

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DEL LITORAL**

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

**Cables de Fibras Opticas utilizados en la red Intercentral
Telefónica de la Ciudad de Guayaquil**

Tesis de Grado

Previa a la Obtención del Título de:
INGENIERO EN ELECTRICIDAD

Especialización: **Electrónica**

Presentada por:

Arturo Rodrigo Clavijo Rosero

Freddy Reynaldo Torres Azu

Rommel Eudoro Morales Murillo



Guayaquil • Ecuador

1994

85

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL
LITORAL**

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

**Cables de Fibras Opticas utilizados en la red Intercentral Telefónica de la
Ciudad de Guayaquil**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

Especialización: Electrónica

PRESENTADA POR:

ARTURO RODRIGO CLAVIJO ROSERO

FREDDY REYNALDO TORRES AZU

ROMMEL EUDORO MORALES MURILLO

Guayaquil - Ecuador

1994

DEDICATORIA

A mis padres quienes de una o de otra manera me han sabido dar el soporte necesario para poder terminar mis estudios.

A mis amigos.

Arturo Clavijo Rosero

DEDICATORIA

A mis padres, Juan y Bella, verdaderos
artífices de mi educación y principios.

A mis hermanos.

A una persona muy especial, Patricia
Carrión.

A mis amigos.

Freddy Torres Azú

DEDICATORIA

A mis padres por haberme inculcado los valores humanos, por su infinito apoyo y muy especialmente a Magaly sin quien no hubiera podido mantenerme firme y optimista en la vida

Rommel Morales

AGRADECIMIENTO

Al creador por darnos fuerzas para seguir adelante.

Al Dr. Ing. Freddy Villao Q. Director de Tesis, por haber sabido participar de sus conocimientos y experiencias.

A todas aquellas personas que de una u otra manera supieron brindarnos su colaboración.

A ellos eternamente gracias

DECLARACION EXPRESA

“ La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta Tesis, nos corresponden exclusivamente y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL ”.

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).

ARTURO R. CLAVIJO ROSERO

FREDDY R. TORRES AZU

ROMMEL E. MORALES MURILLO

TRIBUNAL DE GRADO

DR. ING. FREDDY VILLOO Q.

ING. WASHINGTON MEDINA

ING. NELSON LAYEDRA

RESUMEN

La presente documentación contiene un análisis detallado sobre cables de fibras ópticas utilizados en las intercentrales telefónicas, específicamente en la ciudad de Guayaquil.

Se realiza un desglose por demás minucioso para que cualquier persona que necesite información sobre el tema pueda obtenerla sin ninguna dificultad. Se presenta una secuencia ordenada de lo que ha cables de fibra óptica se refiere, analizando desde las propiedades y características que debe poseer una fibra óptica y cuales son los métodos de producción.

Se indican los diversos tipos de empalmes realizados en la ciudad especialmente por la compañía Ericsson, parámetros fundamentales a medirse y también todos los pasos que se deben seguir para obtener un empalme con la menor atenuación posible.

Se especifican también todas los enlaces de fibras ópticas existentes entre las centrales tanto analógicas como digitales, indicando las distancias existentes entre enlaces, el número de fibras utilizados hasta 1994.

Se menciona también los diferentes tipos de conectores ópticos que reemplazan en muchos casos a los empalmes por soldadura, también se indica cual debe ser un proceso de mantenimiento adecuado para alargar la vida útil del cable.

INTRODUCCION

Las experiencias hasta el presente adquiridas han mostrado que las conformaciones de cables que de entrada exhiben una notable alteración de la atenuación de fibras individuales con respecto al estado original o que muestran sensibles reacciones mecánicas a las modificaciones térmicas permitidas o a otras alteraciones de estado, deben ser consideradas, a la larga, como menos apropiadas para el servicio. Estas alteraciones significan, en último análisis, que las fibras se deforman de manera no permitida, pudiéndose expresar por probabilidades las consecuencias a largo plazo de tales deformaciones. La conclusión de esta reflexión solo puede apuntar hacia una conformación de cable que bajo todas las circunstancias permitidas mantenga las fibras por término medio en el estado de cargas mecánicas ínfimas y, asimismo, minimice las desviaciones locales respecto a un valor medio seguramente tolerante. Esto excluye todas las construcciones que no contemplen un huelgo radial suficiente para las inevitables alteraciones longitudinales, flexiones o torsiones del cable.

En la realización de esta exigencia es posible llegar a resultados sumamente disparejos. Una de las soluciones más antiguas, nuevamente acometida en los últimos años es el cable de cámara o (slotted core), en el cual el alma consiste en un núcleo estable con ranuras helicoidales, en el cual están situadas una o varias fibras.

La problemática de este concepto sólo se revela cuando se lo examina más de cerca. Por una parte, no es simple colocar las fibras. La problemática de este concepto sólo se revela cuando se lo examina más de cerca: Por una parte, no es simple colocar las fibras de suerte que se origine en todas las situaciones un huelgo longitudinal y bilateral; por otra, debe preverse una protección suficiente para las fibras o los grupos de fibras en los sitios de bifurcación. La adaptabilidad del sistema a números de fibras y condiciones operativas muy diferentes es moderada.

En otras situaciones se prevé para una mejor identificación y procesabilidad de las fibras individuales, primeramente una envoltura individual, sólida y adherente; estas fibras de tipo adherente son colocadas en el alma del cable con relativamente mucho huelgo.

INDICE GENERAL

RESUMEN

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

INTRODUCCION

1. PROPIEDADES Y FABRICACION DE LA FIBRA OPTICA	1
1.1 PRINCIPIOS FISICOS DE LOS CONDUCTORES DE FIBRA OPTICA	1
1.1.1 ESPECTRO	1
1.1.2 REFLEXION DE LA LUZ	1
1.1.3 REFRACCION DE LA LUZ	1
1.1.4 REFLECCION TOTAL	2
1.1.5 APERTURA NUMERICA	2
1.2 METODO DEL DOBLE CRISOL	4
1.3 PRODUCCION DE LA PREFORMA	8
1.4 ESTIRADO DE LA PREFORMA	16
2. CABLES DE FIBRAS OPTICAS	22
2.1 COMPONENTES DE CABLE OPTICO	22
2.2 EJEMPLOS DE CABLES OPTICOS	31
2.2.1 CABLE MONOFIBRA	31

2.2.2 CABLES A GRUPOS	32
2.2.3 CABLE A CINTAS	33
2.2.4 CABLE AEREO	33
2.2.5 CABLE FRANCES	33
2.2.6 CABLE SUBMARINO	34
2.2.7 CABLE VALTEC-ATT	34
2.2.8 CABLE DE ENERGIA	35
2.2.9 HILO DE GUARDIA	35
2.2.10 CABLE PARA EDIFICIOS	35
3. INSTALACION DE CABLES CON FIBRAS OPTIS	39
3.1 INSTALACION EN CONDUCTOS Y CANALIZACIONES	39
3.2 INSTALACION DE CABLES AEREOS	42
3.3 INSTALACION DE CABLES ENTERRADOS	43
4. METODOS DE MEDICION	45
4.1 ATENUACION	45
4.2 RETRODISPERSION	48
4.3 ANCHO DE BANDA	53
4.4 MEDICION DEL ANCHO DE BANDA	54
4.5 MEDICION EN EL AMBITO DE LA FRECUENCIA	55
4.6 MEDICION EN EL AMBITO DEL TIEMPO	56

5. TECNICAS DE EQUIPOS Y SISTEMAS DE EMPALMES DE FIBRAS OPTICAS	59
5.1 PLANIFICACION CORRESPONDIENTE A LA TRANSMISION	60
5.2 PLAN DE ATENUACION PARA CONDUCTORES DE FIBRA OPTICA MONOMODO Y MULTIMODO	60
5.3 ANCHO DE BANDA DE CONDUCTORES DE FIBRA OPTICA CON PERFIL GRADUAL EN INSTALACIONES DE CABLES	62
5.4 DISPERSION DE CONDUCTORES DE FIBRA OPTICA MONOMODO	65
5.5 PLANIFICACION DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL EMPALME	66
5.6 EMPALMES	72
5.7 EMPALME MECANICO SIMPLE	73
5.8 EMPALME TERMICO SIMPLE	74
5.9 EMPALME TERMICO SIMPLE MONOMODO	76
5.10 EMPALME MULTIPLE	76
5.10.1 EMPALME MULTIPLE MECANICO	76
5.10.2 EMPALME MULTIPLE TERMICO	78
5.11 CONEXIONES POR CONECTORES	79
5.12 ACOPLAMIENTO CON LENTES	79
5.13 ACOPLAMIENTO FRONTAL	80

6. EMPALME DE CABLE DE FIBRA OPTICA	82
6.1 EMPALME DE CABLE DE FIBRAS OPTICAS	83
6.2 PREPARACION DE LA FIBRA	84
6.3 SOLDADURA	85
6.4 ENCOLADO	85
7. MEDICIONES DE TRANSMISION EN CABLES DE FIBRA OPTICA	89
7.1 LINEAS GENERALES PARA LOS METODOS DE MEDICION	89
7.2 REQUERIMIENTOS TECNICOS	91
7.3 METODOS ELEGIDOS DE MEDICION	92
7.4 EQUIPOS DE MEDICION	94
7.5 ELABORACION DE LOS DATOS DE MEDICION	95
7.6 RESULTADOS Y EXPERIENCIAS DE TECNICAS DE MEDICION	96
8. ELEMENTOS CONECTORES	99
8.1 MANGUITOS , CAJAS Y ELEMENTOS TERMINALES PARA CONDUCTORES DE FIBRA OPTICA	99
8.2 MANGUITOS UNIVERSALES	99
8.3 CAJAS PARA REGENERADORES	101
8.4 UNIONES DE FIBRA OPTICA	102

10.7 EQUIPOS Y EMPALMES USADOS EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL	122
10.7.1 PASOS DE UN EMPALME	123
1. PREPARACION DEL CABLE SIN ARMAR	123
2. CORTE DEL CABLE	124
3. INTRODUCCION DE LA MANGUERA	
TERMORRECTRACTIL	125
4. PREPARACION DEL CABLE ARMADO	126
5. CONEXION DEL CONECTOR CON LA CAJA DE	
EMPALME	127
6. CONEXION DEL HILO MENSAJERO A LA CAJA	
DE EMPALME	128
7. CORTE DE LA FIBRA	129
8. SOLDADO DE LA FIBRA	130
9. PREPARACION DEL MANGUITO	131
10. PREPARACION DE LA CASSETERA	132

INDICE DE GRAFICOS

FIG. 1	PARAMETROS FUNDAMENTALES DE LA FIBRA ÓPTICA	4
FIG. 2	MÉTODO DE PRODUCCIÓN DE FIBRA ÓPTICA MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO DE DOBLE CRISOL	6
FIG. 3	METODO DE PRODUCCION DE FIBRA OPTICA MEDIANTE PROCESO DE FABRICACION DE UNA PREFORMA	11
FIG. 4	COMPACTADO DE LA PREFORMA Y EFECTO DEL DIP DEL INDICE DE REFRACCION SOBRE LA SEÑAL	14
FIG. 5	METODO DE PRODUCCION DE LA PREFORMA POR DEPOSICION PARCIAL EN LA FASE DE VAPOR	17
FIG. 6	DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL PROCEDIMIENTO DE ESTIRADO DE LA FIBRA	21
FIG. 7	DISTINTOS TIPOS DE RECUBRIMIENTO SECUNDARIO	23
FIG. 8	METODO DE PRODUCCION DE CABLES OPTICOS MEDIANTE LA REUNION DE F. O. CON RECUBRIMIENTO	25
FIG. 9	DISTINTOS TIPOS DE CABLES CON FIBRAS OPTICAS	36
FIG. 10	DISTINTOS TIPOS DE CABLES CON FIBRAS OPTICAS	37
FIG. 11	DISTINTOS TIPOS DE CABLES CON FIBRAS OPTICAS	38
FIG. 12	CURVA DE ATENUACION DE RAYLEIGH	46

FIG. 13. METODO DE MEDICION DE LA ATENUACION	47
FIG. 14 METODO DE RETRODISPERCION	49
FIG. 15 CURVA OBTENIDA DE UNA MEDICION POR RETRODISPERCION	51
FIG. 16 PROTOCOLO DE UNA MEDICION DEL ANCHO DE BANDA EN EL AMBITO DEL TIEMPO	58
FIG. 17 DISTINTOS FACTORES QUE PRODUCEN ATENUACION EN LAS UNIONES DE FIBRAS OPTICAS	103
FIG. 18 DISTINTAS UNIONES DE FIBRA OPTICA	108
FIG. 19 CABLE DE F. O. UTILIZADO POR ALCATEL	115
FIG. 20 CABLE DE F. O. UTILIZADO POR ALCATEL	116
FIG. 21 CABLE DE F. O. UTILIZADO POR ALCATEL	117
FIG. 22 HISTOGRAMA DE LA PARTE DE ATENUACION DEPENDIENTE DE LA TECNICA EN EMPALMES SOLDADOS	121
FIG. 23 ATENUACION DEL EMPALMES EN FUNCION DE LA TEMPERATURA	122

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. COMPARACIONES DE DIVERSOS TIPOS DE CABLES	42
TABLA 2. PLANIFICACION DE ATENUACION A 1300 NM PARA UN SISTEMA DE 34 MBITS	62
TABLA3. VALORES ANCHO DE BANDA CON $\lambda= 1300$ NM	64

CAPITULO 1

PROPIEDADES Y FABRICACION DE LAS FIBRAS OPTICAS

1.1 PRINCIPIOS FISICOS DEL LOS CONDUCTORES DE FIBRA OPTICA

1.1.1 ESPECTRO

El espectro de luz para trabajar en usando un conductor de fibra óptica se encuentra entre los 850 y 1600 nanómetros y las longitudes de onda ideales son los 850, 1300 y 1550 nanómetros de longitud de onda

1.1.2 REFLEXION DE LA LUZ (FIG. 1)

Cuando una onda luminosa incide sobre una substancia una fracción de la onda se refleja, la proporción reflejada es función del ángulo (α)

1.1.3 REFRACCION DE LA LUZ (FIG 1)

Si un rayo luminoso incide con ángulo (alfa) en forma oblicua en una substancia ópticamente menos densa, su dirección de propagación se quiebra y su trayectoria continua en la segunda substancia con ángulo de refracción (beta). Se aplica la ley de SNELL.

$$[\text{SEN}(\alpha)/\text{SEN}(\beta)]=[C0/C1]$$

SUBSTANCIA MENOS DENSA. Aquella que presenta menor velocidad de la luz.

n = Índice de Refracción, Relación entre la velocidad de la luz en el vacío y en una sustancia c_1 , $n_1=c_0/c_1$, entonces para 2 sustancias diferentes la ley de Snell se la puede presentar como: $\text{SEN}(\alpha)/\text{SEN}(\beta) = n_2/n_1$

1.1.4 REFLEXION TOTAL

Este es básicamente el principio usado para usar la fibra óptica como una guía de ondas

Fig. 1. Por ej. si en la ley de Snell $(\beta)=90^\circ$ entonces $\text{SEN}(\alpha)=N_2/N_1$

Todos los ángulos que inciden con ángulo mayor a (α_0) son reflejados en la superficie que separa ambas sustancias, osea que no se propaga en la sustancia menos densa si no en la mas densa. Este fenómeno se llama reflexión total, el cual se da únicamente para el caso antes mencionado de sustancias con diferente índice de refracción y nunca en el caso inverso

1.1.5 APERTURA NUMERICA

El índice de refracción n , depende fundamentalmente de la correspondiente longitud de onda de la luz en el caso del vidrio de cuarzo y de la longitud de onda del infrarrojo, de gran importancia para comunicaciones ópticas, este índice de refracción decrece cuando se incrementa la longitud de onda. (Fig. 1)

En los conductores de fibra óptica ya explicamos que se utiliza el efecto de reflexión total, en virtud de tener los conductores de fibra óptica, un núcleo formado por n_1 , envuelto con un recubrimiento que tiene un índice de refracción n_2 donde se cumple que n_1 es mayor que n_2 para ángulos mayores a α_o total.

