal óptica. En las tablas III.2.6.3.1 y III.2.6.3.2 se muestran las características de pérdida permisible y tramo de repetición para equipos operando a 6, 32, 100, 400 Mbps.

Tabla III.2.6.3.1 Espaciamento entre repetidores

SISTEMA	F-400 M	F-100 M	F-32 M	F-6 M	OBSERVACIONES
MONOMODO	40 Km.	40 Km.	40 Km.	52 Km.	ESPACIAMIENTO ENTRE REPETIDORES STANDAR
INDICE GRADUAL 500MHZ	—	10 Km.	20 Km.	—	ESPACIAMIENTO LIMITADO POR ANCHO DE BANDA

Tabla III.2.6.3.2 Pérdidas permitidas en cable óptico monomodo

SISTEMA ITEM	F-400 M	F-100 M	F - 32 M	F - 6 M
ATENUACION DEL CABLE dB/Km.	0.5	0.5	0.5	0.5
PERDIDAS PERMISIBLES EN EL CABLE (dB)	19.9	26.1	24.7	29.4

### III.2.6.4 DECISION DE LA RUTA Y TRAMO DE REPETICION

La decisión final se apoya en los puntos anteriores y siguiendo el diagrama de la figura anterior III.1.1. Además es importante mantener en mente los siguientes puntos:

1. Horas de trabajo, prever que no se debe dejar tramos incompletos al final de la jornada diaria.
2. Restricciones sociales, considerar limitaciones por pasos peatonales congestionados, tráfico vehicular, obras de construcción, etc.
3. Localización de empalmes de línea y terminales.
4. Aspecto económico, analizar la relación costo/beneficio.

### III.2.6.5 LIMPIEZA E INTRODUCCION DE LA GUIA

Los sistemas de cable en ductos consisten en conectar los pozos de registro por medio de rutas de ductos de concreto o tuberías para cables, las que son normalmente

de PVC. Los pozos de registro son para jalar los cables a través de ellos y efectuar las uniones o empalmes de los mismos. La distancia entre los pozos varía de 50 a 200 m.

Antes de iniciar la instalación del cable en ductos se debe:

Revisar los planos de la ruta y comprobar que corresponda físicamente a la zona, y que las distancias sean correctas.

Verificar que los pozos estén en condiciones para trabajar.

Comprobar que el cable corresponda al que será instalado (número de fibras, longitud del cable y número de carrete).

Para verificar que la ruta del tendido del cable óptico está en condiciones adecuadas, se recorre la ruta observando los pozos así como la ruta. En los pozos verificar que en los extremos de los ductos de concreto estén libres de obstáculos, que dentro del pozo el cable óptico puede seguir una trayectoria sin curvas excesivas, y que el pozo sobre todo a la altura de los ductos esté libre de agua. La ruta a través de los ductos debe estar sin obstrucciones, esto puede ser provocado por el paso de vehículos pesados, temblores y obras civiles cercanas.

Si la vía del ducto está limpia, se realiza el guiado, introduciendo una guía metálica (alambre acerado) o una guía dieléctrica (conocida como cobra). En la parte terminal de la guía se une los subductos de PVC a PE para su inmersión en el ducto de concreto.

Cuando la vía tiene una obstrucción ligera, se puede limpiar con herramientas como la cuchara o el mandril. En algunas ocasiones la vía está totalmente destruida y será necesaria su reconstrucción.

### III.2.6.6 INMERSION DEL FLEXODUCTO E INSTALACION DE SUBDUCTOS

En caso de que el cable óptico sea instalado en ductos telefónicos convencionales de 4" de diámetro, es conveniente subdividir el ducto mediante tubos de diámetro menor elaborados con PE o PVC para aprovechar mejor el espacio del ducto y darle una mayor protección del cable óptico.

La colocación de subductos o flexoductos puede hacerse en forma manual o con auxilio de un malacate motorizado, dependiendo de la distancia entre registros. El conjunto de subductos es instalado en el interior del ducto telefónico en una sola operación, para lo cual hay que preparar los subductos:

1. Se acomodan las puntas de los subductos, tal como se muestra en la figura III.2.6.6.a.
2. Se enrolla una cinta aislante de PVC alrededor de los subductos, al menos una distancia de 300mm., identificando cada subducto para que queden colocados en posición correcta.
3. Se coloca un calcetín de hilos de alambre sobre los extremos de los subductos ya encintados, y se sujeta el extremo del calcetín con alambre y cinta aislante de PVC. Ver figura III.2.6.6.b.

Para realizar la inmersión de los subductos, se coloca una guía de acero dentro del ducto telefónico a subdividir, acoplado el "calcetín de alambre de ésta", ver figura III.2.6.6.1. Se colocan dos personas en el desembobinador de subductos, una persona en cada pozo intermedio y dos personas al final de la ruta. Después se jala los subductos, verificando que estos no fuerzan durante el jalado, para que no queden helicoidalmente dentro de la vía y, evitar que se doble el subducto dentro de la misma, ya que quedaría obstruida la subvía.

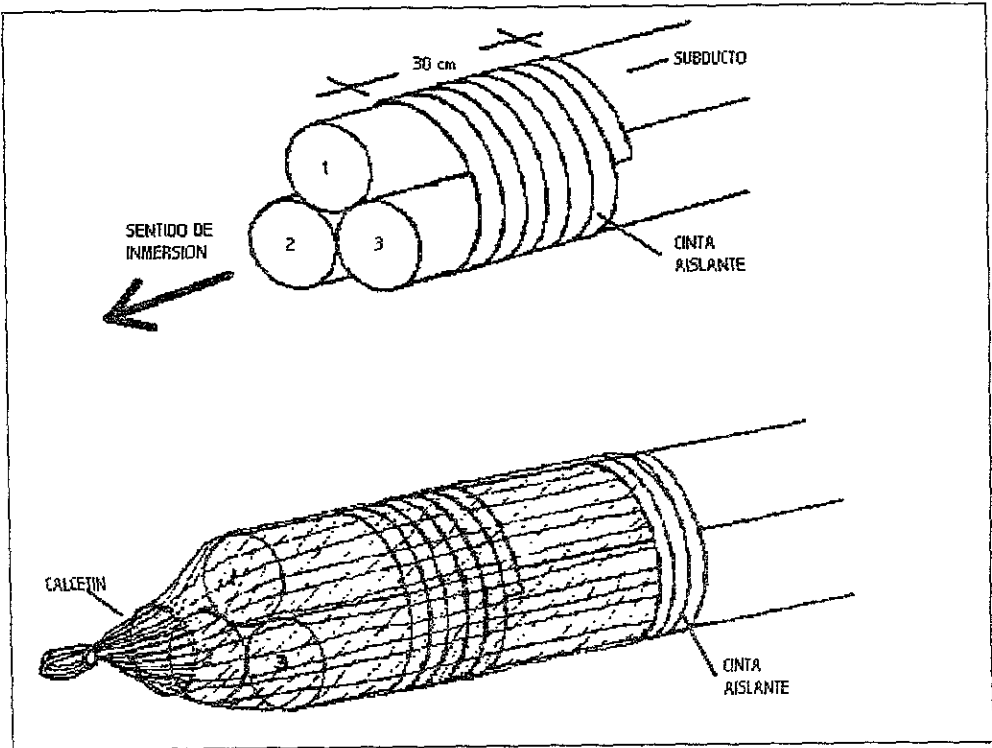


Fig. III.2.6 6 (a y b). Encintado y uso del calcetín en flexoducto.

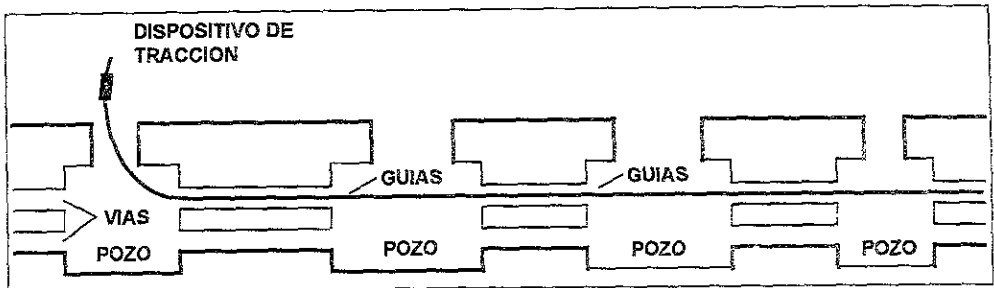


Fig. III.2.6.6.1 Inmersión de guía de acero en ductos.

Ya concluida la inmersión de los subductos, se coloca una tapa trifurcadora o divisora de vías, para asegurar los subductos (apretando las tuercas que tienen dicha tapa). Ver figura III.2.6.6.2.

Posteriormente, se colocan unas guías en los subductos (rafia, alambre de acero, etc.), si es que no traen, ya que normalmente vienen guiados; y se colocan tapones de neopreno en los subductos que no sean usados.

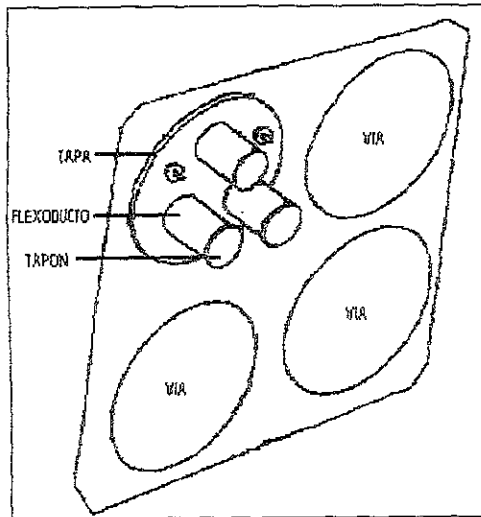


Fig. III.2.6.6.2 Trifurcación de vías.