Usando la ley de Snell: $\text{SEN}(\theta) / \text{SEN}(90-\alpha_o) = n_1/n_2$

$$\text{SEN}(\theta) = n_1 \cdot \text{COS}(\alpha_o)$$

Usando la identidad trigonométrica: $\text{SEN}^2 + \text{COS}^2 = 1$

Tenemos: $\text{SEN}(\theta) = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$

Donde el máximo ángulo de acoplamiento se llama ángulo de aceptación y $\text{sen}\theta$ máximo se llama *apertura numérica*. Para acoplar al núcleo, un rayo luminoso con ángulo (θ) entre el rayo y el eje de la fibra se rigen por la ley de refracción. Todos los rayos luminosos que inciden con un ángulo menor que $(90-\alpha_o)$, con respecto al eje de la fibra se transmite por el núcleo. En un conductor de fibra óptica la luz se propaga en el núcleo únicamente en determinados ángulos que corresponden a direcciones en las cuales las ondas asociadas al superponerse se refuerzan. Estas ondas susceptibles de propagarse en un conductor de fibra óptica se llaman modos, estos modos son las soluciones a las ecuaciones de Maxwell.

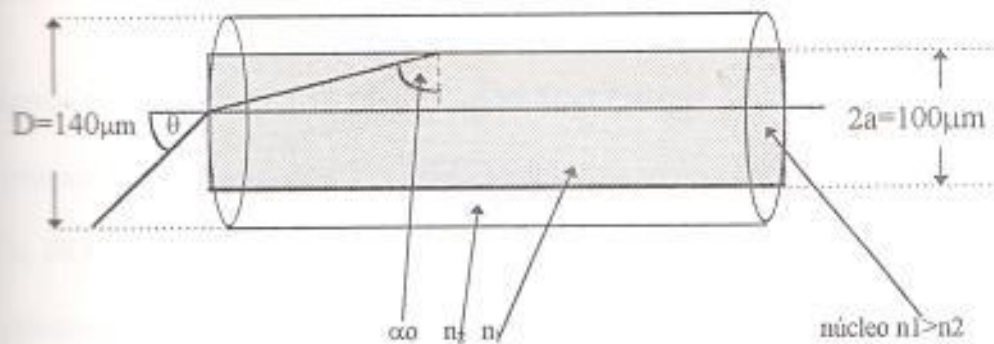


Fig. 1 En la cual se indican todos los parámetros fundamentales de una fibra óptica

Entre los métodos de producción de fibra óptica veremos dos tipos fundamentales:

- El método de doble crisol
- El método de la preforma.

1.2 MÉTODO DEL DOBLE CRISOL

Las fibras ópticas se producen por varios métodos distintos dependiendo del tipo del material que la componen. Una clasificación inicial comprende a las fibras ópticas de plástico, multicomponentes y sílice.

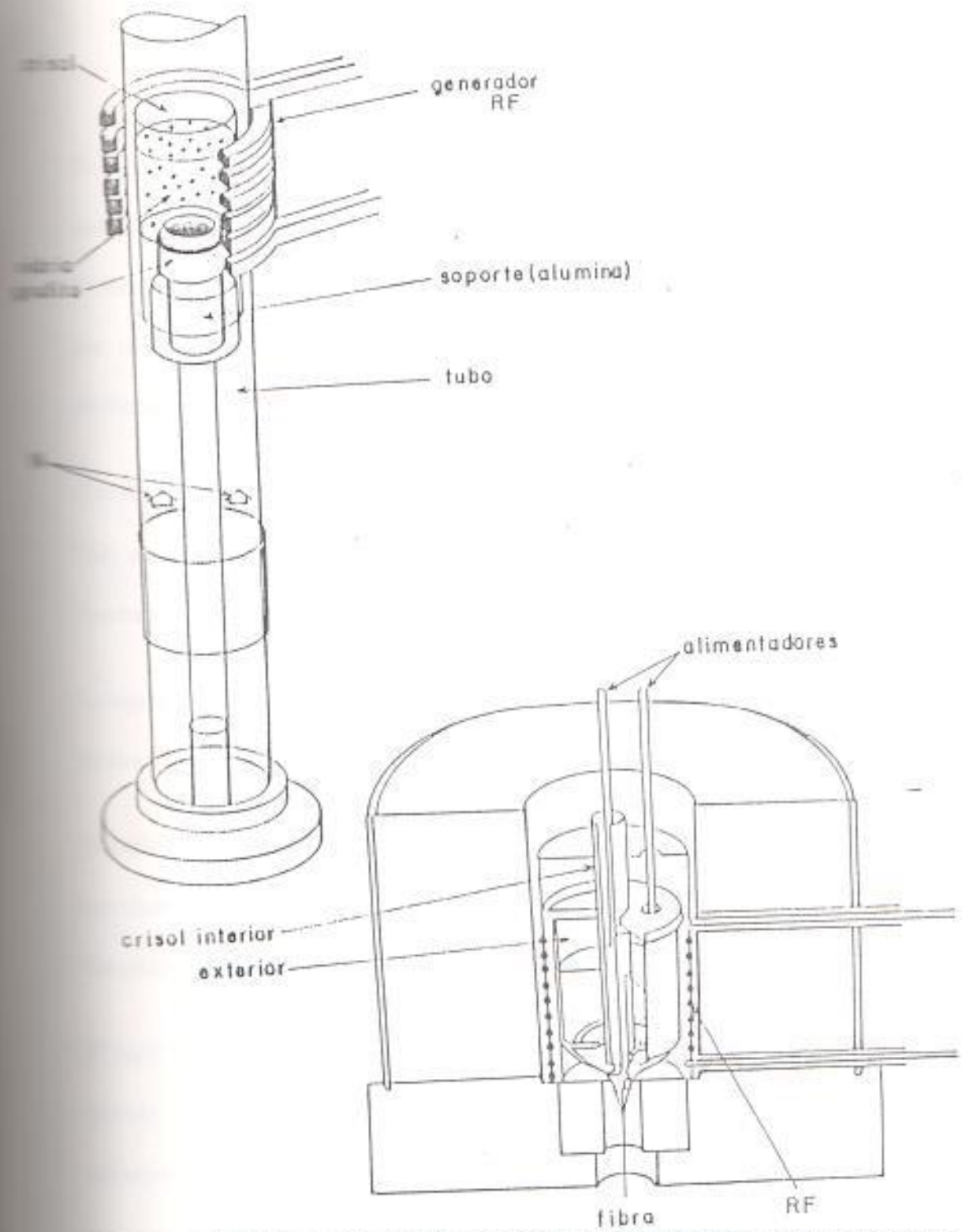
Las fibras ópticas para telecomunicaciones son las de multicomponente y de sílice, si bien estas últimas son las únicas en la actualidad por su alta calidad. El método de doble crisol, que

describimos a continuación, es más interesante por su carácter histórico que por su utilidad actual.

Veremos que la producción de fibra óptica multicomponente es una producción en dos etapas. La primera consiste en producir el vidrio a partir de polvos de alta pureza. La materia prima SiCl_4 , BCl_3 , Na_2 , NO_3 , $(\text{NO}_3)_2$ se mezclan en proporciones apropiadas para obtener el índice de refracción deseado y se purifica mediante intercambio iónico por destilación y extracción de disolventes en el horno de la figura 1.1. El horno se calienta mediante un generador de radiofrecuencia RF de 5 MHz.

A temperaturas superiores a 1300 K los vidrios alcalinos tienen una conductividad iónica suficiente como para producir un acoplamiento entre el campo de RF y el material fundente. Se permite actuar al principio a un calentador de grafito para el calentamiento inicial, dejando al campo de RF el mantenimiento de la temperatura deseada. Solo el material fundido recibe la energía del campo.

El crisol se mantiene frío mediante una corriente gaseosa o de agua. Sobre las paredes del crisol se crea una capa de sílice sólida debido al salto de temperatura lo que ayuda a aislar el material fundido.



• Figura 1.1. METODO DE PRODUCCION DE FIBRAS OPTICAS MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO DEL DOBLE CRISOL.

En la primera etapa del desarrollo de este método (mitad de la década del 60 en Inglaterra) se usaba un crisol de Platino, pero la alta atenuación de las fibras llevo a pensar en una migración de iones ferrosos y cúpricos desde el crisol hacia el material fundente. Se cambio entonces por un crisol de silicio puro, cuya temperatura de fusión es mayor que la del vidrio multicomponente.

Con el propósito de homogeneizar el material, para disminuir los esparcimientos de Rayleigh y Mie, se hace burbujear un gas inerte en el material fundido. Elevando la temperatura se disminuye la viscosidad permitiendo a las burbujas alcanzar la superficie.

La segunda parte consiste en el estirado de la fibra óptica. El montaje de La figura 1.1 consiste en dos crisoles concéntricos fabricados de platino o silice.

El orificio inferior del crisol interior se diseña en función de la fibra deseada. El material se introduce en forma de varilla, de forma que la alimentación del crisol puede ser continua. La viscosidad del material se lleva a un valor adecuado para el estirado mediante un horno de RF.

El perfil del índice de refracción se ajusta mediante la posición relativa de los crisoles. Por ejemplo, una separación amplia produce mezcla en los vidrios de ambos crisoles lo cual corresponde a un perfil gradual. La velocidad de estirado como

la temperatura del horno permiten controlar la mezcla de materiales y por lo tanto el tipo de perfil de índice.

El estirado de la fibra óptica se efectúa enrollado a la misma en un tambor giratorio colocado debajo del doble crisol.

Los mejores valores conseguidos con este método son de 4dB/Km para 0,85 μ m y una dispersión modal de 0,6ns/Km. Estas fibras no se usan en Telecomunicaciones, en cambio se prefieren las que se producen por el método de la preforma, un método puesto a punto en la década de los años 1970.

1.3 PRODUCCION DE LA PREFORMA

La producción actual de las fibras ópticas de sílice para telecomunicaciones se realiza mediante el método de la preforma que consiste en dos pasos:

- La fabricación de la preforma (un bastón de sílice de 1m de longitud y 2cm de diámetro cuyo perfil de índice de refracción es idéntico a la de la fibra óptica deseada.
- El estirado de la fibra óptica.

Los métodos comerciales responden a procesos diseñados en distintos laboratorios pudiendo identificarse los siguientes tipos:

- OVD (Outside Vapor deposition) de la CORNING GLASS WORKS.
- MCVD (Modified Chemical Vapor deposition) de la BELL LABS.
- PCVD (Plasma Activadas Vapor deposition) de la PHILIPS.

- VAD (vapor Axial Deposition) de la NIPPON TELEPHONE & TELEGRAPH.

Si bien las fibras ópticas están constituidas por sílice (SiO_2), el mismo en forma natural tiene una alta concentración de óxidos metálicos. Por ello, mediante reducción, clorinación y destilación con C y Cl se logra su purificación, de forma tal que partiendo de ($\text{SiO}_2\text{Fe} + \text{C} + \text{Cl}_2$) se llega a ($\text{CO} + \text{FeCl}_3 + \text{SiCl}_4$).

Tanto el CO como el FeCl_3 son deseados de este proceso con lo que se elimina el contenido de FE en el SiO_2 y se obtiene SiCl_4 (tetracloruro de Silicio) como material base para la producción de la preforma. Si bien el SiCl_4 es líquido a temperatura ambiente se trabaja en la fase de vapor para lograr un mejor control en la producción, de forma que mediante oxidación o hidrólisis se obtiene nuevamente el SiO_2 .

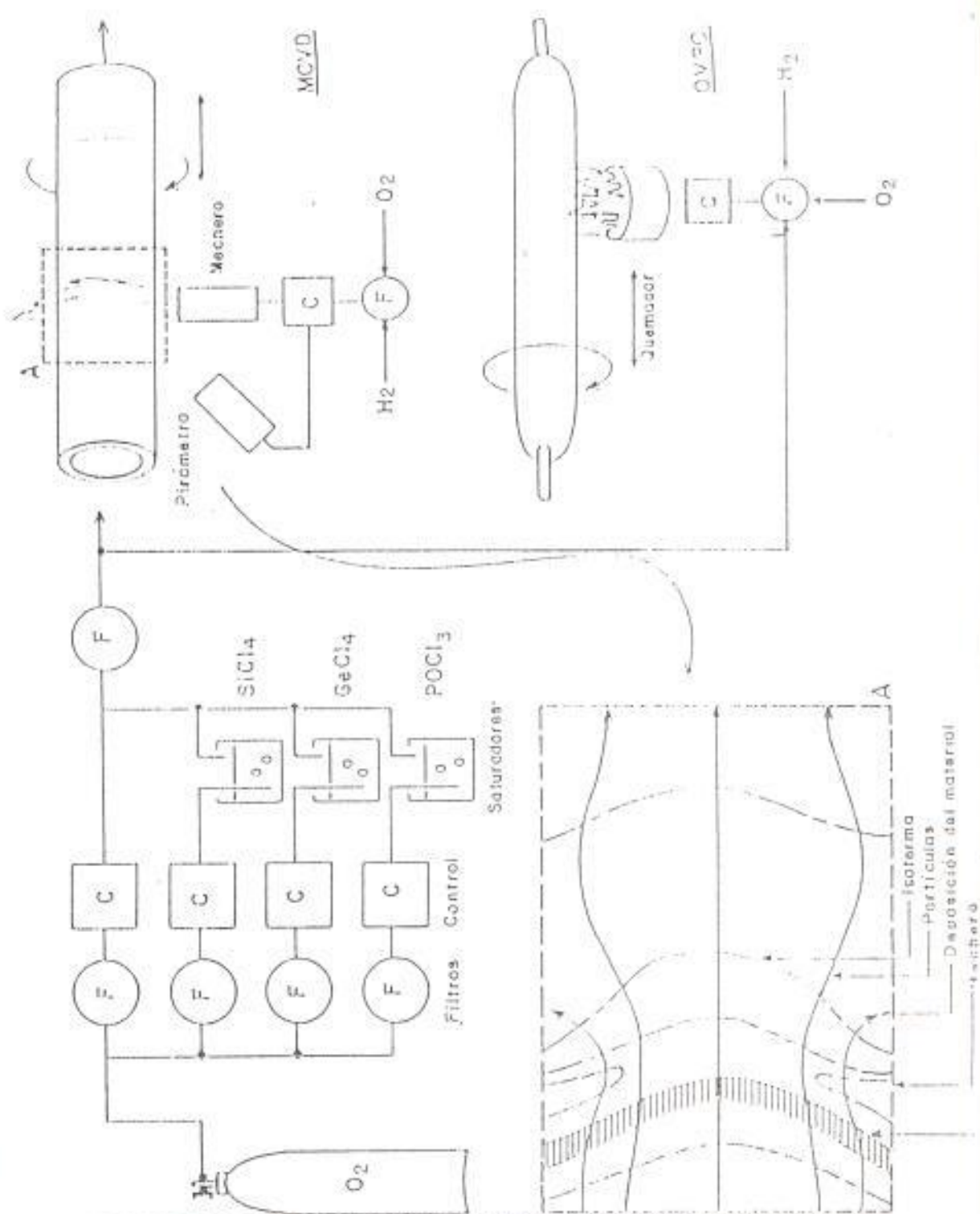
En la figura 1.2 se muestra el proceso de producción de MCVD y OVD. A partir de una corriente de oxígeno molecular O_2 , la cual es filtrada y controlada en su densidad de flujo, se procede el "burbujeo" en saturadores. El O_2 es un gas a temperatura ambiente, mientras que el contenido de las botellas (SiCl_4 , GeCl_4 , PCl_3 , etc) son líquidos. Se tiene entonces una corriente de O_2 con moléculas de cloruros. El control de flujo permite dosificar la densidad de cada compuesto en la reacción. La proporción de ellos da lugar al índice de refracción deseado, así por ejemplo mientras el Ge y P incrementan al índice de refracción el B lo reduce. Hasta aquí ambos métodos de producción son idénticos.