La diferencia principal entre las Fibras Ópticas y los conductores de cobre, es la limitada fuerza mecánica, ya que la fuerza de tensión de las fibras ópticas es baja. El diseño de los cables de Fibra Óptica toma esto en consideración; sin embargo, si las fuerzas son aplicadas más allá de lo permitido por las especificaciones, la Fibra puede resultar dañada. En otras palabras, durante la instalación la fuerza de tensión del cable debe ser controlada, por lo tanto el cable no debe estar bajo ningún esfuerzo cuando



esté listo para usarse. Los cables ópticos no deben doblarse con radios menores de lo especificado (25 a 30 cm.). Si esto pasara, originarían una atenuación adicional, debido a los efectos de los microdobles que pueden ocurrir, en el peor de los casos a la ruptura de la Fibra Optica.

Si un cable óptico es colocado en el mismo ducto que un cable eléctrico pesado, éstos no deben cruzar o estar sobre el cable óptico, ya que podrían causar daño por compresión local.

### III.2.6.7 INMERSION DEL CABLE OPTICO EN SUBDUCTOS

En la instalación del cable de Fibras Opticas, es común utilizar fuerza manual de los operarios para jalar el cable. La inmersión del cable puede ser en dos direcciones, esto depende de la longitud del cable. En distancias cortas (menores de 1000m.), el carrete se coloca en el pozo inicial o donde haya quedado la punta de la última inmersión, y se instala el cable en un solo sentido. Ver figura III.2.6.7.1

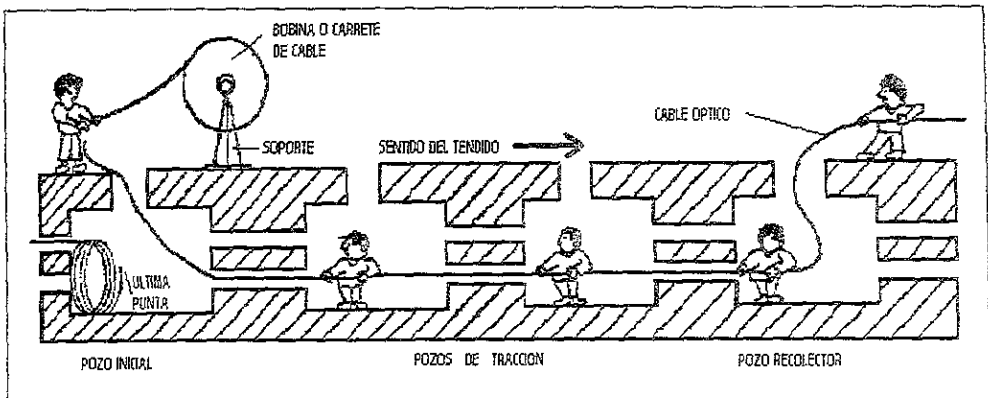


Fig. III.2.6.7.1 Inmersión del cable óptico en distancias < 1 Km.

Para distancias mayores de 1000m., se selecciona un punto intermedio a la longitud del cable, considerando una zona amplia para el desembobinado correcto del cable. Ya colocada la bobina en el pozo intermedio, se introduce una cobra o guía de alambre acerado, en la dirección que lleva la ruta, ver figura III.2.6.7.2. El cable óptico se une a la guía y se realiza la inmersión o jalado del cable. El carrete debe estar colocado en la misma dirección del tendido del cable, es decir, por encima de la ruta. Esto es para que el cable desarrolle una curva en el sentido del tendido del mismo y se evite dañar el cable.

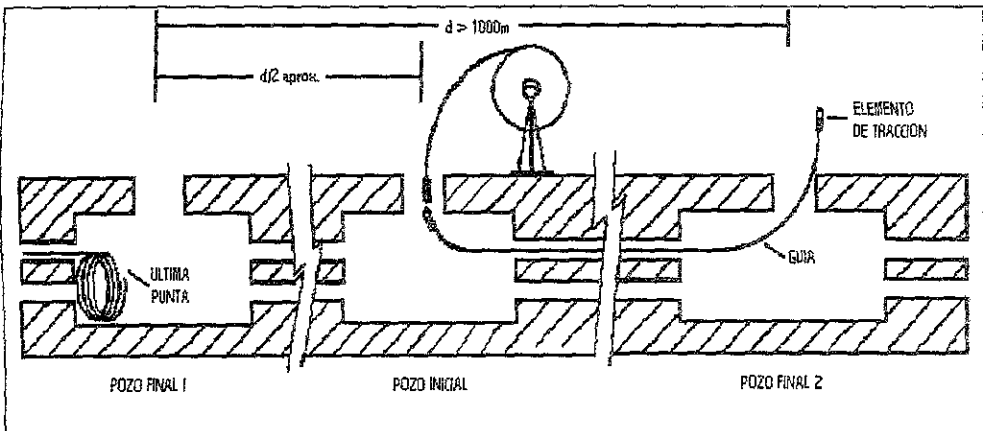


Fig. III 2.6.7.2 Inmersión de cable óptico en distancias > 1 Km.

Al terminar la inmersión de la primera mitad del cable, se procede a desembobinar la segunda mitad del cable formando "ochos" en un espacio de 15 a 25m<sup>2</sup> que se ha previsto anteriormente. Esto permite que la punta de la segunda mitad que se encuentra al final del carrete (abajo de todas las vueltas), quede arriba, para realizar la inmersión en sentido de la segunda mitad del cable óptico, ver figura III.2.6.7.3.

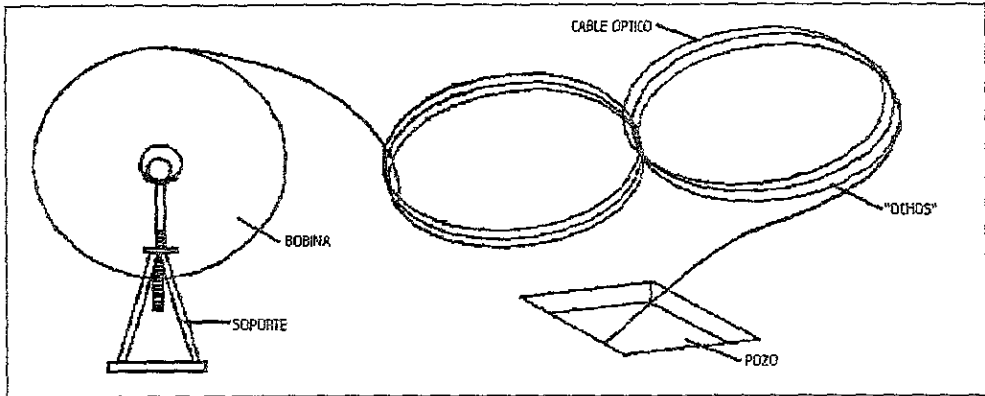


Fig III.2.6.7.3 Formación de ochos en el cable óptico.

Una vez colocada la bobina y la guía, se prepara el extremo del cable para soportar la tensión del jalado. Para ello se utilizan dos métodos, dependiendo del tipo de terminado que tenga el cable. Cuando el cable termina con un dispositivo de tracción, sólo se necesita unirlo a un destorcedor-fusible y éste a la guía, si el cable es jalado a través del subducto, ver figura III.2.6.7.4. También se puede unir con alambre acerado o galvanizado, si el cable es jalado entre pozo y pozo. Este último es más lento, debido a que se tiene que unir el cable con el alambre para ser jalado al siguiente pozo.

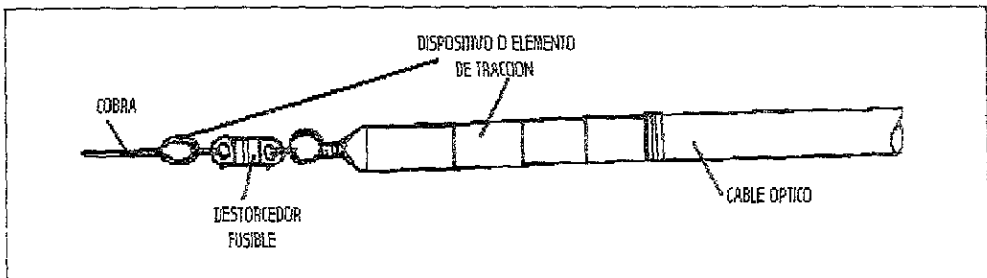


Fig. III.2.6.7.4 Jalado del cable óptico con elemento de tracción.

Cuando el cable carece de dispositivo de tracción, se tendrá que utilizar un "calcetín" de alambre unido al destorcedor-fusible, éste a su vez, va unido a la guía o al alambre para ser jalado, ver figura III.2.6.7.5. La función del destorcedor-fusible, es evitar torsiones indeseables en el cable durante el jalado, además de evitar que existan sobre el cable tensiones mayores a las permitidas.

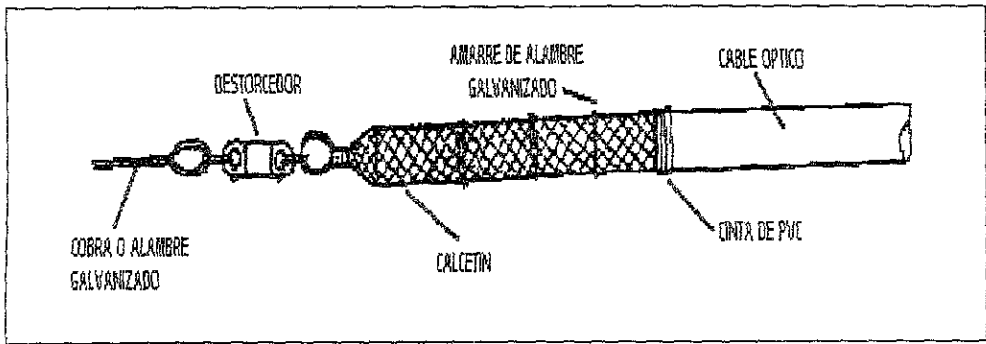


Fig. III.2.6.7.5 Jalado del cable óptico con calcetín.

En la inmersión del cable, se debe coordinar y supervisar a los operarios que jalen el cable, procurando que éstos lo hagan simultáneamente (mínimo un operario por pozo y dos operarios en cambios de dirección).

Al llegar la punta del cable al pozo final o al pozo donde se encuentra la punta de la inmersión anterior, se coordina el jalado de 15 m. de cable para posteriormente poder empalmar. Y después se comienza a jalar cable poco a poco, para dejar cierta holgura en los pozos, y así poder fijar el cable en éstos, por medio de soportes para que el espacio sea usado óptimamente, ver figura III.2.6.7.6

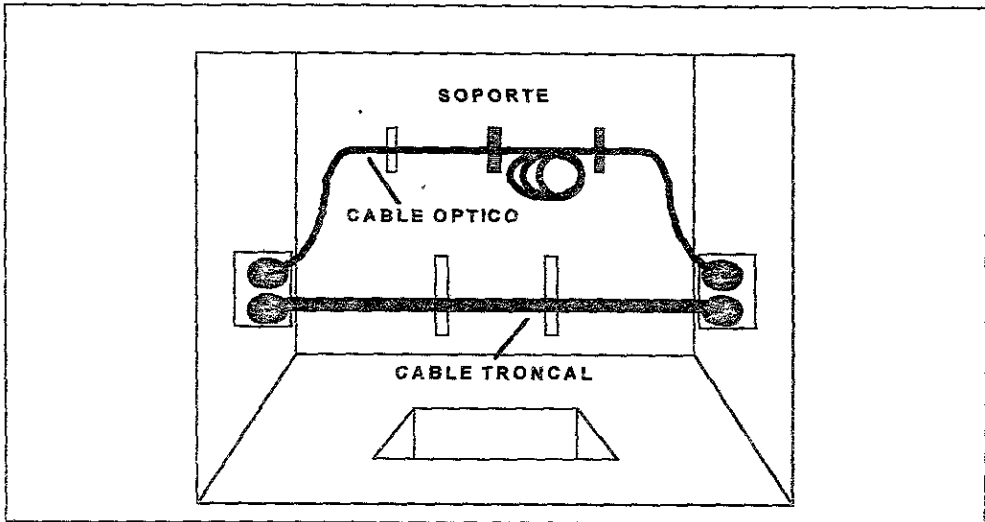


Fig. III.2.6.7.6 Fijación del cable óptico en el pozo.

### III.2.6.8 INSTALACION DEL CABLE OPTICO EN TUBO CONDUIT

Esta instalación tiene similitud con la instalación en subductos, ya que utiliza la fuerza manual de los operarios y la única diferencia es que no hay registros o pozos intermedios.

Primero se tiene que verificar que la instalación del tubo conduit sea correcta, es decir, que sea el diámetro requerido, que la colocación corresponda a la especificada en planos, que existan espacios sin tubo conduit de 1m. en cada cambio de dirección y cada 40m. aproximadamente en línea recta para poder alimentar cable en la instalación; que el tubo conduit esté fijo por medio de abrazaderas, y guiado con alambre acerado, ver figura III.2.6.8

Se coloca y se prepara el carrete para la inmersión del cable. Después se coloca a los operarios (uno en cada espacio libre de 1m.) que jalarán el cable y en el carrete a dos operarios que alimentarán cable. En seguida, se procede a preparar el extremo del cable (mencionado anteriormente) para soportar la tensión del jalado, ver figura III.2.6.7.4 y III.2.6.7.5.

Se inicia la inmersión del cable supervisando y siguiendo la trayectoria del mismo. Al término de ésta, si no fue necesario iniciar otra inmersión en el otro sentido (debido a la longitud del cable), se corta el cable dejando un excedente de 15m., con la finalidad de prepara el cable para empalme en cada extremo. Se encintan las puntas para protegerlo de la humedad.

Posteriormente, se realiza un recorrido para verificar la instalación del cable dentro del tubo conduit. En caso de que existiera holgura de cable en cualquiera de los espacios libres de 1m., éste se tendrá que recorrer a cualquiera de los extremos. Finalmente se colocan un par de "omegas" en cada espacio libre de 1m para proteger al cable, etiquetándolo para identificarlo, ver figura III.2.6.8.

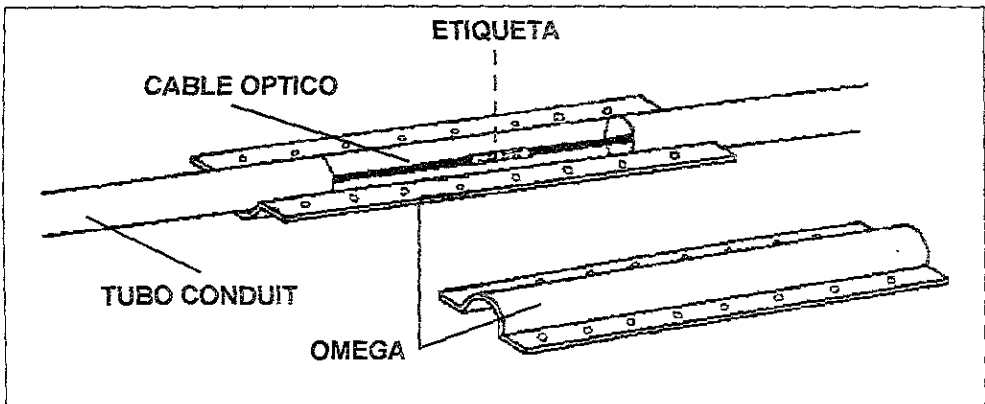


Fig. III.2.6.8 Instalación del cable óptico en tubo conduit y uso de omega como registro.

## CAPITULO IV. MEDICIONES

Para asegurarnos de que el enlace está dentro de las normas marcadas existen diversos métodos de medición, los cuales se deben aplicar en diferentes etapas del proceso de instalación, desde las etapas de fabricación del cable, hasta las últimas mediciones que se realizan una vez concluido el enlace.

Como en toda instalación de este tipo debemos distinguir dos tipos de medidas, cuyos objetivos están bien diferenciados:

a) Medidas de Construcción. Tienen por misión comprobar que los materiales se han recibidos en buen estado y que en cada una de las fases en que se divide la obra, el trabajo sea realizado correctamente, para que en caso negativo, localizar y reparar la avería antes de pasar a la siguiente fase.

b) Medidas finales. Son medidas más exhaustivas que se realizan una vez terminada la instalación, sobre la sección completa bajo prueba, comprobando que está adentro de los límites exigidos.

### CAPITULO IV.1 ETAPA DE MEDICION

Los diversos métodos de medición que se aplican a la fibra óptica parten desde el control del método de fabricación de la misma fibra, en los cuales se miden diversos parámetros como son concetricidad, núcleo/revestimiento, atenuación, ancho de banda, dispersión y varios más.

Otra de las etapas de medición lo constituyen las mediciones durante la fabricación del cable, en los cuales se miden algunos de los parámetros que se obtuvieron en la fabricación de la fibra, esto es con la finalidad de comprobar que al fabricar el cable, estos parámetros no fueron alterados de forma que salgan de las normas.

Ahora bien las mediciones mencionadas anteriormente, forman parte en consecuencia de las etapas de fabricación de la fibra y el cable. En el presente trabajo estamos enfocando nuestra atención a las etapas de instalación y analizaremos pues las mediciones realizadas en estas etapas.

a) Bobina a pie de Obra. Las pruebas a realizar en esta fase tienen por objetivo comprobar que se han recibido los materiales solicitados y que no han sufrido degradación durante el transporte. Para ello se realiza, cada una de las fibras, las pruebas siguientes:

- Detección de defectos.

- Comprobaciones previas.

Estas pruebas consisten en una inspección física del cable y la verificación de la atenuación de las fibras mediante el reflectómetro<sup>(ver glosario)</sup> (este método se detallará más adelante). Son realizadas en el almacén situado a pie de obra, por el personal responsable de la instalación.

Se ha de comprobar el buen estado de la bobinas y no se comienza la instalación si estas tuvieran algún defecto. Además se efectúa un registro de la señal retrodispersada en cada fibra, lo que da el estado de la misma sirviendo de referencia para la fase siguiente.



Los resultados de esta medición se deben comparar con los datos de la hoja técnica que el fabricante debe entregar al momento de suministrar el cable.

b) Bobina tendida. En esta fase se comprueba que durante el tendido, el cable no ha sido sometido a fuertes tensiones que sean causa de la rotura de las fibras u otros defectos y que no existen curvaturas pronunciadas en las mismas atenuación.