Para el método MCVD la deposición se realiza sobre un tubo de cuarzo puro que actúa de sustrato. Por ejemplo el tubo fabricado por Heraeus de Alemania Federal tiene 1m de longitud y un diámetro exterior de 20 o 25mm, con tolerancia de 0,8mm. La pared tiene un espesor de 2 o 3mm respectivamente con tolerancia de 0,3mm. El peso es de 25gr. Otro fabricante es la General Electric de EEUU con dimensiones similares pero no idénticas, en este caso se indican contenidos de OH en el cuarzo de 3 ppm (partes por millón).

El tubo se coloca en un torno para el proceso de producción. La oxidación en el Método MCVD se produce debido a la elevada temperatura interior del tubo lograda mediante la hidrólisis de una llama de $H_2 + O_2$. La reacción de oxidación es:



Siempre resulta como subproducto de la reacción el Cl_2 que es un gas a temperatura ambiente y se extrae mediante una bomba de vacío, mientras que los óxidos son sólidos y se depositan en la cara interior del tubo formando una fina capa cristalina.



• Figura 1.2 METODO DE PRODUCCION DE FIBRAS OPTICAS MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO DE FABRICACION DE UNA PREFORMA.

Para mantener una deposición homogénea se hace girar al tubo en el torno y se mueve la llama que cataliza la reacción en forma longitudinal a una velocidad de algunos mm/seg. La deposición resulta ser capa a capa. El perfil del índice de refracción deseado se logra variando la composición de los reaccionante para cada capa.

La zona de deposición se muestra en la misma figura 1.2 así una ampliación, mediante isotermas y recorridos de partículas. Observemos que la deposición es posterior a la llama debido a que las partículas de la zona de reacción siguen las isotermas. En el método PCVD se crea una zona no isotérmica producida por un generador de RF (2 a 3 GHz y 100 a 500 W).

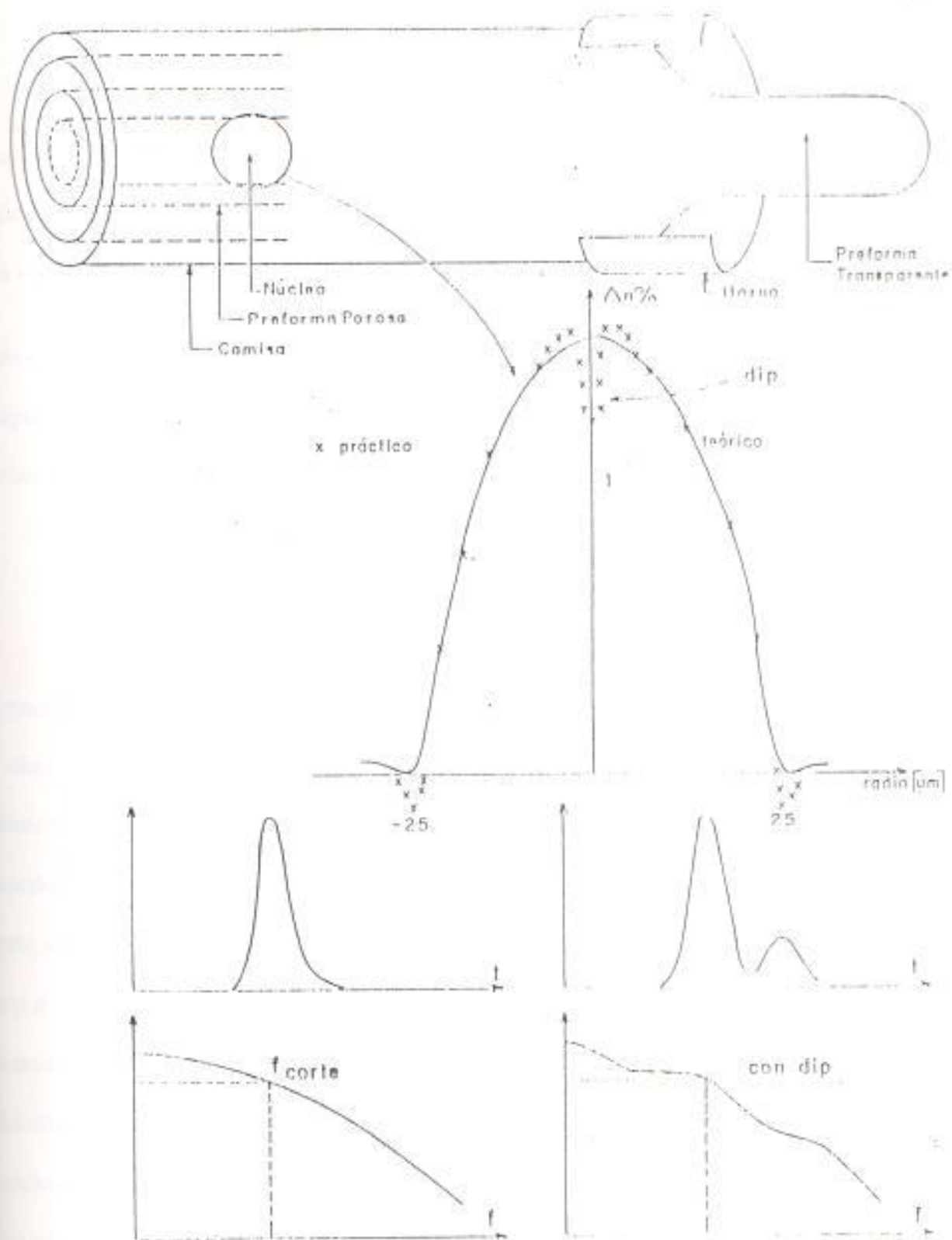
En el método PCVD es similar al MCVD cambiando la forma de calentamiento. El horno de RF tiene una menor inercia térmica lo cual permite capas mas delgadas y en mayor numero, obteniéndose un perfil de índice mas suave, con menos saltos. La deposición en PCVD puede realizarse a temperatura ambiente pero el vidrio resulta agrietado por lo que se prefiere sumergir al sistema en un calentador de grafito.

La BELL LABS a desarrollado una variante del MCVD denominado PMCVD (Plasma-enhanced MCVD) que usa un calentador de cobre colocado luego de la llama para crear un plasma de O₂ en el interior del tubo. La termoforesis del plasma produce fuerzas físicas (isotermas) sobre las partículas de SiO₂ que obligan a la deposición entre la llama y el plasma. Con este método se aumenta la eficiencia de deposición de SiO₂.

El PCVD permite lograr más de 1000 capas en FO multimodo y tiene una eficiencia de deposición muy elevadas (del orden 100% para el SiO_2 y del 90% para el GeO_2). La tasa de deposición es de 0,1 gr/min. Para los métodos MCVD y PCVD pueden aplicarse las técnicas 'ROD IN TUBE' que consiste en fabricar mediante una preforma solamente el núcleo y luego colocar un tubo exterior que da origen al revestimiento.

Como las capas centrales de la preforma no pueden construirse, se realiza un colapsado para compactar la preforma. El mismo se efectúa elevando la temperatura hasta cerca de 2000 C o más. El Ge tiende a evaporarse durante el colapsado, con la consiguiente reducción del índice de refracción y produciendo un "DIP" en la curva de índice (ver figura 1.3); esto se previene colocando C_2F_6 y O_2 en la última fase. Posterior al colapsado se colocara la camisa de sílice que formara el revestimiento (ROD IN TUBE) y por sinterizado se colapsa el conjunto.

La caída del índice de refracción en el centro del núcleo produce una deformación en la característica de transferencia, es decir en el ancho de banda de la Fibra óptica. Este dip central se hace notorio en las Fibras ópticas monomodo donde el diámetro del núcleo es comparable al dip.



• Figura 1.3 COMPACTADO DE LA PREFORMA Y EFECTO DEL DIP DEL INDICE DE REFRACCION SOBRE LA SENAL

El método MCVD tiene la característica de ser lento, de baja eficiencia pero de gran simplicidad y reducido costo lo cual hace tentador para bajas producciones y es usado por los países en desarrollo en América Latina e incluso por muchos países desarrollados.

El método de mayor producción en el mundo es el OVD que es usado por L. Corning G. W. La deposición es por hidrólisis y se genera una preforma porosa (no es sólido macizo). La hidrólisis tiene la siguiente reacción química:



Esta reacción permite reducir el contenido de agua en la preforma porosa mediante la segunda reacción eliminando el gas clorhídrico HCl. Posteriormente se realiza el secado de la misma mediante la circulación por su interior de He + Cl₂ de forma que el Cl reacciona con los OH residuales y forma O₂ + He + 2HCl. Observe que la deposición es en el exterior de un sustrato sólido que se extrae luego de la formación de la preforma porosa y por este agujero se inyecta el gas para el secado. El último paso es el compactado de la preforma porosa.

El método OVD es más complejo que el MCVD pero permite un mayor volumen de producción. También el método VAD es más complejo e interesante. El VAD es usado casi exclusivamente por las empresas japonesas y consiste en el crecimiento axial de una preforma porosa con reacciones idénticas al OVD.

En la cámara de la figura 1.4 se enfrentan los tubos que alimentan los reaccionantes y la preforma en formación. Los quemadores son tubos coaxiales cilíndricos de sílice donde el material reaccionante ($\text{SiCl}_4 + \text{O}_2$) penetra por el tubo central y los gases para la combustión ($\text{O}_2 + \text{H}_2$) por el exterior. El perfil de índice de refracción se controla con la temperatura de la cámara, el flujo del material, la velocidad de rotación que mantiene la uniformidad geométrica y la posición relativa de los quemadores y la preforma.

La cámara de calentamiento posterior produce el colapsado de la preforma porosa dando lugar a la preforma transparente. Como el crecimiento y el colapsado se producen en la misma atmósfera, es más eficiente el control de los contaminantes. Por otro lado la longitud de la preforma puede ser del valor deseado aparentemente sin restricciones de longitud.

1.4 ESTIRADO DE LA PREFORMA

La preforma debe ser estirada para llevarse a las dimensiones normalizadas de las Fibras Ópticas. Por ejemplo de una preforma de 1m de longitud se pueden estirar varios kilómetros de fibra óptica del tipo 50/125.

El esquema del proceso de estirado se muestra en la figura 1.5 y consiste de las siguientes etapas:

- Horno de calentamiento
- Control de diámetro

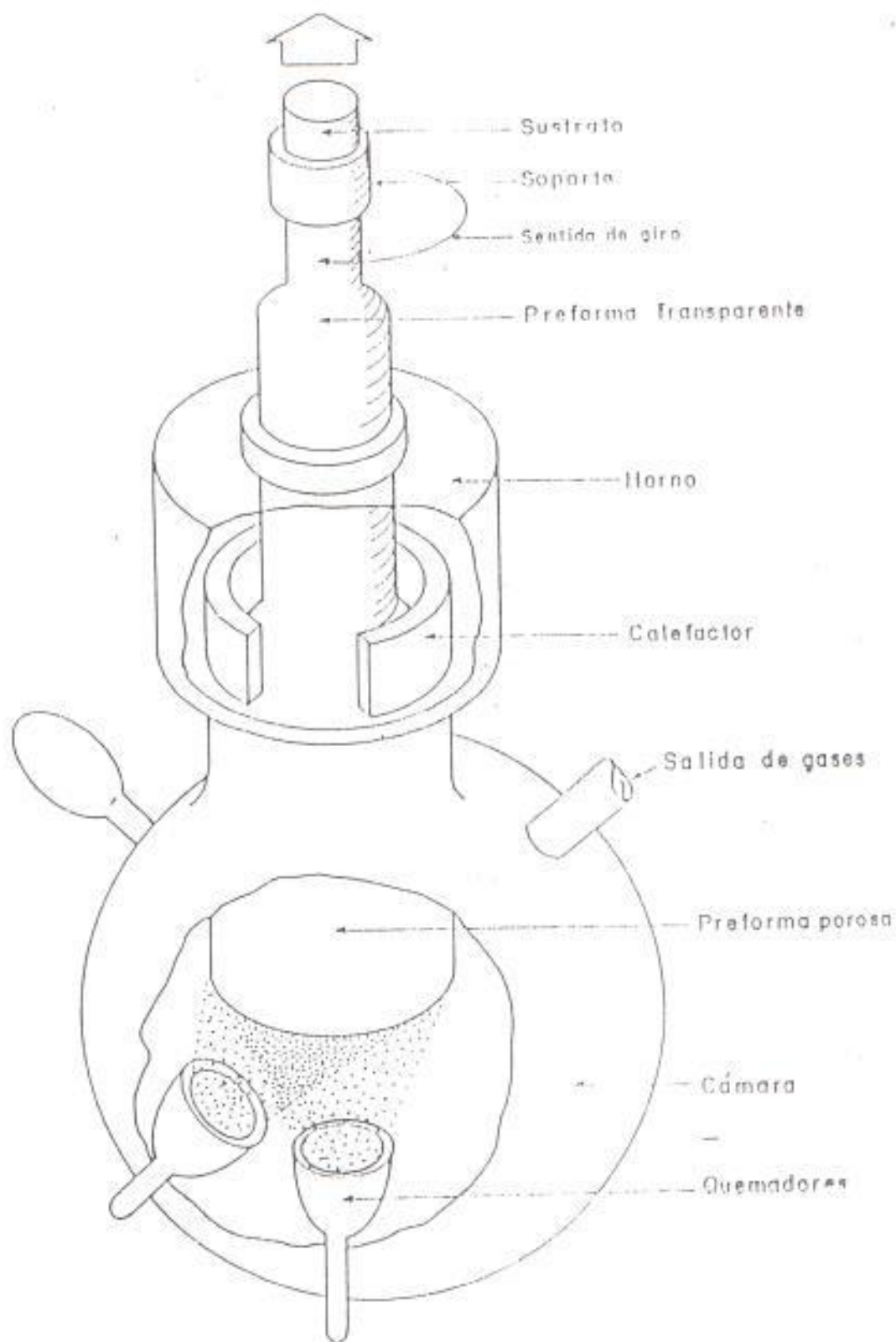


Figura 1.4 METODO DE PRODUCCION DE LA PREFORMA POR DEPOSICION AXIAL EN LA FASE DE VAPOR.