Las pruebas a realizar son:

- Detección de defectos.
  
- Atenuación por retrodispersión.

Nuevamente se hace una inspección física del cable y se somete a comprobación mediante el reflectómetro. En la mayoría de las ocasiones esto no se lleva a la práctica por cuestión de tiempo, sin embargo consideramos que este es un punto importante que nos puede evitar trabajo extra, pues al efectuar esta etapa de medición podemos detectar a tiempo fallas en la instalación, que de omitirse nos podrían llevar a trabajos de revisión o corrección de algún problema.

Deben realizarse a cada una de las fibras las mediciones de reflectometría mencionadas. Los registros han de compararse con los efectuados antes de tender la bobina, para detectar los posibles defectos de construcción o las mejoras alcanzadas al perder el cable la situación de enrollamiento de la bobina, esto es detectable sobre todo en cables con fibras multimodo, ya que a este tipo de fibra la curvatura significa mayor atenuación.

c) Empalmes. Debido a la influencia de los parámetros intrínsecos de las fibras,

en el valor de atenuación del empalme, es preciso medir este parámetro durante su realización para comprobar que no se superan los límites establecidos.

La prueba a realizar es:

- Atenuación por retrodispersión.

Esta medida se realiza antes de colocar el tubo termocontractil sobre el empalme, procediendo a repetirlo cuando la atenuación de este supera 0.2 dB. También se ha de repetir esta medida una vez colocados los empalmes y pigtails (conectores finales) en la caja de empalme terminal.

Para obtener los valores de atenuación de los empalmes al momento de la ejecución, se debe establecer un circuito de comunicación entre el empalmador y un técnico que obtiene las mediciones en el extremo del cable o del enlace mediante un OTDR (Reflectómetro Óptico por Dominio en el Tiempo). Dicho circuito de comunicación puede ser improvisado utilizando el núcleo y la armadura de acero del cable o bien a través de radio comunicación o algún otro medio.

d) Medidas finales. Una vez que se han efectuado la totalidad de los empalmes, es preciso realizar las medidas finales entre extremos del cable.

Estas son:

- Detección de defectos.

- Atenuación por retrodispersión.

- Atenuación por pérdidas de inserción.

Estas medidas se efectuarán a cada una de las fibras, en la longitud de onda a que se va a trabajar el sistema.

## **IV.2 DESCRIPCION DE LAS MEDICIONES**

En este apartado se describen brevemente las distintas mediciones que hemos mencionado, para fibra monomodo así como la organización del personal y los medios necesarios para efectuarlas.

## **IV.3 COMPROBACIONES PREVIAS**

Antes de comenzar las mediciones en la bobina a pie de obra se deberá hacer una inspección física de la misma, dicha inspección física consiste en hacer una revisión visual para comprobar su estado externo, verificando los datos en la hoja técnica del fabricante, se observará:

- Número y tipo de fibras.
- Tipo de cubierta.
- Longitud de la bobina (cotejándolo con el marcaje en el cable).
- Características mecánicas del cable (peso y tensión máxima de tiro).
- Características de transmisión (atenuación).

#### IV.4 DETECCIÓN DE DEFECTOS DE LA FIBRA OPTICA

Para realizar esta medición en el almacén de cable o en campo, es necesaria una camioneta acondicionada especialmente para esto, la cual dispondrá en su interior de mesa con anclaje para el aparato y bandeja para elementos auxiliares. Para alimentar el equipo es necesario un generador de 110V, además se precisa de las herramientas para la apertura de los pozos, protecciones y señalización.

También se realiza esta prueba en la sala de transmisión de la central telefónica donde termina el cable. En este caso es preciso disponer de una mesa a la cual se trasladará el equipo desde la camioneta. La alimentación se tomará de la red. Para realizar esta medida de reflectometría son necesarios dos técnicos y un empalmador, el cual efectuará la preparación del extremo del cable y de las fibras.

El aparato empleado para esta medición utiliza la técnica de retrodispersión que proporciona en pantalla (Fig. IV.4) la gráfica de la fibra en la que se observa la continuidad óptica y las atenuaciones (defectos y empalmes) permitiendo la medida de estas y su localización, así como medir la atenuación de la fibra y su longitud.

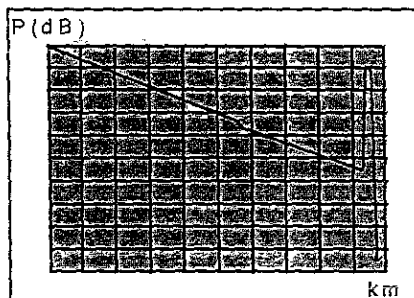


Fig. IV.4 Gráfica a manera descriptiva del OTDR (Pérdida entre dos puntos).

### IV.5 ATENUACIÓN POR RETRODISPERSIÓN

El principio básico del reflectómetro se muestra en la siguiente figura IV.5. Un pulso de luz se inyecta a la fibra bajo prueba mediante un acoplador "Y". El acoplador se utiliza para inyectar el pulso en la fibra, recibir la energía retrodispersada, separarla y dirigirla a un detector fotosensible en el otro extremo del acoplador. La señal retrodispersada se detecta, procesa y se presenta en una pantalla.

El principio teórico del método se fundamenta en el mecanismo de dispersión de Rayleigh <sup>(Ver glosario)</sup>.

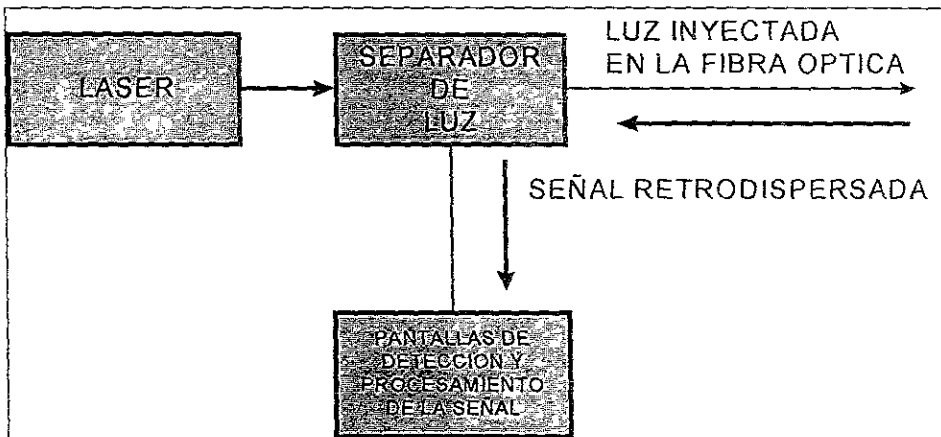


Fig. IV.5 Principio básico del reflectómetro

### IV.6 ATENUACION POR PERDIDAS DE INSERCIÓN

Como medida final ha de realizarse la medida de la atenuación neta del enlace de fibra óptica, para lo que se utiliza la técnica de pérdidas de inserción

Para efectuar esta medida es preciso tener acceso a los dos extremos del cable y que entre ambos exista comunicación, por ser la última medición se contará ya con los pigtaills empalmados en ambos extremos del enlace y se tiene por lo tanto conectores, por lo que el montaje para esta prueba queda como se muestra en la Fig. IV.6.

Inicialmente se tomará una señal como referencia, evaluando la potencia en un tramo de la fibra de un metro aproximadamente con características similares a las de la fibra del enlace. Dicha señal es  $P_i$ . Posteriormente colocamos la fuente de luz en uno de los extremos del enlace y en el otro extremo colocamos el detector y tomamos la siguiente lectura que será  $P_o$ . Finalmente la pérdida total del enlace está dada por

$$P_{tot} = 10 \log (P_o / P_i) \text{ dB}$$

Cuando las lecturas  $P_i$  y  $P_o$  se obtienen en decibeles, la pérdida por inserción se obtiene directamente con la diferencia de tales lecturas.

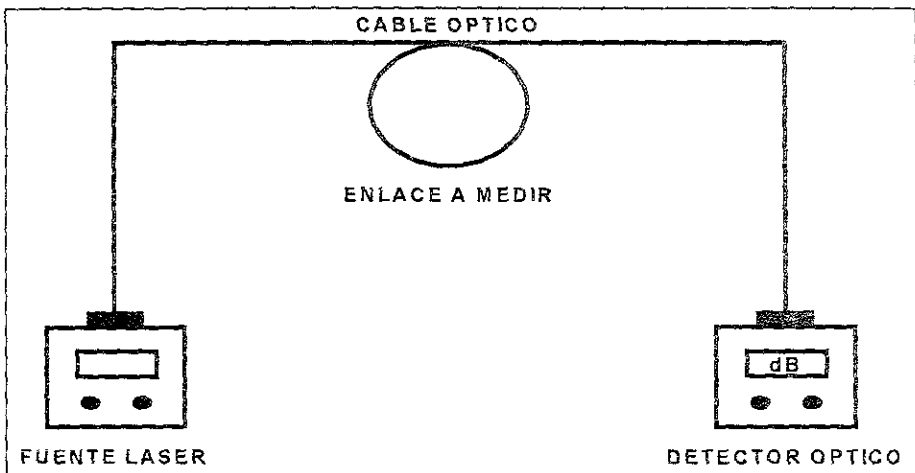


Fig. IV.6 Mediciones de potencia óptica (Par fuente-detector).