- Colocación del recubrimiento primario
- Horno de secado
- Capstan
- Enrollado

La preforma se coloca en la parte superior de la maquina de estirado que tiene cerca de 4m de altura. El centrado de la preforma en el horno es manual. En este caso se eleva la temperatura del horno para reducir la viscosidad hasta un valor donde fluya por debajo y por gravedad un hilo de fibra óptica.

El horno puede ser de grafito o circonio. El horno de grafito requiere estar inmerso en un flujo de gas inerte (N o He/Ar) para evitar la migración de contaminantes; es enfriado en un cuerpo de agua y controlada de la temperatura mediante un pirómetro. El tiempo de vida medio es entre 1500 y 2000hs y funciona a 30KVA. El horno de circonio se introdujo en 1977 para evitar el uso de un gas inerte.

Para lograr un mejor control se recurre al horno de inducción de circonio que trabaja entre 150 y 400 KHz. En todos los casos se realizara un flujo laminar ascendente a lo largo de la fibra óptica y la preforma en calentamiento dentro del horno para impedir turbulencias térmicas que se traducen en variaciones del diámetro de la fibra óptica. Sin embargo, no se requiere de un gas inerte pues el circonio no reacciona con el oxígeno.

El medidor de diámetro controla el posicionador x-y de la preforma y la velocidad de estirado del capstan a partir de un sistema de control por ordenador. La resolución del instrumento debe ser superior a 1µm y de rápida lectura por lo que se recurre a medidores Láser.

Posteriormente se coloca un recubrimiento primario de silicona o acrilato. Esta capa de 250µm de diámetro nominal y 10% de tolerancias, protege la superficie de la fibra óptica del ataque de iones OH. Los radicales oxidrilos producen la oxidación de la superficie de la Fibra óptica, rompiendo los enlaces Si-O-Si y formando grupos silanol Si-OH. Este proceso produce microfisuras en la superficie con lo que incrementa la posibilidad de fractura de la fibra óptica.

El material sintético (acrilato o silicona) se coloca por estrusión en un embudo que puede ser una punta flexible y que permite que la Fibra Óptica permanezca en el centro debido a la acción de las fuerzas hidrodinámicas.

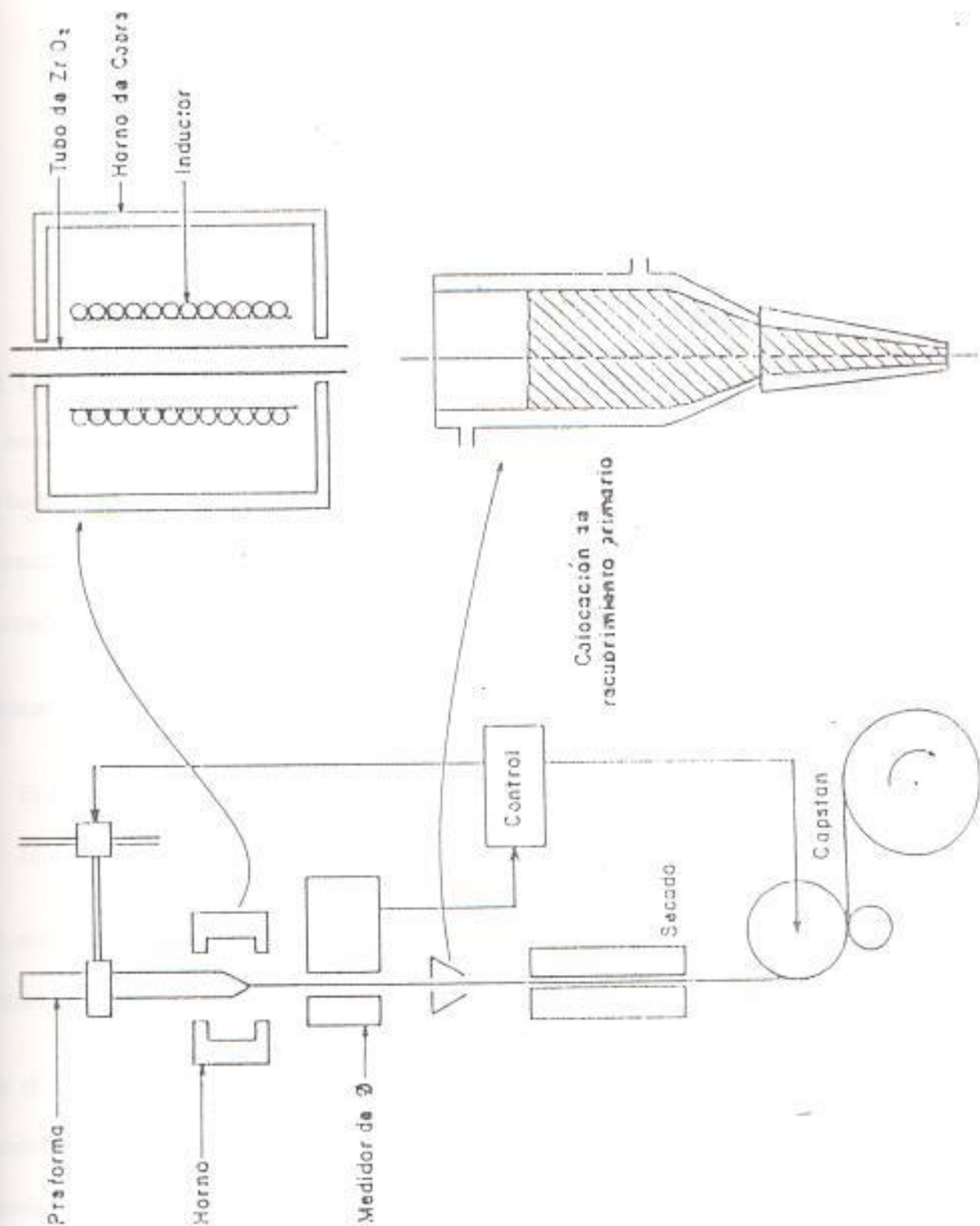
Tenemos que tener muy presente que un cable de fibra óptica sin este recubrimiento de protección se convierte en frágil y quebradizo en algunas horas de exposición al ambiente natural.

Posteriormente se tiene un medidor de diámetro del recubrimiento y de concentricidad de este con la fibra óptica; el mismo se realiza con un Láser y observando el diagrama de interferencia en una pantalla. El material es secado o curado mediante un horno térmico para la silicona con temperatura de 100 a 45 C y rayos UV para el acrilato con longitud de onda de 240 a 400 nm.

Finalmente la fibra se recoge en una bobina de capstan de estirado que trabaja a una velocidad entre 15 y 300 m/min. Muchas veces en este mismo lugar se realiza la prueba de "SCREEN TEST" o "PROOF TEST" que consiste en ejercer una tracción sobre todo el largo de la fibra óptica de forma que se crean y propagan todas las microfracturas posibles en la superficie asegurando que se soportara una fuerza de tracción igual a la de prueba sin inconvenientes.

La fibra óptica en estas condiciones tiene una carga de rotura superior a la del acero (5000 contra 3000 MN/mm²).

Un modelo creado por Mitsunaya permite calcular el tiempo de vida de la fibra óptica en base a los resultados de la prueba de proof test. Para fibras convencionales se encuentran que se tienen $7,5 \cdot 10^5$ roturas espontáneas en 30 años de vida de un cable por cada 2 Km. de longitud.



• Figura 1.5 DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL PROCEDIMIENTO DE ESTIRADO DE LA PREFORMA PARA OBTENER LA FIBRA OPTICA.

CAPITULO 2

CABLES DE FIBRAS OPTICAS

2.1 COMPONENTES DEL CABLE OPTICO

El recubrimiento primario de acrilato o silicona no es suficiente para asegurar el mantenimiento de las propiedades ópticas de las fibras ópticas durante la vida útil. Para elevar la resistencia a la tracción y a los esfuerzos mecánicos transversales, mediante el principio de reparto de carga, se acude a la colocación elástico como poliamidas (Nylon), poliéster, poliuretano, etc.

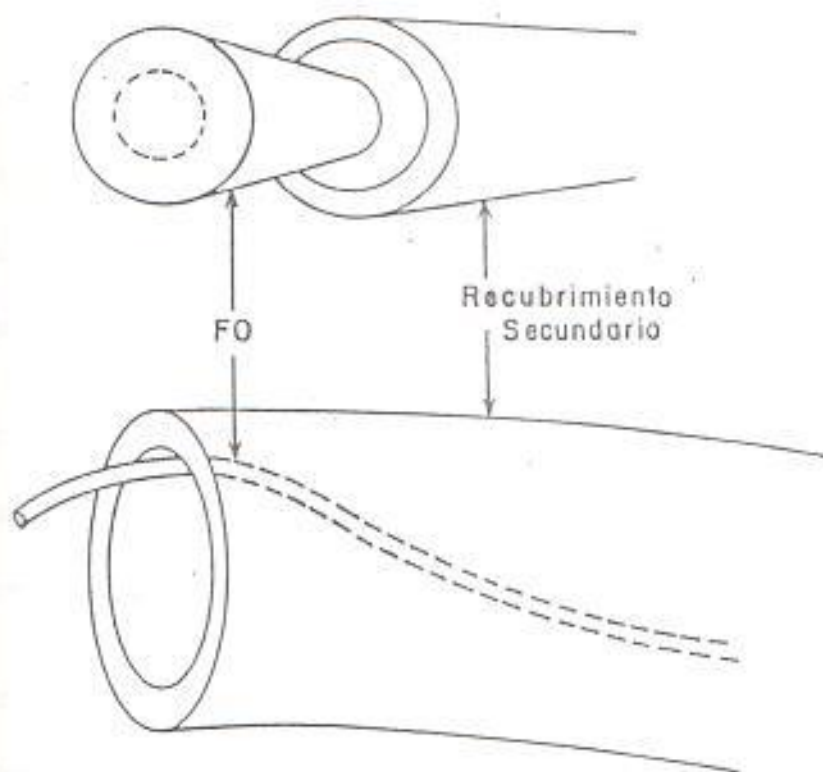
Existen dos formas básicas de acuerdo a la figura 2.1 de recubrimiento secundario:

- El adherente (TIGHT)
- El suelto (LOOSE)

En el tipo suelto se construye un tubo holgado con la fibra óptica en su interior, el espacio libre entre las paredes del tubo actúa como aislante mecánico.

En el adherente el tubo es mas pequeño y el espacio se completa con un material de bajo modulo elástico, como la goma silicona, que actúa de amortiguador (BUFFER) para el movimiento de la fibra óptica, distintas variantes sobre estos dos tipos buscan aumentar el numero de fibras ópticas en un reducido espacio.

a) Recubrimiento simple



b) Recubrimiento múltiple

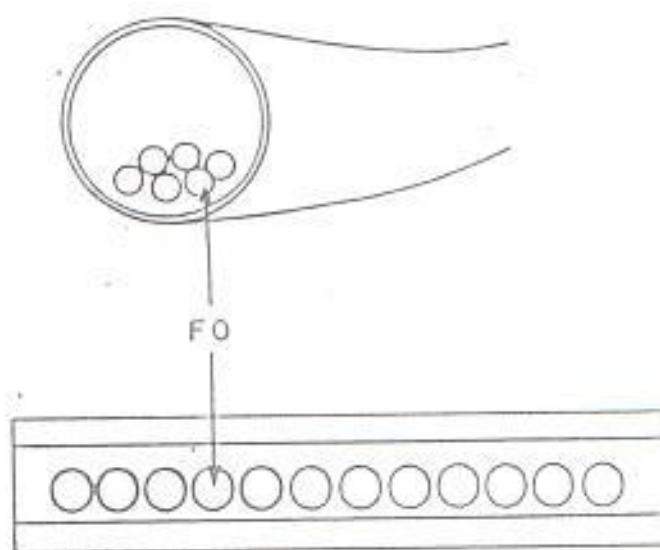


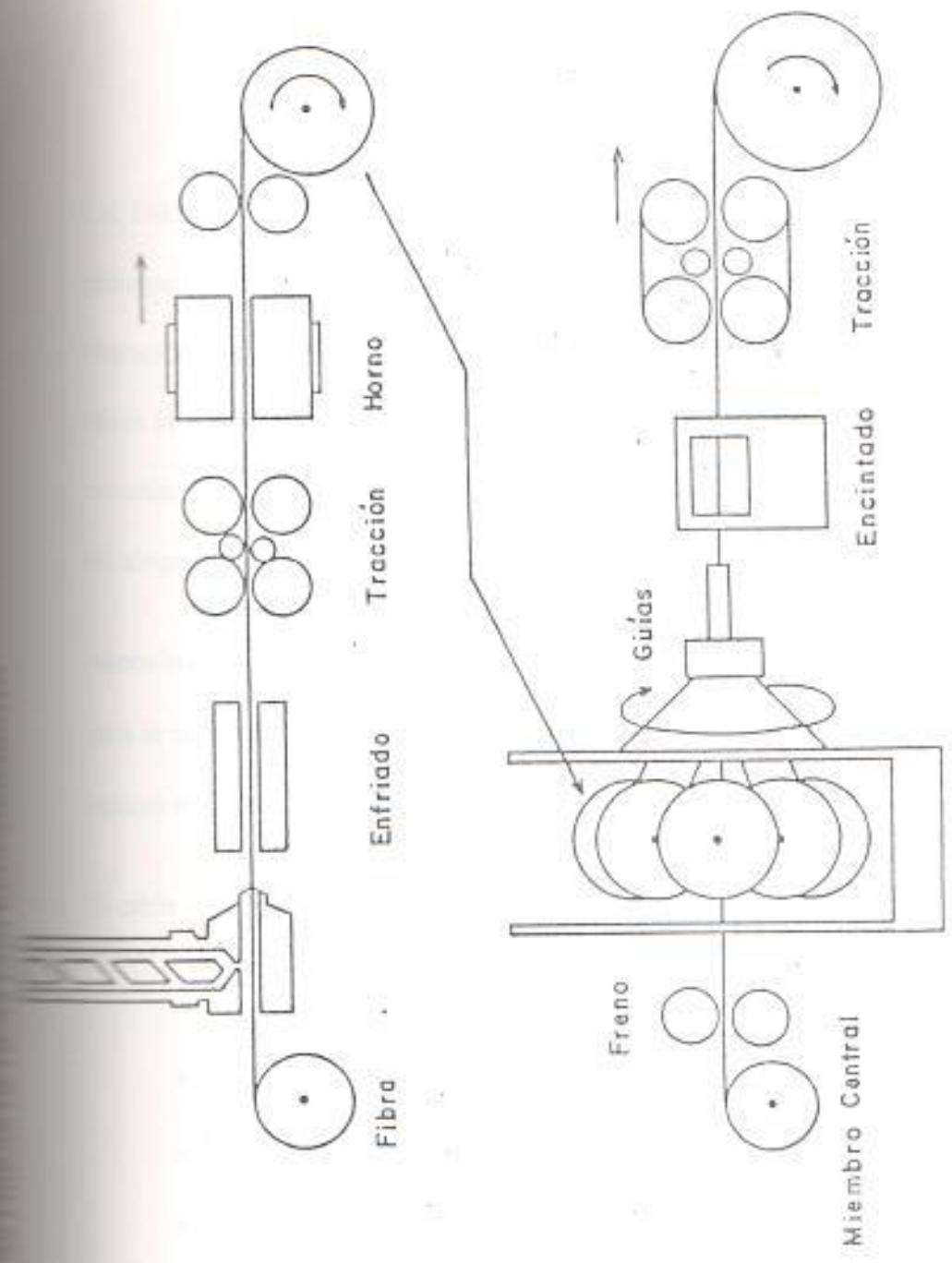
Fig. 2.1 DISTINTOS TIPOS DE RECUBRIMIENTO SECUNDARIO (ADHERENTE Y
SELTO) EN CONFIGURACION SIMPLE Y MULTIPLE

Desde el punto de vista del diámetro exterior la protección suelta es mayor (2mm) que la adherente (0.9mm). Pero las sollicitaciones transversales y las dilataciones o contracciones por la variación de temperatura se transmiten desde el recubrimiento a la fibra óptica en el adherente. Sin embargo, la protección en los extremos del tubo es mas débil en el suelto.

El recubrimiento secundario se realiza en una línea de extrusión, la que consiste de una cabeza estrusora alimentada desde una tolva con el material sintético. Mediante un motor unido a un huso (tornillo sin fin) se transporta el material a lo largo de varios estados de calentamiento.

La cabeza coloca el material fluido en forma de tubo holgado o adherido a la fibra óptica. Luego con una batea con agua se enfría y se tracciona hacia el rollo. Tal procedimiento se muestra en la figura 2.2.

La línea puede estar preparada para manejar varias fibras ópticas y para colocar un gel de relleno (jelly filling) tixotropico para impedir la penetración del agua o humedad dentro del tubo suelto. Hoy día estos materiales actúan como centros de absorción de H para fibra óptica en la segunda ventana.



En 1983 se encontró que el H reacciona con las fibras ópticas y aumenta la atenuación principalmente mas allá de 1um. Las fuentes de H son la degradación de polímeros, la liberación desde metales (retienen H en trampas formadas por granos o dislocaciones; el Al libera H a 20 C y el acero por encima de 120 C), la corrosión galvánica (los hilos de acero recubiertos de zinc con el agua de mar crean un par hierro/zinc que emite H por electrólisis) y las bacterias (fermentan substratos orgánicos liberando H).

Ahora bien las fibras ópticas aun con el recubrimiento secundario están totalmente preparadas para la instalación y para una vida útil segura. Para lograr este objetivo se cablean las fibras ópticas en un conjunto mas apropiado.

El cable consta de los siguientes elementos:

- Separadores de plástico
- Rellenos para dar uniformidad cilíndrica
- Refuerzo de amortiguamiento radial
- Pantalla y cubierta o vaina exterior.

Las propiedades que deben cumplir el conjunto son:

- Alta flexibilidad y bajo peso
- Alta resistencia a la tracción, torsión y vibración
- Fácil identificación de las fibras ópticas y el cable

- Sencillez de limpieza, corte y empalme de fibra óptica
- Buen comportamiento climático
- Alta resistencia química, al fuego y al agua.

El núcleo del cable tiene tal variedad que una clasificación resulta difícil; sin embargo, podemos intentar un agrupamiento de la siguiente forma basadas en los ejemplos de la figura 2.3:

- Cable monofibra o bifibra (A,J)
- Cable multifibras con recubrimiento adherente : simple y múltiple (B,C)
- Cable multifibras con recubrimiento suelto: simple y múltiple (D,E,F,G)

Por otro lado, la vaina o cubierta del cable responde al método de instalación por lo que se puede decir:

- Cubierta para cable por conducto (B,G)
- Cubierta para cable aéreo (D,I)
- Cubierta para cable enterrado (C,E,H)

Como elemento de tracción se han usado hilos de acero, monofilamentos de plástico o fibras textiles o de vidrio. La elección se fundamenta sobre la forma de instalación.

Por ejemplo, los cables instalados en conductos requieren una tracción durante la instalación pero su vida útil transcurre casi sin stress mecánicos.

El tendido en conductos lleva una fuerza de tracción que se incrementa con el coeficiente de fricción entre la cubierta y el ducto. En ductos rectos el incremento es lineal con la longitud y en las curvas es exponencial.

En los cables aéreos en cambio, el elemento de tracción debe soportar fuertes esfuerzos durante la vida útil debido a la acción del viento, nieve, etc.

Cuando se usan hilos de acero se debe recordar que la rigidez a la flexión del hilo de acero es proporcional a la cuarta potencia del diámetro por lo que se recomienda como elemento de refuerzo hilos trenzados en lugar de una única varilla lo cual permite mayor flexibilidad al cable.

En los núcleos de "cables dielécticos" (libres de metales) se usan monofilamentos como el políester aromático (Kevlar de la DU PONT), hilaza o aramida que tiene una relación entre la resistencia mecánica y el peso 3 veces superior a la de los hilos de acero pero a un costo muy superior.

El cable puede estar relleno de un gel que impida la propagación del agua o humedad, debe contemplar la estanquidad del agua, la manejabilidad, la aceptación por parte del personal, la

facilidad de colocación, la inflamabilidad, resistencia al cizallamiento, compatibilidad de los compuestos y el comportamiento frente al cambio de temperatura.

Los materiales de relleno son el petróleo o el polibutano al 65% con aditivos (densidad de 0,908 gr./cm³).

El aceite tixotropico de relleno es químicamente neutro; en la gama de -30 a + 70 °C no se congela, no fluye y es limpiable.

La producción del cable se realiza en la maquina reunidora de la figura 2.2. La reunidora o cableadora consiste en una jaula cilíndrica donde se colocan las bobinas de fibra óptica, los conductores de Cu, rellenos y separadores y se reúnen en forma helicoidal sobre del miembro central.

Luego se encinta el conjunto para darle rigidez cilíndrica y se enrolla en un carrete. El paso posterior es colocar la vaina exterior del cable en una estrusora apropiada.

Los materiales alógenos, como el polietileno PE producen gases tóxicos, corrosivos y denso humo al ser calentados o sufrir incendio. Las cintas de Al o acero son excelente barrera contra el fuego pero dan rigidez al cable.

Otros materiales que podrían usarse son inorgánicos (amianto o fibra de vidrio) u orgánicos (poliamidas). La cubierta del cable es la primera defensa y debe contener aditivos que al calentarse se descompongan en productos inofensivos.

Por ejemplo, la alumina trihidrata ($\text{Al}(\text{OH})_3$) libera el 30% del peso en agua con temperaturas entre 160 y 260 C, en una descomposición endotérmica. El agua desprendida extingue la ignición, absorbe calor y desaloja oxígeno.

Se ha adoptado el PVC (cloruro de polivinilo) como vaina exterior para cables en túneles, galerías o interiores de edificios, pero el PVC, que retarda la llama, produce un denso humo negro que crea pánico y genera gases corrosivos que encarece la reparación de equipos eléctricos.

Hoy día se prefieren los materiales libres de halógenos que se caracterizan por el:

- Índice de oxígeno que es la mínima concentración de oxígeno (9% de volumen) en una mezcla de nitrógeno que mantiene la combustión
- Índice de temperatura crítica que es la temperatura a la cual en índice de oxígeno es 21% en el aire a temperatura ambiente.

La IEC-331 indica que la prueba de resistencia a la llama debe realizarse en 3 horas de exposición a 750 C. Hoy día suele incluirse un pico de 10 min a 1000 C seguidos por 5 min de

un rocío de agua a 15 lt/min. Un cable con cubierta PAL retarda el efecto de la llama sobre la fibra óptica; sin embargo se comprueba que el recubrimiento primario de acrilato resiste la llama mientras que el de silicona se destruye en 30 min.

Para fibras ópticas que deben trabajar en alta temperatura se han desarrollado recubrimientos de aluminio que soportan de 200 a 350 C continuos.

2.2 EJEMPLOS DE CABLES OPTICOS

Describamos por ultimo los diferentes modelos de cables que se muestran en la figura 2.3 los mismos no son exclusivos de las firmas indicadas, su procedencia solo se indica a manera de referencia.

2.2.1 CABLE MONOFIBRA

Este tipo de cable consta de una sola fibra óptica con revestimiento de 125µm. El recubrimiento primario es del tipo adherente de 0.9mm de diametro y se completa con un miembro de tracción radial de Kevlar y una cubierta exterior de PVC o PE.

Con este esquema de cable monofibra pueden construirse cables de 2 fibras ópticas uniendo en forma de 8 ambas fibras ópticas uniendo en forma de 8 ambas fibras ópticas y hasta cables de 4 fibras ópticas encerrando en una única vaina exterior 4 cables monofibra.

2.2.2. CABLES A GRUPOS (PIRELLI ARGENTINA)

Este cable es usado en el Cinturon Digital Buenos Aires CIBIDA de la ENTEL-ARGENTINA.

Consiste en una miembro central de tracción (7 hilos de acero de 0.9 mm galvanizado y aislados en PE), conductores de cobre (4cuadretes de Cu de 0.9 mm de diámetro aislado en PE), 6 grupos de FO con un alambre central de acero de 0.95 mm y recubierto el grupo por cintas de plástico. Los cables contiene entre 8 y 60 Fibras ópticas y el diámetro esta entre 22 y 25 mm con un peso entre 410 y 580 Kg/km. Las fibras son del tipo multimodo con un índice gradual con diámetros de 50/125 μm , trabajan en la primera ventana (0.85 μm) y tiene un recubrimiento adherente a 0.9 mm. La atenuación es inferior a 3 dB/Km y el ancho de banda superior a 800 MHz/Km.

2.2.3. CABLE A CINTAS (BELL LABS)

Este cable consiste en 12 cintas de 12 fibras ópticas cada una lo cual permite formar un cuadrado de 144 fibras.

Este modulo tiene una estructura helicoidal. La cubierta consiste en dos capas de hilos de acero con helicoicidad opuesta y PE exterior. Obsérvese que el elemento de tracción se encuentra en la periferia del núcleo del cable.

2.2.4. CABLE AEREO

La fibra óptica tiene dos capas de acrilato, la exterior con mayor resistencia mecánica y admite colorantes. El tubo tiene un diámetro exterior de 1.4 mm si contiene una fibra óptica y de 3mm para 10 fibras.

El espesor del tubo es del 15% del diámetro exterior. El tubo esta relleno de aceite isotropizado que entre -30 y 70 C no congela y químicamente neutro. El relleno del cable es poli-isobutileno que mejora al petrolato.

En el caso de la figura se muestra un cable aéreo de 6 fibras con el miembro de sostén adherido en la cubierta de PE en forma de 8.

2.2.5. CABLE FRANCES

Este tipo de cable consiste en módulos de hasta 10 fibras. Es un cilindro ranurado helicoidalmente con un alambre de acero en el centro.

El cable de la figura consiste en 7 módulos (cable de 7 fibras), observe que el miembro de tracción consiste en una cinta de acero exterior revestida en PE.

2.2.6. CABLE SUBMARINO

Este cable consta de 6 fibras monomodo para 1.3 μm con atenuación inferior a 0,5 dB/Km.

Tiene un soporte de PE helicoidal y relleno de un gel

La fibra óptica tiene una elongación mayor en el 1,1% al del soporte. El hilo central de Cu sirve para la alimentación. El núcleo del cable está cubierto por dos coronas de alambres de acero rellenas de Cu y con PE exterior. Este tubo sirve como retorno para la alimentación de los repetidores.

2.2.7. CABLE VALTEC-ITT (EEUU)

El miembro central puede ser de acero (19 hilos de acero galvanizado de 3,2 mm de diámetro con PE) o de plástico (poliester con fibras de vidrio longitudinales).

El perfil es estruido con canales abiertos helicoidales. Se colocan hasta 8 fibras por ranura con recubrimiento primario coloreado. Las 6 ranuras están rellenas de gel. La cubierta exterior es de tipo PAL con PE exterior de media densidad 0,95gr/cm³. El cable para conducto tiene un peso de 230 Kg/Km con acero y 198 Kg/Km con plástico; su diámetro es de 15,2 mm. El mismo núcleo para la cubierta de acero para ser enterrado pesa 345 Kg/Km y tiene un diámetro de 17,7 mm.