## IV.7 LOCALIZACION DE FALLAS

Cuando los enlaces de fibra óptica han sido realizados, en muchas ocasiones ocurren accidentes a alguna fibra durante el tendido del cable, o bien puede ocurrir que por algún agente externo el cable sufra algún daño. Cuando esto sucede es necesario localizar el punto exacto donde ocurrió el daño.

El procedimiento para determinar la distancia donde se encuentra el daño en la fibra es el siguiente:

a) Una vez estando en la central telefónica donde termina el cable del enlace, procedemos a efectuar la medición de todas las fibras del enlace, conectando nuestro OTDR. Al entrar en funcionamiento el equipo, un corto impulso luminoso es enviado a través de la fibra que se está investigando; éste se verá reflejado o dispersado en todo tipo de irregularidades a lo largo de la fibra (impurezas, empalmes y otras), ver Fig. IV.7. El intervalo de tiempo transcurrido desde que es enviado el pulso hasta que la señal reflejada llega nuevamente al emisor, es medido y presentado en el OTDR, con lo cual es determinada la posición del problema analizado.

Tomando en cuenta que se conoce la velocidad de la luz dentro de la fibra, es posible de esta forma obtener con bastante precisión la posición a la cual se ubica la falla o defecto estudiado.

A causa del salto de índice de refracción al principio y al final de la fibra óptica, como consecuencia del paso de la luz del aire hacia el vidrio y del vidrio hacia el aire respectivamente, se produce una gran reflexión del pulso luminoso que se inyecta y viaja en la fibra, ésto produce que la señal mostrada en el OTDR tenga dos grandes picos, uno al principio de la señal y otro al extremo final de la curva.

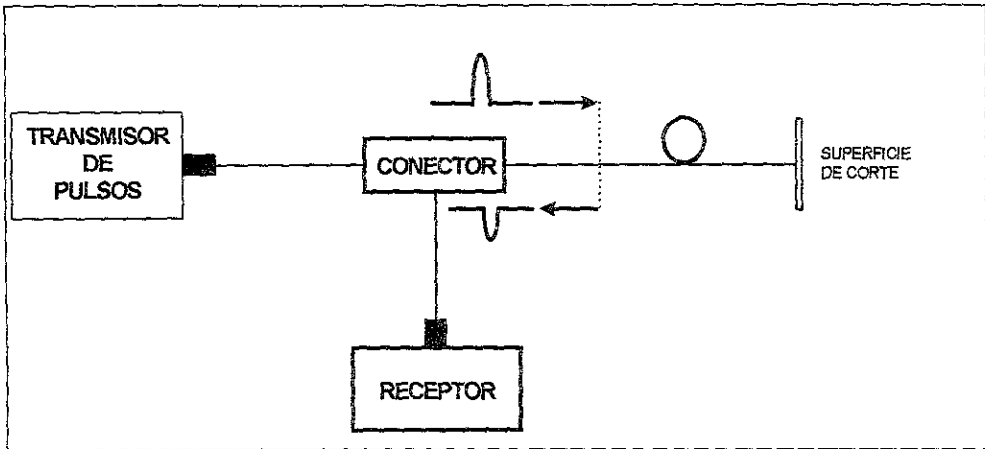


Fig. IV.7 Principio básico de localización de fallas.

#### IV.8 ENFOQUE COMPARATIVO ENTRE LOS DIFERENTES METODOS DE MEDICION

El método de medición empleando la técnica de la reflectometría es uno de los más útiles, ya que proporciona una gráfica, la cual nos permite apreciar las variaciones en la atenuación en función de la distancia, en consecuencia este método es muy útil para verificar las atenuaciones de los empalmes de línea y corregirlos cuando sea necesario. Permite a su vez efectuar revisiones en las fibras en etapas de mantenimiento, ya que en la gráfica podemos ubicar claramente el punto en el cual se ubican las fallas o los puntos con altas atenuaciones.

El método de pérdidas por inserción empleando el par fuente-detector es un método usado en las etapas finales y de puesta en funcionamiento del sistema. Esto es debido a que este método incluye las atenuaciones en los extremos del enlace, es decir, las atenuaciones en los conectores, de esta forma este método proporciona la atenuación total del enlace, en una medición que es definitivamente más confiable para efectos de atenuación total del enlace.



## CONCLUSIONES

La fibra óptica ofrece características propias que favorecen la instalación de la misma, tales como, muy bajas pérdidas en comparación con los cables convencionales lo que trae como resultado que la separación entre repetidores de una línea de transmisión óptica es bastante mayor a los alcanzados por los sistemas de cables metálicos, además de que tienen amplia respuesta en frecuencia de banda base, es decir, pueden propagarse simultáneamente ondas ópticas de diferentes longitudes de onda, por que cuentan con una capacidad de transmisión bastante elevada, en consecuencia se tiene una línea de transmisión altamente confiable ya que la fibra óptica no es afectada por acoplamientos eléctricos ni magnéticos debido a cables de tensión, fuentes industriales de ruido electromagnético y fenómenos atmosféricos, permite que los niveles de potencia proporcionados por los transmisores ópticos se encuentren en el intervalo de los W a menos de 10 mW, cabe destacar que las características de transmisión son muy poco alteradas por cambios en la temperatura, siendo innecesarias o simplificadas la igualación o compensación de las variaciones en tales propiedades, debe mencionarse que pueden fabricarse cables ópticos bastante ligeros, ya que el peso específico del vidrio es la cuarta parte de lo que presenta el cobre, además el diámetro de la fibra es de  $9\ \mu\text{m}$  -  $50\ \mu\text{m}$ , es importante señalar que la materia prima utilizada en la fabricación de las fibras ópticas es el  $\text{SiO}_2$  que es uno de los recursos más abundantes en la superficie terrestre, otras características sobresalientes son la gran flexibilidad, la privacidad en la comunicación, la seguridad en ambientes peligrosos (explosivos o corrosivos) y no se presenta el problema de diafonía.

Las limitaciones más significativas de los sistemas de comunicaciones por fibras ópticas son: necesidad de tener un medio físico de transmisión, dificultad en la reconfiguración de los sistemas, complejidad en sistemas multipunto de áreas amplias, sensibilidad limitada por el ruido cuántico, las fuentes ópticas son relativamente de alta no linealidad.

Todas las características y limitaciones de las fibras ópticas se han dado en comparación con los medios convencionales. El campo de aplicación de los cables por fibras ópticas es muy amplio debido a las propiedades inherentes mencionadas. Las áreas de aplicación principales son en enlaces entre centrales telefónicas, bucles de abonado, cable submarino, catv, itv, cableado interno de la central telefónica, cableado de abonados, suministro de datos, enlace de datos, circuitos cercanos a líneas de alimentación de alta tensión y cableado en buques y aviones.

## GLOSARIO DE TERMINOS

### **A**

#### **Acoplador**

Componente óptico pasivo para transmitir luz entre la fuente lumínica y el conductor de fibra óptica o entre varios de ellos. Son particularmente importante los acopladores que posibilitan la configuración de redes de conductores de fibra óptica destinadas a conectar varios emisores y receptores (acoplador estrella, derivador).

#### **Acoplamiento frontal**

Acoplamiento entre dos conductores de fibra óptica o diodos, cuyas caras de emisión y recepción de luz están en posición paralela a corta distancia una con respecto a la otra.

#### **Acoplamiento por lente**

Acoplamiento de dos conductores de fibra óptica por medio de un lente, con la cual se concentra la luz que sale del conductor de fibra óptica emisor para pasar a la cara frontal del conductor receptor. Con el acoplamiento frontal se admiten mayores tolerancias en las distancias de la zona de conexión.

#### **Ancho de banda**

Frecuencia a la cual la función de transferencia de un conductor de fibras ópticas ha disminuido a la mitad del valor que tenía a la frecuencia cero, es decir a la cual la atenuación de la señal lumínica llega a los 3 dB. Dado que el ancho de banda de un conductor de fibra óptica disminuye proporcionalmente con su

longitud (mezcla de modos) se indica a menudo, como característica de calidad, el producto ancho de banda por longitud.

#### **Ancho de banda del sistema**

Ancho de banda de un tramo de conductor de fibra óptica, medido desde el emisor hasta el receptor (campo regenerador).

#### **Angulo de aceptación**

Máximo ángulo de acoplamiento posible  $\Theta_{\max}$ , también llamado ángulo de apertura, dentro del cual se puede acopiar luz al núcleo de un conductor de fibra óptica y conducirla por el mismo. Cuando en el acoplamiento de luz este ángulo es excedido, se producen ya ondas fugadas, ya ondas que no se pueden propagar por el conductor de fibra óptica.

#### **Angulo de acoplamiento**

Angulo entre la dirección de propagación de la luz incidente y del eje óptico de un conductor de fibra óptica. Para acopiar luz incidente, este ángulo debe tener un valor entre 0 y un máximo que depende de la posición en el frente del conductor de fibra óptica o de su diferencia de índices de refracción con respecto al del recubrimiento (apertura numérica AN).

#### **Apertura numérica**

El seno del ángulo de aceptación  $\Theta_{\max}$  de un conductor de fibras ópticas es función únicamente de los índices de refracción del núcleo  $n_1$  y del recubrimiento  $n_2$ :

$$AN = \text{sen } \theta_{\max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

## Armadura

Elemento protector (generalmente de alambres o flejes de acero), empleado para cables con aplicaciones especiales, p. ej. para uso marítimo o minero, para cables con protección contra roedores, etc. Se aplica encima del recubrimiento del cable.

## Atenuación

Reducción de la potencia lumínica de señales ópticas entre dos secciones transversales de un conductor de fibra óptica. Depende de la longitud de onda. Sus causas principales son dispersión y absorción así como pérdidas de luz en conectores y empalmes. Se la define con

$$-10 \log \frac{P(L_1)}{P(L_2)}, \text{ en dB.}$$

$P(L_1)$  potencia lumínica en la sección 1 a la longitud  $L_1$

$P(L_2)$  potencia lumínica en la sección 2 a la longitud  $L_2$

(Coeficiente de atenuación).

## Atenuación por inserción

Atenuación ocasionada por la inserción de un componente óptico en un tramo de transmisión (p. ej. por conectores o acopladores).

## B

### B-ISDN

ISDN para transmitir gran número de servicios de banda ancha (alta velocidad de transmisión) como videotelefonía, videoconferencia en el puesto de trabajo y en estudio, videotexto en banda ancha, transmisión rápida de datos distribución de

programas televisivos así como texto por cable en banda ancha.

## Bit

Unidad de información en sistemas de transmisión digitales. El bit es la unidad de cómputo para señales binarias y refleja la transición entre dos estados, usualmente denominados 0 o 1. En la electrónica digital los bits se representan por pulsos. Un grupo de 8 bits se denomina usualmente byte.

## C

### Cable de núcleo ranurado

Cable en el cual las fibras ópticas no se encuentran dentro de conductores sino en ranuras preformadas practicadas en forma de espiral en la superficie del elemento central.

### Cable exterior

Cables conformados y dimensionados de tal modo que satisface todos los requerimientos que se producen en instalaciones de cable bajo tierra y en tubos. Tienen por lo general una cubierta de PE.

### Cable interior

Cables para los diversos usos en el interior de edificios. No está permitido su uso para instalaciones exteriores.

### Cables por capas

Cable donde los elementos de trenzado sin individuales y están dispuestos de forma concéntrica en una o varias capas por lo general en torno de un elemento central.

### Cable por grupos

Cable en el cual el alma se compone de grupos de elementos trenzados.

### Campo regenerador

Tramo de un cable de fibras ópticas entre dos regeneradores.

### Codificación

Conversión de señales de información para transmisión como elementos de señales de pasos (velocidad de paso). A cada elemento de señal se le puede asignar diferentes valores o estados. Así, una señal binaria tiene dos estados (bit), una señal ternaria tres estados, una señal cuaternaria cuatro estados, etc. Algunas codificaciones típicas son señales binarias.

### Coefficiente de atenuación

Se trata de la atenuación de un conductor de fibra óptica uniforme en estado estacionario y referida a la longitud (unidad dB/km).

### Coefficiente de dilatación lineal

Se denomina dilatación lineal, la que experimenta un cuerpo sólido en una dirección, como p. ej. un cable en la dirección longitudinal. En primera aproximación es proporcional al aumento de temperatura. El coeficiente de dilatación lineal es la fracción en la cual se incrementa la longitud por cada °K.

### Coefficiente de Poisson

Relación entre las variaciones del diámetro y la longitud de un cuerpo sometido a tensión mecánica, también denominado coeficiente transversal. El coeficiente de Poisson puede ser determinado con ayuda del módulo de E y del módulo de torsión.

$$\mu = \frac{E}{2G} - 1$$

### Colapsado

Contracción de las capas de vidrio porosas durante la fabricación de una preforma para obtener una barra de vidrio sólida, transparente, que a continuación puede ser estirada para obtener las fibras.

### Comunicaciones ópticas

Técnica para transmitir informaciones, con ayuda de luz.

### Condiciones de excitación

Condiciones, bajo las cuales se acopla luz en un conductor de fibra óptica. Son importantes para la posterior distribución de la potencia luminica en dicho conductor.

### Conductor compacto

Combinación de conductor hueco y conductor macizo. El espacio entre el conductor de fibra óptica y la envoltura se reduce a valores pequeños y se rellena con una sustancia que forma una capa deslizante.

### Conductor macizo

Conductor de fibra óptica, en el cual directamente encima del revestimiento protector (coating) se aplica una cubierta sólida de material plástico.

### Conductor de fibra óptica

Guía de onda dieléctrica, compuesta por un núcleo de material ópticamente transparente de índice de refracción más bajo que el del núcleo. Se emplea para transmitir señales con ayuda de ondas electromagnéticas en la gama de frecuencias ópticas. Por lo general, el

conductor de fibra óptica está envuelto por una cubierta protectora. Para el conductor de fibra óptica se suele utilizar, con frecuencia, el término fibra.

### **Conductores de fibra óptica monomodo**

A la longitud de onda de servicio, un único modo, el fundamental, es capaz de propagarse por el conductor de fibra óptica.

### **Conductor de fibras ópticas multimodo**

Conductor de fibra óptica, cuyo núcleo es de diámetro grande con respecto de la longitud de onda de la luz y en el cual por esa razón puede propagarse un gran número de modos. Por medio de un perfil gradual se puede mantener baja la dispersión de modos, pudiéndose alcanzar de esta manera grandes anchos de banda; éstos sin embargo son superados por los conductores de fibra óptica monomodo.

### **Conector**

Conexión fácilmente separable de dos conductores de fibra óptica con conectores. Por lo general la atenuación de inserción de un conector es más alta que la de un empalme.

### **Crimpear**

Modo de producir una buena conexión mecánica mediante la deformación permanente de una vaina en torno de un conductor de fibra óptica.

## **D**

---

### **Destilación**

Método para separar sustancias químicas consistente en calentar éstas en un recipiente hasta su punto de ebullición y condensar su vapor por enfriamiento en un

tubo inclinado en sentido descendente (enfriador) conectado al recipiente de destilación. El líquido recuperado (destilado) es recogido en un segundo recipiente.

### **Diagrama del espacio de las fases**

Representación, en un sistema de coordenadas adecuado, de las características de conducción de luz en un conductor de fibras ópticas. Permite describir diferentes características del conductor de fibras ópticas como p. ej. la potencia luminica acoplable al mismo, condiciones de excitación, etc.

### **Diámetro de campo**

El diámetro de campo  $2w_0$  o el radio de campo  $w_0$  es determinante para caracterizar la distribución de luz del modo fundamental en conductores de fibra óptica monomodo.

### **Diámetro del núcleo**

Diámetro del círculo más pequeño que encierra la superficie de la sección del núcleo. El radio del núcleo es el radio de este círculo.

### **Diámetro del recubrimiento**

Diámetro del círculo más pequeño que envuelve la sección del recubrimiento. El radio del recubrimiento es el correspondiente a este círculo.

### **Diferencia de índices de refracción**

Diferencia entre el índice de refracción  $n_1$  máximo en el núcleo y el  $n_2$  en el recubrimiento de un conductor de fibra óptica. La diferencia del índice de refracción es determinante para el valor de la apertura numérica AN y la atenuación adicional ocasionada por microcurvaturas.

La diferencia normalizada de índices de refracción se define por:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

### Diodo emisor de luz

Diodo emisor de luz. Un componente semiconductor que emite luz incoherente en forma espontánea.

### Diodo láser

Diodo que emite luz coherente cuando la corriente supera un valor umbral (emisión estimulada). Se diferencia entre diodos láser de ganancia y de índice.

### Dióxido de germanio GeO<sub>2</sub>

Compuesto químico utilizado con mayor frecuencia como material de dopado en la fabricación de conductores de fibra óptica para aumentar el índice de refracción.

### Dióxido de silicio

Compuesto químico de cuarzo o bien de vidrio de cuarzo SiO<sub>2</sub>, es la sustancia básica de los actuales conductores de fibras ópticas.

### Dispersión

Principal causa de atenuación en un conductor de fibra óptica. Originada por fluctuaciones microscópicas de la densidad del vidrio, que desvían de su dirección una parte de la luz conducida al punto que abandona el conductor de fibra óptica. La dispersión se incrementa hacia las longitudes de ondas cortas, de acuerdo a la ley de Dispersión de Rayleigh (dispersión de Raman).

### Dispersión

Dispersión del tiempo de recorrido del grupo en un conductor de fibra óptica. Se compone de diversa partes: dispersión de modos, dispersión de material y dispersión en la guía de onda. Como consecuencia de la dispersión, los pulsos de luz experimentan un ensanchamiento en el tiempo al recorrer un conductor de fibra óptica. Por lo tanto, el conductor de fibra óptica se comporta para las señales a ser transmitidas como un filtro pasabajos (función de transferencia).

### Dispersión cromática

Reunión de dos efectos afines: dispersión en el material y dispersión en la guía de ondas.

### Dispersión de guía de ondas

Dispersión que describe, respecto de parámetros de materiales independiente de las longitudes de onda, la dependencia del tiempo de recorrido del grupo de un determinado modo respecto de las dimensiones del conductor de fibra óptica y de la longitud de onda. Tiene particular importancia para conductores de fibra óptica monomodo; es ocasionada por la dependencia de las longitudes de onda de la distribución de la luz del modo fundamental entre el núcleo y el recubrimiento.

### Dispersión de modos

La dispersión en un conductor de fibra óptica provocada por la superposición de modos con diferentes tiempos de recorrido e igual longitud de onda.