2.2.8. CABLE DE ENERGIA

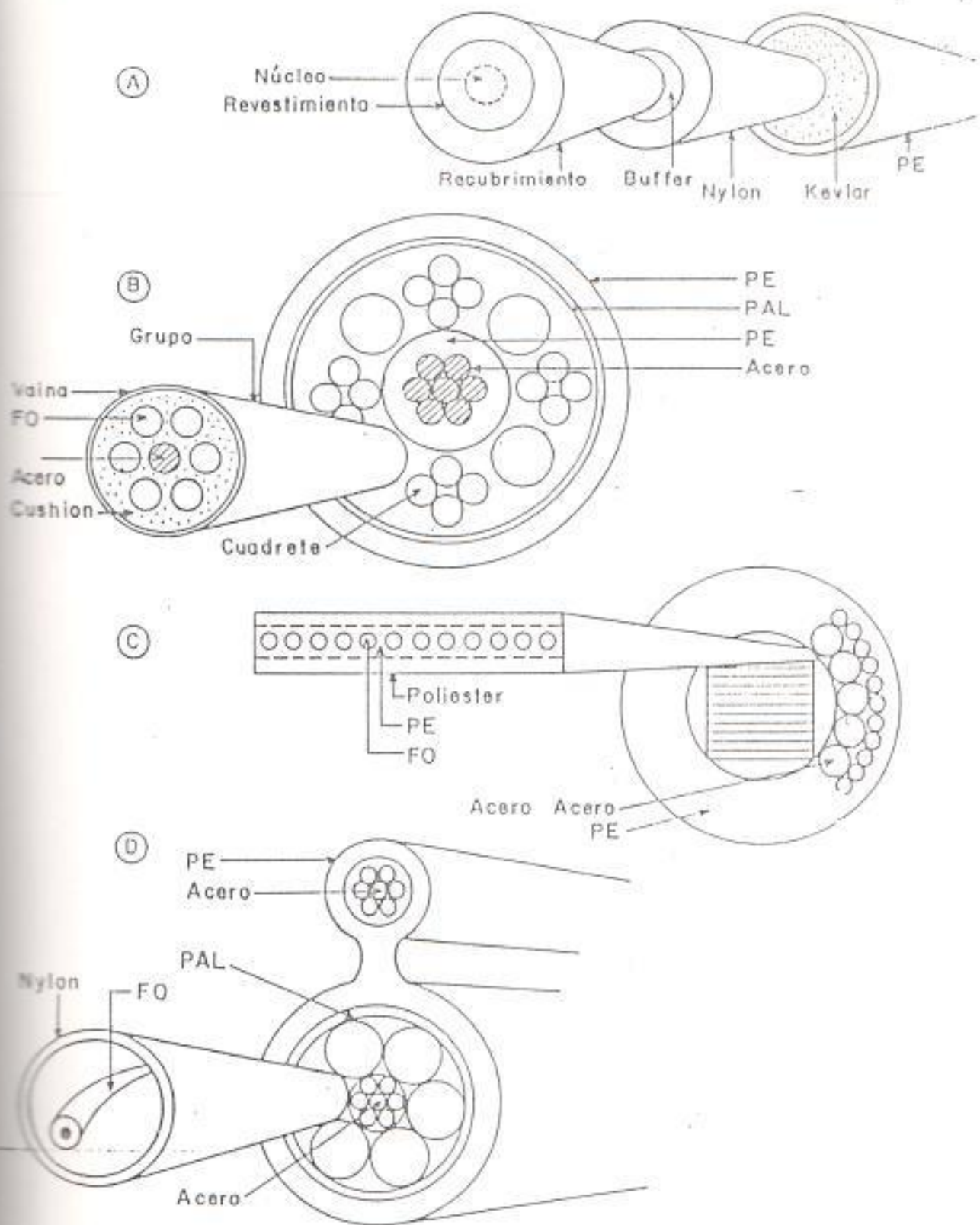
Este tipo de cable es un cable trifasico con cubierta de acero y PE y tiene en uno de los huecos que queda entre cada fase un cable óptico de las características deseadas. Este cable óptico consiste solamente en el núcleo del cable sin la cubierta.

2.2.9. HILO DE GUARDIA (FUJIKURA)

Este es uno de los 4 modelos de hilo de guardia. Consiste en 8 segmentos de Al y acero, con un diámetro exterior de 17,4 mm y con un peso de 769 Kg/Km. Dentro del tubo de Al central se coloca un núcleo de cable óptico.

2.2.10. CABLE PARA EDIFICIOS (FUJIKURA)

Consiste en un cable de 2 fibras y un alambre central de acero. Las dimensiones exteriores del cable son de 10 x 5 mm. La cubierta exterior es de PVC, pesa 40 Kg/Km y soporta una carga máxima de 40 Kg.



• Fig. 2.3.1. DISTINTOS TIPOS DE CABLES CON FIBRAS OPTICAS

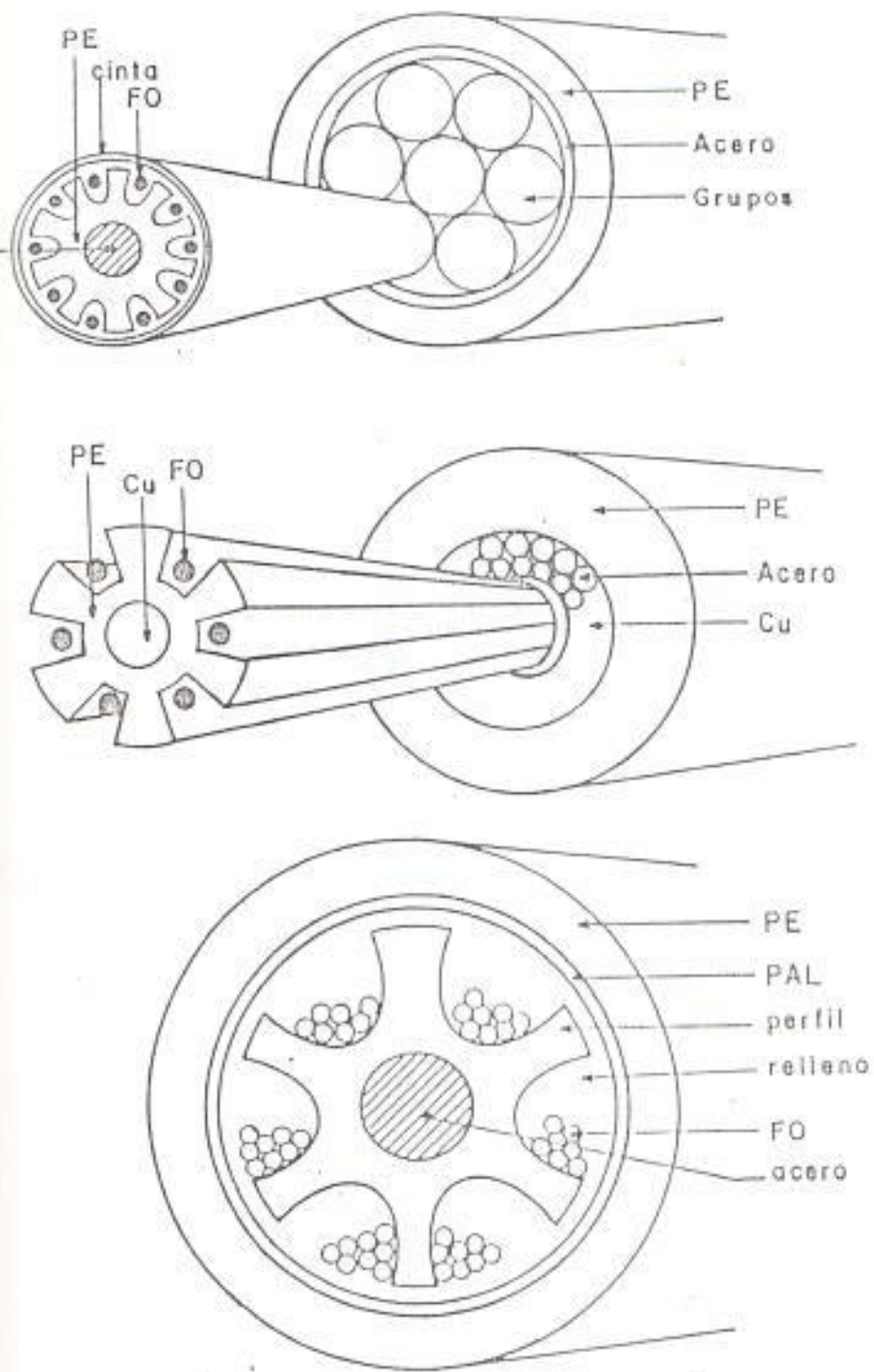
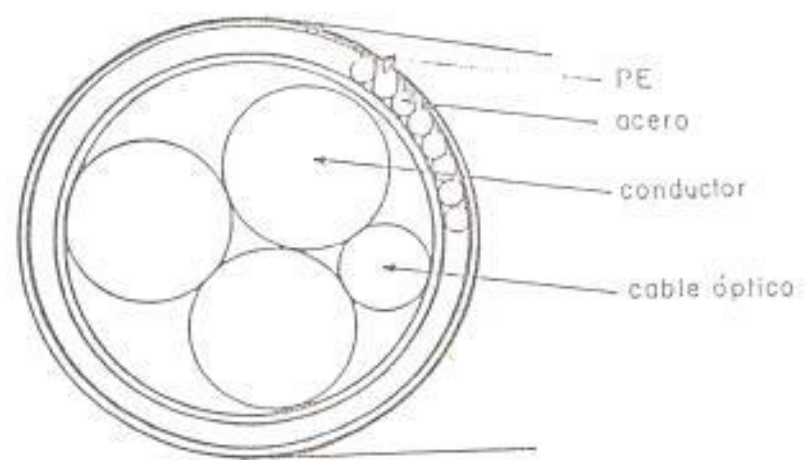
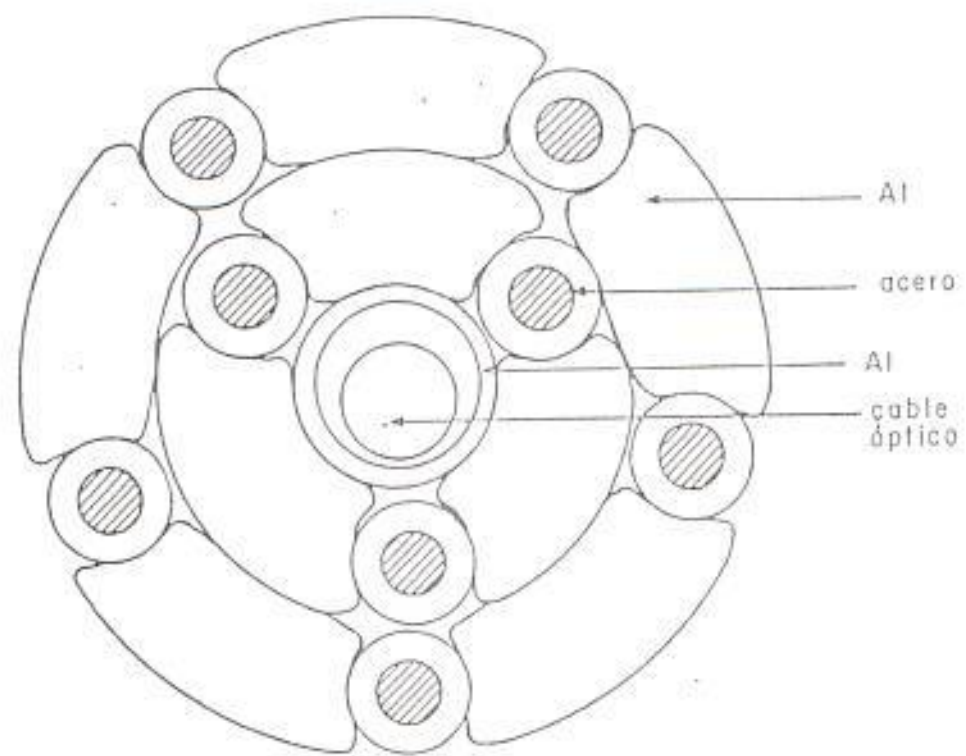


Fig. 2.3.2 DISTINTOS TIPOS DE CABLES CON FIBRAS OPTICAS

H



I



J

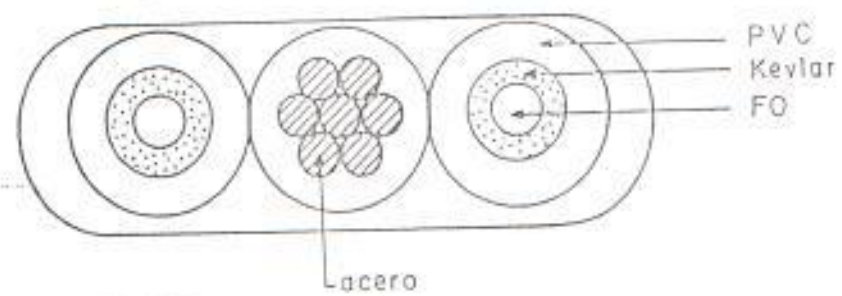


Fig. 2.3.3 DISTINTOS TIPOS DE CABLES CON FIBRAS OPTICAS

CAPITULO 3

INSTALACION DE CABLES CON FIBRAS OPTICAS

3.1 INSTALACION EN CONDUCTOS Y CANALIZACIONES

Como regla general digamos que todos los métodos de instalación deben permitir hacer uso de herramientas convencionales. Entre los cuidados más importantes se tendrá en cuenta que nunca deberá excederse la carga máxima del cable debido al peligro de rotura de la fibra óptica. Durante la instalación es deseable grandes longitudes de tendido para reducir al mínimo el número de empalmes.

La ventaja de los cables con fibras ópticas es el reducido tamaño y el poco peso, lo cual permite el tendido de hasta dos mil metros de cable haciendo uso de los cables convencionales. Esta distancia se reduce cuando la canalización esta en mal estado, tienen excesivas curvaturas o existen muchos cambios de dirección en las cámaras.

Los conductos pueden mejorarse con la colocación de subconductos, lo cual incrementa la eficiencia en el uso de la infraestructura existente ya que permite instalar más de un cable por ducto. Además introduce una superficie de alta calidad, limpia y continua. Existen soluciones de compromiso que permiten colocar tres tubos de 27 mm en el ducto de 100 mm de diámetro. Algunas administraciones han usado 4 tubos.

Los tubos de plástico corrugados transversalmente tienen la particularidad que los pliegues poseen un elevado grado de elasticidad longitudinal plegándose en la dirección del tendido e incrementando alguna veces la fricción.

Existen también subconductos con pliegues longitudinales que permiten un menor contacto con el cable y sirve como canal para los lubricantes. Algunas veces los subconductos, que se proveen en bovinas como los cables de grandes longitudes, tienen colocado una cinta de nylon en el interior para el tendido de cable. Los tubos son anclados en el extremo del ducto mayor mediante piezas estancadas al agua que impide el acceso de agua desde el ducto al subducto.

Para facilitar la instalación el tendido puede realizarse con la ayuda de lubricantes que disminuyen el rozamiento entre el cable y el conducto. Algunos lubricantes muy viscosos pueden llegar a aumentar la carga de tracción. Cuando el tendido se efectúa a mano el lubricante puede llegar a causar problemas al personal si se lo usa en abundancia. En tal caso es conveniente no usarlo.

Fundamentalmente el tendido se efectúa a mano, aunque se han diseñado máquinas neumáticas controladas por microprocesador para ayudar al tendido. Para la instalación se requiere de la comunicación entre cámaras. Pudiendo ser realizadas mediante radiocomunicadores o con un cable de cobre auxiliar.

Como ejemplo queremos realizar una comparación en lo referente a los tiempos de instalación (En unidades horas/hombre) de un cable de 10Km de longitud. Tomaremos un cable multipar de 1200 pares de conductores de cobre de 0.4 mm, un cable coaxial de seis tubos de 2.6 a 9.5 mm de diámetro y un cable con ocho fibras ópticas. Las hipótesis de tiempo de trabajo son:

- Se toman longitudes de tramo típico
- Los grupos de instalación se consideran de seis personas y siete horas de trabajo (un tramo por turno)
- Los grupos de empalme se consideran de 3 personas y 7 horas de trabajo (2 turnos por empalme para multipar y 1 turno por empalme para coaxial y fibra óptica).
- La capacidad de transmisión se indica con sistemas de 2,700 canales FDM para el cable coaxial y de 140 Mbits para el par de fibra óptica.

Se observa que el tiempo de instalación del cable y los empalmes es menor en los cables con fibra óptica que en los convencionales. Una nueva ventaja que se suma a las mencionadas antes.