### Dispersión de Raman

Dispersión de luz en un material por efecto Raman, un efecto óptico no lineal, donde a

raíz de una intensa radiación lumínica se produce un amplio espectro continuo.

### Dispersión del perfil

El índice de refracción del vidrio de cuarzo depende de la longitud de onda de la luz, aunque no sea de manera idéntica para todos los vidrios intervinientes en la configuración de un conductor de fibra óptica. Por eso, la forma del perfil de índices de refracción (ante todo su diferencia) depende también de las longitudes de onda. En consecuencia, en conductores de fibra óptica monomodo el perfil se puede aproximar al grado óptimo sólo dentro de una gama de longitudes de onda muy estrecha, que permite la dispersión mínima de modos o bien el ancho de banda máximo. En otras longitudes de onda el perfil del índice de refracción no es el óptimo y en consecuencia el ancho de banda disminuye proporcionalmente.

### Dispersión en el material

Dispersión originada por el índice de refracción  $n$  de un material en función de la longitud de onda. Esta relación de dependencia la describe la dispersión del material  $M_0(\lambda)$ . Para la mayoría de los materiales de las fibras ópticas  $M_0$  se convierte en 0 a una determinada longitud de onda  $\lambda_0$  en las proximidades de 1300 nm. La longitud habitual para  $M_0$  es ps/nm·km.

### Distancia entre bandas

Diferencia de niveles energéticos entre la banda de valencia y la de conducción de un semiconductor. Esta zona energética no puede ser ocupada por electrones (banda prohibida). En componentes semiconductores optoelectrónicos la distancia de bandas es factor decisivo para la longitud de onda de servicio.

### Distribución de campo lejano

La distribución (medición) de la potencia lumínica irradiada por una fuente de luz (luz) o por el extremo de un conductor de fibra óptica sobre el ángulo que forma la fuente de luz y el eje óptico. Es fundamental para la distribución de campo a gran distancia de la fuente de luz y en el caso de conductores de fibra óptica, en función de su longitud, condiciones de excitación así como de la longitud de onda.

### Distribución de Weibull

Método matemático estadístico para determinar la probabilidad de rotura p. ej. de un conductor de fibra óptica en función de su longitud, esfuerzos mecánicos y tiempo.

### Distribuidor

Componente óptico utilizado para dividir la potencia lumínica desde un conductor de fibra óptica entrante a uno o más salientes (acoplador).

### Doble heteroestructura

Secuencia de capas en un elemento semiconductor optoelectrónico, donde la capa semiconductor activa es limitada por dos capas de recubrimiento con mayor distancia entre bandas energéticas. En diodos láser la doble heteroestructura cumple dos funciones: limitación de los portadores de carga y conducción de las ondas de luz en un material dieléctrico.

### Dopado

Agregado de pequeñas cantidades de determinado material a una sustancia pura para modificar en pequeña medida las características de ésta. P. ej. se alcanza el alto índice de refracción del núcleo de un conductor de fibra óptica añadiendo dióxido de germanio a la sustancia básica, dióxido



de silicio.

## E

### Ecuaciones de Maxwell

Ecuaciones desarrolladas por C. Maxwell para describir todos los fenómenos electromagnéticos, entre los cuales figura también el de la luz.

### Elementos de trenzado

Se trata primordialmente de conductores huecos, por grupos, macizos y compactos, así como elementos ciegos, pares y cuadretes de cobre.

### Emisión de luz por inyección

Proceso de la inyección de portadores de carga seguido por emisión de luz, en un componente semiconductor.

### Emisión espontánea

Se produce cuando en la banda de conducción de un semiconductor se encuentra un exceso de electrones. Estos, con la emisión de un fotón por cada electrón, ocupan espontáneamente lugares libres de la banda de valencia. La radiación resultante no es coherente.

### Emisión estimulada

Se produce cuando los fotones existentes en un semiconductor excitan a los portadores de carga en exceso para efectuar una recombinación radiante, es decir a emitir otros fotones. La luz emitida tiene la misma longitud de onda y fase que la luz incidente, o sea es coherente (se produce radiación coherente).

### Emisor

Subconjunto (parte de un equipo terminal) que se utiliza en la técnica de comunicaciones ópticas para transformar señales eléctricas en ópticas. Se compone de un diodo emisor (diodo láser o diodo emisor de luz) con pigtail, conector y amplificador, así como otros circuitos electrónicos. En particular en diodos láser se requiere un fotodiodo con amplificador regulado para controlar y estabilizar la potencia de radiación, asimismo en muchos casos se utiliza un termosensor y un enfriador por efecto Peltier, para estabilizar la temperatura de régimen. Por lo general las principales partes del emisor se agrupan para formar un conjunto compacto, el módulo emisor.

### Empalme

Conexión permanente, que se puede efectuar mediante fusión o pegado, entre los extremos de dos conductores de fibra óptica, quebrados en forma plana.

### Equipo para medición de retrodispersión (Optical time domain reflectometer, OTDR).

Equipo de medición que trabaja según el principio del método de retrodispersión.

### Estado elastoviscoso

Estado de un cuerpo en el cual éste en razón de su viscosidad recupera su forma modificada por acción de una fuerza exterior, sólo en forma muy lenta, después de haber cesado de actuar la fuerza exterior.

### Estado estacionario

Al cabo de determinada longitud se produce en un conductor de fibras ópticas multimodo, resulta de la mezcla de modos,

que ya no cambia cuando las longitudes son mayores. Con el objeto de aproximarse a este estado para fines de medición, se emplean mezcladores de modos y/o filtros de modos.

#### **Excitación al 70%**

Condición de excitación, bajo la cual aproximadamente 70% del diámetro del núcleo y 70% de la apertura numérica de un conductor de fibra óptica son iluminados por la luz a ser acoplada por medio de una combinación apropiada de lentes y diafragmas.

#### **Excitación total**

Condición de excitación en la cual tanto la apertura numérica como también la mancha luminosa de intensidad homogénea de potencia del emisor, es igual o mayor que el correspondiente parámetro del núcleo del conductor de fibra óptica, resulta que se excitan todos los modos guiados y también los modos fugados.

#### **Exponente de perfil**

Parámetro con que en perfiles de potencia se define la forma del perfil. En la práctica son particularmente importantes los casos en los cuales el exponente del perfil es  $g \approx 2$  (perfil gradual) y  $g \rightarrow \infty$  (perfil escalonado).

#### **Exponente longitudinal**

Dado que el ancho de banda no disminuye de manera lineal con la longitud debido a la dispersión de modos, cuando se efectúa la interconexión de cables con longitudes varias, se procura obtener (en conductores de fibra óptica multimodo) una aproximación al desarrollo real por medio de cálculos, con el denominado exponente longitudinal (factor gamma).

#### **Extrusor**

Máquina para producir una envoltura tubular termoplástica sin costura (p. ej. recubrimiento de cables, cubiertas, vainas, etc.).

---

## **F**

#### **Factor de retrodispersión**

Constante de proporcionalidad entre el coeficiente de atenuación debido a dispersiones y la cuarta potencia a la longitud de onda de la luz dispersada (ley de Dispersión de Rayleigh).

#### **Factor gamma**

Exponente longitudinal.

#### **Fibra**

Conductor de fibra óptica.

#### **Fibra de conexión**

Pigtail

#### **Filtro de modos**

Si p. ej. en el acoplamiento de un conductor de fibra óptica multimodo es necesario suprimir los modos más elevados, se utiliza para ello el filtro de modos, enrollando el correspondiente conductor de fibra óptica p. ej. en torno de un cilindro con un diámetro de aprox. 1 cm con lo cual se separan los modos de mayor orden. En general se puede afirmar que un filtro de modos se usa para limitar la excitación a determinados modos (primordialmente aquellos de orden inferior).

#### **Filtro pasabajos gaussiano**

Filtro (p. ej. para frecuencias de

modulación), donde la amplitud de salida (de la modulación) se reduce, con el incremento de la frecuencia, según una función gaussiana. La típica función de transferencia de un conductor de fibra óptica varía de manera similar que en un filtro pasabajos de Gauss.

### Flúor

Elemento químico gaseoso no metálico utilizado en la producción de conductores de fibra óptica como material de dopado para disminuir el índice de refracción.

### Fluorine

Flúor F.

### Fotodiodo

Diodo de material semiconductor que absorbe luz y suministra a un circuito eléctrico exterior, una corriente de fotones proporcional a los portadores de carga liberados en este proceso. Se distingue entre fotodiodos PIN y fotodiodos de avalancha.

### Fotodiodo de avalancha

Componente receptor basado en el efecto de avalancha: por medio de multiplicación de portadores, en un campo eléctrico se amplifica la corriente de fotones con poco ruido.

### Fotodiodo PIN

Diodo receptor (fotodiodo) con absorción predominante en la zona de carga espacial (zona i) dentro de su juntura pn. Contrariamente al fotodiodo de avalancha, este diodo tiene un elevado rendimiento cuántico pero sin amplificación de corriente propia (efecto de avalancha).

### Frecuencia de modulación

Frecuencia de la modulación  $f_m$ , con lo cual varía (es modulada) la amplitud de la potencia luminica a ser acoplada por un emisor en el conductor de fibras ópticas.