TABLA 3.1

cable	diametro	tramo	peso	capacidad	instalación	empalme
multipar	70 mm	200 mt.	5,900 Kg/Km	1200 canales	2100 hs/h	2100 hs/h
coaxial	55 mm	300 mt.	2,100 Kg/Km	8100 canales	1400 hs/h	700 hs/h
óptico	25 mm	800 mt.	410 Kg/Km	7680 canales	500 hs/h	250 hs/h

3.2 INSTALACION DE CABLES AEREOS

La instalación de los cables aéreos ópticos difiere de los de Cu en que aquel está diseñado para una elongación máxima. Esto afecta, además del proceso de instalación a la resistencia al viento, la nieve y a cambios de temperatura.

Es aconsejable colocar los cables con FO en la posición más alta del poste ya que soportará así mejor la posterior instalación de otros cables. Los postes deben estar arriostrados para minimizar el movimiento del cable y evitar desplazamientos.

Los cables aéreos con fibra óptica permiten el uso de instalaciones de energía para colocar cables de comunicaciones. Así por ejemplo, puede usarse cables con fibra óptica en redes de alimentación de ferrocarriles, de distribución o transporte de energía, dentro del hilo de guardia.

Muchas veces se desean cables dieléctricos para eliminar cualquier problema de inducción y producir una aislación galvánica entre el transmisor y receptor. Sin embargo, los cables dieléctricos tienen un problema de diseño debido a la diferente contracción y expansión térmica de las fibras ópticas y los plásticos, lo cual obliga al uso de recubrimiento suelto para que la fibra óptica en exceso dentro del cable.

3.3 INSTALACION DE CABLES ENTERRADOS

La instalación de cables enterrados puede realizarse por varios métodos:

- La técnica del arado vibratorio
- El cavado de zanjas o trincheras a mano o con maquinaria
- La colocación de artesas o con perforadoras

El método más conveniente en largos tendidos es la técnica del arado, debido a que el reducido peso y tamaño del cable hace innecesario el zanjeo.

La instalación se realiza con un arado que posee un alimentador en forma de tubo por el cual se desliza el cable y queda colocado en la base del arado. Debe cuidarse la curvatura y la fuerza de tracción sobre el cable, para lo cual puede colocarse un capstan sobre el tubo alimentador del arado.

El recorrido del cable debe considerar el derecho de paso por banquinas de rutas o de vías férreas, teniendo en cuenta posibles construcciones en carreteras o movimientos de tierra con canalizaciones de arroyos. La longitud del cable deber ser lo mas extensas posibles para reducir el numero de empalmes y permitir una distancia mayor entre repetidoras.

En general los cables enterrados estarán rellenos siendo inconvenientes el uso de los cables presurizados.

El equipo electronico se colocara en cajas cerradas con acceso para el personal de mantenimiento y debera tener la facilidad para conectar instrumental de medicion para detectar fallas de servicio electronico o en el cable.

Muchas veces se usa la flotacion del cable mediante boyas para el tendido a nivel de superficie y luego se quitan las boyas para posar el cable en el lecho. El cable debe disenarse para soportar la presion del agua y de las corrientes. Donde se realice pesca o dragado debe indicarse la posicion del cable.

CAPITULO 4

METODOS DE MEDICION

4.1 ATENUACION.

El principal factor a considerar es la atenuación Factor que debe minimizarse para cubrir grandes distancias sin necesidad de una repetidora. La atenuación es un fenómeno producido por la absorción y dispersión.

La magnitud de las pérdidas luminosas depende entre otros factores de la longitud de onda de luz acoplada. Con el fin de determinar rangos de longitud de onda adecuada (baja atenuación), es necesario realizar mediciones. Los métodos de medición de la atenuación utilizados son:

- a) Método de Corte (outback method)
- b) Método de inserción (insertion loss technique)
- c) Retrodispersión.

En el método de corte se determina la potencia luminosa en dos puntos L_1 y L_2 del conductor y L_1 cerca de su comienzo. Cuando se realiza la medición, se mide primero la potencia luminosa P en el extremo L_2 (en Km) y luego L_1 (en Km).

Para la medición en L_1 se debe realizar un corte en el conductor sin afectar las condiciones de acoplamiento entre la fuente luminosa (emisor) y el conductor de fibra óptica.

El coeficiente de atenuación α en dB/Km para el conductor de fibra óptica se calcula con la expresión:

$$\alpha = \frac{10}{L_2 - L_1} \log \left[\frac{P(L_1)}{P(L_2)} \right]$$

1. Atenuación de Rayleigh
2. Atenuación típica del conductor
3. Absorción debida al OH

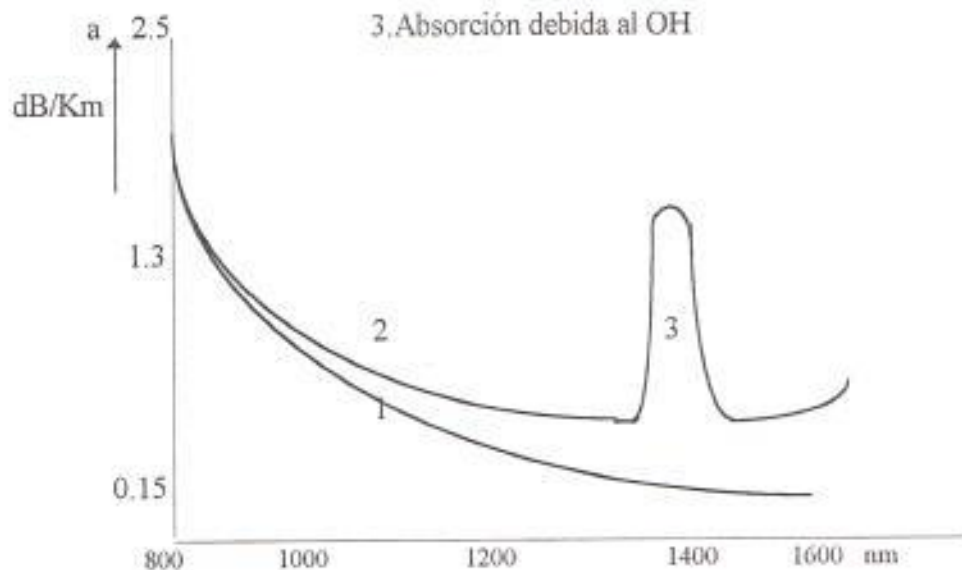


Fig. 4.1 Curva de atenuación de Rayleigh

Este método es del tipo destructivo, ya que es necesario seccionar un corto tramo de conductor de fibra óptica, lo cual tiene sentido en p. ej. cables preconfeccionados (provisto de conectores). Este caso es más ventajoso el método de inserción, en el cual se determina la potencia luminosa en el extremo del conductor de fibra óptica bajo medición para luego compararla con la potencia luminosa en el extremo de un tramo corto de conductor de fibra óptica; este tramo corto se utiliza como referencia y debe tener las mismas características y conformación que el conductor de fibra óptica bajo medición.

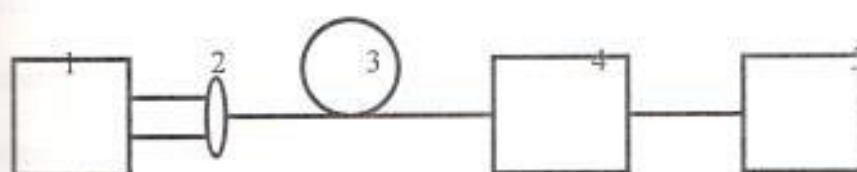


Fig. 4.2 Método de medición de la atenuación por transmisión de luz.

1. Fuente luminosa

2. Optica

3. Conductor de fibra óptica

4. Detector

5. Equipo de evaluación

Cuando se efectúe la medición se debe verificar que las condiciones de acoplamiento al tramo de referencia sean, en lo posible, similares a los del conductor bajo medición. A causa de estas restricciones, son menos exactas y reproducibles las mediciones efectuadas con el método de inserción que las que se obtiene con el método de cortes.

En el método de medición de la atenuación por transmisión de luz (fig.4.2). la luz se acopla al principio del conductor de fibra óptica (lado emisor) luego recorre el conductor y finalmente se mide en el extremo de este (lado receptor).

Se puede considerar como desventaja de este método el que la medición se efectúe en forma de sumatoria sobre el largo total del conductor de fibra óptica sin que se obtenga ningún tipo de información sobre variaciones de la atenuación a lo largo del conductor. Además deben ser accesibles ambos extremos del conductor de fibra óptica.

4.2 RETRODISPERSION

En el método de retrodispersión (back scattering technique) la luz se acopla y recibe en el mismo extremo del conductor de fibra óptica (fig. 4.3).

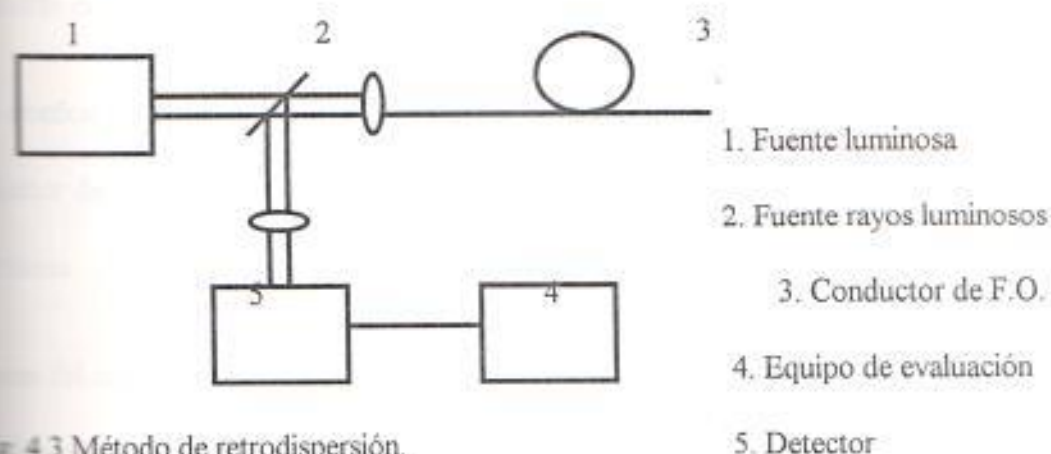


Fig. 4.3 Método de retrodispersión.

Mientras este método suministra informaciones detalladas acerca de la variación de la atenuación a lo largo del conductor bajo medición.

Este método de medición se basa en la dispersión de Rayleigh. Mientras que la fracción principal de la potencia luminosa se propaga hacia el extremo del conductor una pequeña proporción se dispersa retornando hacia el emisor. Esta potencia luminosa retrodispersada experimenta a su vez, una amortiguación en el trayecto de retorno. La luz remanente que llega al principio del conductor, allí se decoupla y se mide por medio de un divisor de rayos (p.ej. un espejo semitransparente).

Con esa potencia luminosa retrodispersada y el tiempo de recorrido en el conductor de fibra óptica es posible trazar un diagrama del cual se desprende la variación de la atenuación a lo

largo de todo el conductor (fig. 4.4). En la pantalla de un osciloscopio se podrá observar fácilmente el recorrido de señal retrodispersada en función del tiempo.

Si el coeficiente de atenuación y el factor de retrodispersión son constantes a lo largo del conductor de fibra óptica, se obtendrá una curva exponencial decreciente desde el comienzo del mismo.

A causa del salto del índice de refracción al principio y al final del conductor de fibra óptica, se retrodispersa allí una gran proporción de potencia luminica que produce un pico al principio y otro al final de la curva.

La diferencia de tiempos entre ambos picos, la velocidad de la luz en el vacío c_0 y el índice de refracción de grupo $n_g \approx 1.5$ en el núcleo permiten calcular la longitud L del conductor de fibra óptica:

$$L = \left[\Delta t \cdot c_0 \right] / n_g$$

- ⇒ L : Longitud del conductor de fibra óptica en Km.
- ⇒ Δt : diferencia de tiempos entre el pico del pulso inicial y el final. en s
- ⇒ c_0 : velocidad de la luz en el vacío, 300000 Km/s.
- ⇒ n_g : índice efectivo de refracción del grupo en el núcleo.

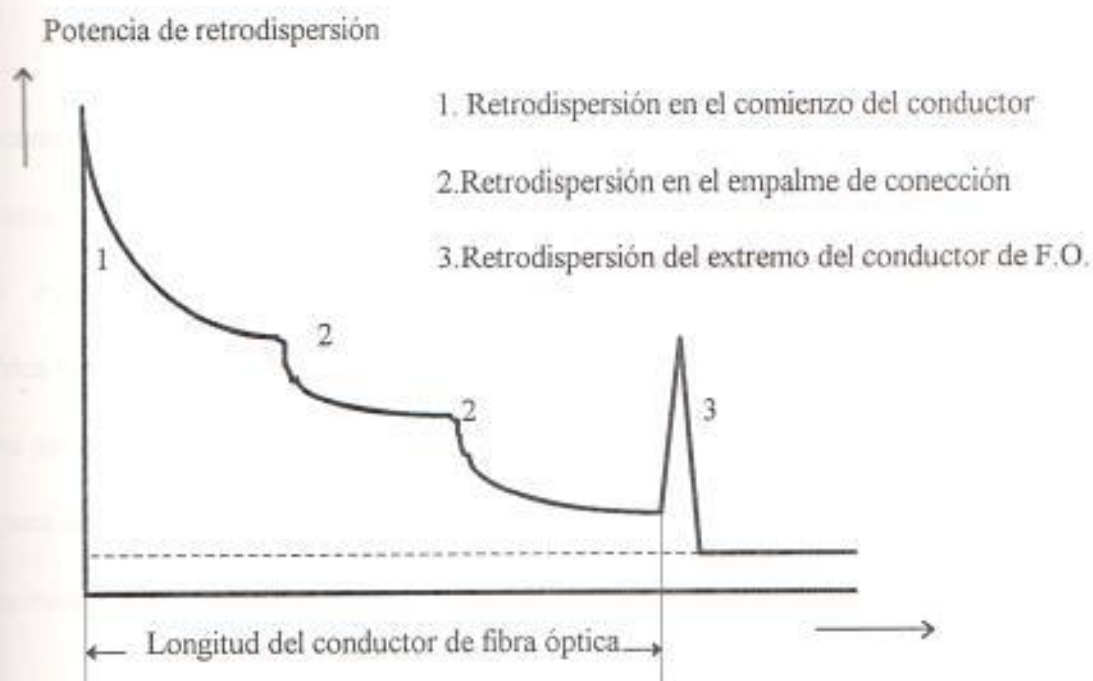


Fig. 4.4 Curva obtenida en una medición por retrodispersión

El coeficiente de atenuación de un tramo parcial de conductor de fibra óptica desde L hasta L' se calcula con la expresión :

$$\alpha = \frac{5}{L_2 - L_1} \log \left[\frac{P(L_1)}{P(L_2)} \right]$$

Si se compara la ecuación precedente con la obtenida en el método por transmisión de luz, se observará que en el presente caso el factor 5 se debe a que la luz recorre al conductor dos veces. Esta ecuación es válida a condición de que el factor de retrodispersión, la apertura numérica y el diámetro del núcleo no varíen a lo largo del conductor de fibra óptica. Al no ser posible asegurar la invariabilidad de estos factores, se recomienda efectuar una medición desde cada uno de los extremos del conductor de fibra óptica y luego promediar los resultados de ambas mediciones.