### Fuente de luz coherente

Fuente de luz que emite ondas coherentes. En caso que el ancho espectral medio de la fuente de luz sea  $\Delta\lambda$  y su longitud de onda media  $\lambda_m$  la longitud de coherencia de las ondas emitidas en un material con índice de refracción  $n$ , es aproximadamente:

$$\frac{\lambda_m^2}{n\Delta\lambda}$$

### Función de Bessel

Función matemática empleada para describir el campo eléctrico en guías de ondas cilíndricas y simétricas, como p. ej. cables coaxiales, conductores de fibras ópticas. Las funciones de Bessel  $J_n(x)$  son, por su desarrollo similares a oscilaciones senoidales amortiguadas. En un conductor de fibra óptica con perfil gradual los primeros ceros de estas funciones indican el valor del parámetro  $V$ , en el cual los modos correspondientes tienen su longitud de onda límite.

### Función de transferencia

Para las señales a ser transmitidas, el conductor de fibra óptica actúa como filtro pasabajos, es decir deja pasar señales de baja frecuencia atenuando las de frecuencias altas. Este proceso se describe con la función transferencia  $H(f_m)$ . Para ello, se miden las amplitudes de la potencia luminica a la entrada  $P_1(f_m)$  y la salida  $P_2(f_m)$  del conductor de fibra óptica, para cada frecuencia de modulación  $f_m$  y la relación de

estas amplitudes da el valor de la función de transferencia  $H(f_m)$ .

$$H(f_m) = \frac{P_2(f_m)}{P_1(f_m)}$$

La función de transferencia adquiere su valor máximo a frecuencia cero y tiende lentamente a cero para frecuencias altas, siguiendo aproximadamente la forma acampanada de un filtro pasabajos de Gauss.

## G

### GFK

Elemento de soporte y tracción de filamentos de vidrio (GFK. Elemento de plástico reforzado con fibra de vidrio, GRP: glass fiber reinforced plastic).

## I

### Índice de modos azimutal

Número para identificar los modos capaces de propagarse en un conductor de fibra óptica. Con el índice de modos azimutal se indica la media cantidad de puntos luminosos por cada anillo concéntrico de luz.

### Índice modal radial

Número que identifica los modos capaces de propagarse en un conductor de fibra óptica. Con el índice radial se indica el número de anillos de luz concéntricos del modos.

## Índice de refracción

Factor que expresa la reducción del valor de la velocidad de la luz en un material ópticamente denso (p. ej. vidrio) con respecto al vacío. Se distingue entre índice de refracción de fase e índice de refracción de grupo. El índice de refracción es, en los materiales ópticos (salvo en vacío) una función de la longitud de onda.

### Índice de refracción de fase

Factor de reducción  $n$  de la velocidad de las fases de una fuente de luz infinita y no modulada en un material ópticamente denso con respecto al vacío (índice de refracción).

### Índice de refracción del grupo

Factor  $n_g$  por el cual la velocidad de propagación de un grupo de ondas de luz finito en un medio ópticamente más denso que el vacío (p. ej. pulso de luz), es menor que en el vacío. Para una longitud de onda el índice de refracción de grupo  $n_g$  se puede derivar del índice de refracción de fase  $n$

$$n_g = n - \lambda \frac{dn}{d\lambda}$$

Es la magnitud determinante para la velocidad de propagación de pulsos de luz en conductores de fibra óptica.

### Intensidad

Densidad de potencia en una superficie atravesada por radiación, p. ej. en la superficie radiante de una fuente luminica o la sección de un conductor de fibra óptica (unidad usual: W/cm<sup>2</sup>).

### Interferencia

Superposición de dos o más ondas al pasar

por un mismo lugar al mismo tiempo. La amplitud resultante es en todos los casos igual a la suma de amplitudes de las ondas originales. Una manifestación característica de la interferencia se obtiene únicamente con ondas coherentes.

## ISDN

Red digital unificada en la cual el abonado puede recibir y emitir, utilizando una sola línea, todas las clases de comunicación (voz, textos, datos, imágenes móviles y fijas) que se transmiten por medio de una sola conexión en el sistema de conmutación.

## L

### Ley de Dispersión de Rayleigh

Ley que describe, con buena aproximación, las dispersiones ocasionadas por perturbaciones de la densidad (inhomogeneidades) en el conductor de fibra óptica y cuyas dimensiones son por lo general menores que la longitud de onda de la luz. A medida que aumenta la longitud de onda  $\lambda$ , las pérdidas por dispersión  $\alpha$  disminuyen en función de la cuarta potencia.

### Ley de Hooke

Reducidos cambios de forma de cuerpos sólidos son proporcionales a las fuerzas exteriores y en consecuencia a los esfuerzos interiores. P. ej. el esfuerzo  $\sigma$  (tracción o compresión) es proporcional a la variación de longitud  $\varepsilon$  (alargamiento o acortamiento por unidad de longitud). La constante de proporcionalidad es el módulo de elasticidad E:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

## LID

El sistema de inyección local se emplea para el posicionamiento rápido y sin problemas de conductores de fibra óptica monomodo y multimodo. Los conductores de fibra óptica que entran y salen del empalmador se curvan en torno de un mandril con un radio de curvatura suficientemente pequeño, de modo que se produce incidencia (inyección de luz) o radiación (detección de luz) a un conductor de fibra óptica de núcleo grueso acoplado en el lugar de curvatura (atravesando el revestimiento y vidrio de recubrimiento teñido). El paso de la luz desde el extremo entrante del conductor de fibra óptica hacia el extremo saliente permite efectuar - mediante el control de un microprocesador - un ajuste óptimo de la posición de los extremos del conductor de fibra óptica para su soldadura.

### Longitud de onda

Período en el espacio de una onda plana, o sea la distancia o espacio recorrido por una oscilación completa. En las comunicaciones ópticas se emplean ante todo longitudes de onda en las gamas de 0.8 a 1.6  $\mu\text{m}$ .

### Longitud de onda límite

Longitud de onda más corta, en la cual el modo fundamental de un conductor de fibra óptica es el único capaz de propagarse. En conductores de fibra óptica monomodo la longitud de onda límite debe ser menor que la longitud de onda de la luz a ser transmitida.

## Luz

Originalmente el concepto de «luz» se refería sólo a las ondas electromagnéticas visibles para el ojo humano con una longitud de onda entre 380nm (violeta) y 780nm (rojo). Sin embargo se ha hecho

costumbre calificar de luz también la radiación en las gamas espectrales vecinas a las de la luz visible (p. ej. radiación del infrarrojo cercano de 800nm a aprox. 1600nm), con el objeto de enfatizar los aspectos físicos y técnicos que tienen en común con los de la luz visible. Así, p. ej. las palabras correspondientes a las fuentes de radiación, diodo emisor de luz y láser contienen en el uso lingüístico tanto en inglés como en otros idiomas la palabra «luz». También las palabras provenientes del griego «óptica» y «foto», análogas a la palabra luz utilizadas en la composición de muchos términos, han experimentado idéntica extensión de sus respectivos significados.

## M

### Medio dieléctrico

Material aislante, también denominado dieléctrico, es decir un material eléctricamente no conductor.

### Método de ajuste

Posicionamiento óptimo de los extremos de los conductores de fibra óptica para efectuar empalmes. En razón de la precisión de las guías y de las buenas características autocentrantes del arco en el empalme térmico simple de conductores de fibra óptica con perfil gradual sólo se debe efectuar este posicionamiento en sentido longitudinal. Para el empalmado térmico simple de conductores de fibra óptica monomodo el ajuste de éstos se efectúa en las tres direcciones con el sistema LID.

### Método de inserción

Uno de los métodos utilizados para medir la atenuación, en el cual se determina la potencia en luz al final del conductor de

fibra óptica bajo medición, para compararla posteriormente con la potencia de luz que emerge al final de un corto tramo de conductor. Este corto tramo sirve de referencia y debería corresponder al conductor de fibra óptica bajo medición. El método es no destructivo.

### Método de retrodispersión

Método para medir la variación de la atenuación a lo largo de un conductor de fibra óptica. Mientras que la fracción principal de la potencia luminica avanza hacia adelante, una pequeña parte es retrodispersada hacia el emisor. Observando en el emisor, con ayuda del divisor de rayos, el tiempo de retrodispersión de la luz, es posible medir no sólo la longitud y la atenuación de un conductor de fibra óptica homogénea, desde uno de sus extremos, sino también comprobar irregularidades locales, roturas, así como pérdidas de luz en empalmes y conectores.

### Modo fundamental

Modo de orden más bajo en un conductor de fibra óptica. Tiene por lo general una distribución de campo en forma acampanada (similar a la campana de Gauss) y su extensión en el campo cercano se describe por medio del diámetro de campo. En el conductor de fibra óptica monomodo es el único modo capaz de propagarse.

### Modos

Solución de las ecuaciones de Maxwell teniendo en cuenta las condiciones de contorno del conductor de ondas, es decir una onda natural que tiene una distribución de campo transversal independiente de la dirección de propagación.

## **BIBLIOGRAFIA**

### **Sistemas de Comunicaciones con Fibras Ópticas**

Teledata Technology, S.A. de C. V.

### **Conductores de Fibras Ópticas**

Conceptos Básicos. Cables: diseño, producción e instalación. Planificación de las instalaciones.

Mahlke Günther.

Peter Gössing.

Ed. Marcombo, S.A.

### **Sistema de Comunicaciones por Fibras Ópticas**

Hildeberto Jardón Aguilar.

Roberto Linares y Miranda.

Ed. Alfaomega.

### **Fiber Optics: communication and other applications**

Henry Zanger.

Cynthia Zanger.

Ed. Maxwell Macmillan International Publishing Group.