A causa de la potencia retrodispersada relativamente débil son mayores las exigencias a que debe ajustarse la sensibilidad de los receptores. Para mejorar la señal recibida se calcula el promedio de gran número de valores medidos individualmente. Los instrumentos que trabajan basados en el principio de la retrodispersión se llaman reflectómetros (Optical Time Domain Reflectometer OTDR) o puesto de medición de la retrodispersión. Con esta medición, además de determinar los coeficientes de atenuación, se verifica la localización de todos los puntos de discontinuidades (puentes) y pérdidas ópticas en empalmes (saltos de atenuación por uniones efectuadas con conectores o empalmes fijos) del conductor de fibra óptica.

En la República Federal de Alemania el método de medición de la atenuación por transmisión de la luz está descrito en la norma DIN VDE 0472 sección 252 e internacionalmente en los documentos IEC 793-1-C2. De manera análoga, el método de la retrodispersión está documentado en la norma DIN VDE 0472 sección y en IEC 793-1-C3.

ANCHO DE BANDA

El otro parámetro importante que define características de transmisión, es el ancho de banda.

Aunque un parámetro utilizado en la práctica es el producto de la longitud por el ancho de banda, la medición del ancho de banda constituye una medida de comportamiento dispersivo.

Como se describió anteriormente un pulso que se propaga a lo largo de un conductor incrementa su duración a causa de la dispersión, desde el punto de vista de la frecuencia el comportamiento de la fibra óptica es como el de un filtro pasa bajo.

Se deduce entonces que al aumentar la frecuencia de modulación F_m su amplitud disminuye hasta anularse. Se podría realizar mediciones para obtener una función de transferencias como la mostrada anteriormente, en este caso $H(f_m)$ está normalizado, es decir, se ha dividido para $H(f_m, F_m = 0 \text{ Hz})$ que es el caso en el que no hay modulación. El ancho de banda es aquella frecuencia a la cual la potencia luminosa decae 3 decibelios.

4.4 MEDICION DEL ANCHO DE BANDA

Este tipo de medición depende de las condiciones de excitación de los modos, o sea de la manera en que se acopla la luz.

Existen dos métodos para la medición de B y la función de transferencias. Pero existe una consideración importante debido a la mezcla de modos, todos los modos con capacidad de propagación alcanzan un dato estacionario en función de la característica del conductor de fibra óptica y de sus condiciones de contorno, para el caso de la alternación se obtienen valores proporcionales a la longitud del conductor, lo cual nos ha valido para la medición del ancho de banda.

Es necesario introducir un Factor adicional Γ (gamma) para expresar la dependencia del ancho de banda B con la longitud del conductor de fibra óptica.

$$\left[\frac{B}{B_1} \right] = \left[\frac{L}{L_1} \right]^{-\Gamma}$$

B₁ ancho de la banda del conductor de fibra a L₁

L₁ longitud del conductor del Fibra óptica - en general se toma 1 Km - con ancho de banda

El factor γ , decrece a lo largo del conductor de fibra óptica empezando con un valor de 1 y se estabiliza para una longitud bien grande en 0.5.

Una limitación muy seria se presenta debido a que el factor Γ solo se puede determinar en forma experimental midiendo el ancho de banda del conductor en función de su longitud. Entonces es necesario cortar el conductor en tramos por lo que en general este procedimiento no es aplicable, actualmente no se ha encontrado un método satisfactorio ni teórico ni experimental. La funcionalidad de la instalación de cables de fibra óptica no se ven seriamente afectadas.

Por ello en lo sucesivo se hará mención únicamente del ancho de banda B del conductor de fibra óptica y del valor de la función de transferencias $H(f)$, para lo cual se brindan dos métodos:

- La medición en el ámbito de las frecuencias (frequency domain) y
- La medición en el ámbito del tiempo (time domain)

5. MEDICION EN EL AMBITO DE LAS FRECUENCIAS

Según la definición de la función de transferencia "medición en el ámbito de las frecuencias - método de Wobulación"- consiste en medir la potencia luminica que llega al extremo receptor

de un conductor de fibra óptica habiéndose inyectado en su principio, por medio de un transmisor, una potencia lumínica modulada en amplitud con frecuencia f_m que se incrementa continuamente.

Con los resultados de estas mediciones y utilizando las expresiones precedentes, se calcula el valor de la función transferencia y el del ancho de banda. Si se dispone de un transmisor en el cual se mantiene constante la amplitud de potencia lumínica $P_1 (f_m)$, independientemente de la frecuencia a la cual la amplitud de la potencia lumínica $P_2 (f_m)$ en el receptor cae un valor igual a la mitad de la potencia a frecuencia nula (puntos de media potencia). Este método de medición se puede llevar a cabo en poco tiempo y con un reducido equipamiento, por lo cual es muy apto para la medición del ancho de banda en conductores de fibra óptica ya instalados.

4.6. MEDICION EN EL AMBITO DE TIEMPO

Las mediciones en el ámbito de tiempo se efectúan analizando el ensanchamiento de los pulsos ocasionados por los efectos de la dispersión en el conductor de fibra óptica. Para efectuar esta medición se acopla un pulso de corta duración (valor típico 100 ps) al conductor bajo observación. Este pulso entrante al propagarse por el conductor de fibra óptica se ensancha a causa de la dispersión modal y el material.

El pulso de salida resultante actúa sobre el fotodiodo del receptor que lo amplifica y luego es analizado en un osciloscopio de muestreo (sampling). Para determinar el pulso de la entrada se debe repetir la medición sobre un tramo corto (aprox. 2m) y libre de perturbaciones.

En base a los datos almacenados del pulso de entrada $g_1(t)$ y del de salida $g_2(t)$ es posible calcular por integración la duración efectiva de los pulsos T_1 y T_2 . Con estos valores se determina el ensanchamiento efectivo del pulso con la siguiente expresión:

$$\Delta T_{ef} = \sqrt{T_2^2 - T_1^2}$$

y el valor aproximado del ancho de banda con:

$$B \cong 0,441/\Delta T_{ef}$$

En esta expresión aproximada se han asumido pulsos gaussianos (por ello se utiliza en factor 0,441), sin tener en cuenta la estructura real de los mismos salvo su duración efectiva. Para una determinación más exacta del ancho de banda, aplicar a los pulsos la transformación de Fourier y pasar del ámbito del tiempo al de las frecuencias.

En este procedimiento se determina por integración el valor y la fase de la función de transferencias correspondiente a estos pulsos de entrada y salida. Con esta medición no sólo se obtiene la amplitud en el ámbito de las frecuencias sino también la fase de la función de transferencias, que suministra información sobre la simetría de los pulsos.

El ancho de banda se obtiene del valor de la función de transferencias como aquella frecuencia a la cual esta valor decae a la mitad del que tenía a frecuencia nula. En la figura 4.5 se ilustra un típico protocolo de medición.

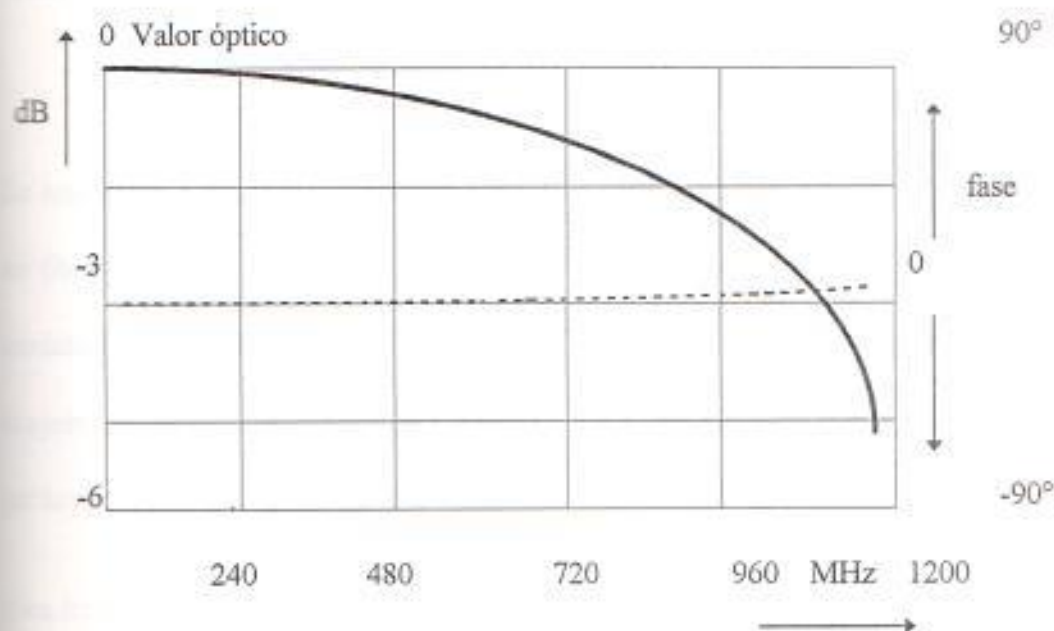


Fig. 4.5 Protocolo de una medición del ancho de banda en el ámbito de tiempo.

En la República Federal de Alemania, los métodos para la medición del ancho de banda están documentados por la norma DIN VDE 0472 sección 253 e internacionalmente por la norma IEC 793-1C4 y C5.

CAPITULO 5

TECNICAS DE EQUIPOS Y SISTEMAS DE EMPALMES DE FIBRAS OPTICAS

En esta parte se resumen los aspectos más importantes para planificar una instalación de cables de fibras ópticas. Ante todo, y además de indicaciones correspondientes a la técnica del tendido de cables de fibra óptica, se dan informaciones referidas a métodos para calcular las magnitudes correspondientes a la transmisión como ser atenuación y dispersión así como los parámetros mecánicos incluyendo las técnicas de conexionado.

Una instalación de cables de fibra óptica está compuesta por los tramos de cables tendidos y empalmados unos con otros y llega en sus extremos hasta las primeras conexiones desconectables, es decir los conectores.

Las referencias que siguen son de carácter general a fin de facilitar la comprensión de aspectos y relaciones en parte complejas. Para una información más detallada relativa a estos temas parciales se aconseja consultar la bibliografía especializada en la materia.

5.1 PLANIFICACION CORRESPONDIENTE A LA TRANSMISION

La atenuación y el ancho de banda del cable de fibra óptica utilizado así como los valores de atenuación de los empalmes son los parámetros más importantes, para la transmisión que deben tenerse en cuenta cuando se planifican instalaciones de cables de fibra óptica.

En las consideraciones siguientes no se han tenido en cuenta atenuaciones producidas por conectores ni reservas que deben ser previstas en relación con los valores de los equipos, ni derivaciones o acopladores posiblemente existentes.

5.2 PLAN DE ATENUACION PARA CONDUCTORES DE FIBRA OPTICA MONOMODO Y MULTIMODO.

La atenuación a de una instalación de cables está formada por la longitud de cable L con el coeficiente de atenuación α_{LWL} y el número de las atenuaciones n de los empalmes a_{ep} ; vale:

$$a_k = L \cdot \alpha_{LWL} + n \cdot a_{ep}$$

a_k : atenuación de las instalaciones de cables, en dB

L : longitud del cable, en Km

α_{LWL} : coeficiente de atenuación, en dB/Km

n : número de empalmes

a_{ep} : atenuación de empalmes, en dB.

Dado que las instalaciones de cables son proyectadas para una larga vida útil es necesario prever, en la etapa de la planificación, reservas para empalmes que se efectúa en caso de reparaciones. Estas reservas pueden adquirir particular importancia cuando al ocurrir deterioros causados por trabajo de construcción o movimientos de tierra o al cambiar de posición de cables, resulte necesario añadir nuevos tramos de cable a la instalación. La magnitud de la reserva necesaria para estos casos depende de las circunstancias locales y de la importancia de la instalación y puede variar entre 0,1 Db/km, y 0,6 Db/km, según lo juzgue conveniente el usuario de la red.

De lo anterior sigue para la atenuación de campo regenerador a_R :

$$a_R = a_k + \alpha_{RES} \cdot L .$$

α_{RES} : Reserva de atenuación, en dB/Km

En todos los casos se debe procurar, por medio de tramos suministrados con la mayor longitud posible, reducir al mínimo la atenuación adicional producida por empalmes y uniones.

- Tabla. 5.1 Planificación de atenuación total a 1300 nm para un sistema de conductores de fibra óptica de 34 Mbits

	Conductor de fibra óptica con perfil gradual		Conductor de fibra óptica monomodo diodo láser
	diodo emisor de luz IRED	diodo láser	
Máxima atenuación de campo regenerador de la instalación de cable dB	19	35	33
Coefficiente de atenuación del conductor de fibra óptica. dB / Km	0.7	1.5	0.4
Atenuación en empalmes dB	0.1	0.2	0.1 - 0.2
Reserva de atenuación para otros empalmes dB/Km	0.1	0.6	0.1 - 0.6
Atenuación de la instalación de cables dB / Km	0.9	2.3	0.6 - 1.2
Longitud del campo regenerador Km	2.1 - 8.3	38.9 - 15.2	55 - 27.5

5.3 ANCHO DE BANDA DE CONDUCTORES DE FIBRA OPTICA CON PERFIL GRADUAL EN INSTALACIONES DE CABLE

El ancho de banda de conductores de fibra óptica con perfil gradual se ve limitado principalmente por la dispersión de modos y/o del material.

Cuando se emplean diodos emisores de luz con gran ancho espectral medio y una longitud de onda de servicio $\lambda = 850$ nm predomina la dispersión modal cuando se utilizan diodos láser con ancho espectral medio típicamente pequeño y una longitud de onda de servicio $\lambda = 1300$ nm.

Existen varios métodos para calcular en forma aproximada la variación en función de la longitud del producto ancho de banda por longitud del producto ancho de banda por longitud.

$$b_1 = B_1 \cdot L_1$$

de un conductor de fibra óptica con perfil gradual con un ancho de banda dado el sistema B y una longitud del conductor de fibra óptica.

Existe un método que deriva de la ley de potencias

$$\left[B/B_1 \right] = \left[L/L_1 \right]^{-\Gamma}$$

B: ancho de banda del sistema, en MHz

b_1 : producto del ancho de banda por longitud en Mhz .km

B_1 : ancho de la banda del conductor de fibra a L_1

L_1 : longitud del conductor del Fibra óptica - en general se toma 1 Km - con ancho de banda B_1

L: longitud del conductor de fibra óptica-usualmente 1 Km- para el ancho de banda B

Teniendo en cuenta que al ser conectados cables de longitudes variadas el ancho de banda no disminuye linealmente con la longitud en razón de la dispersión de modos, se procura alcanzar una aproximación del desarrollo real por medio de calculo empleando el factor γ (exponente longitudinal). Los valores correspondientes a γ y por lo general se hallan entre 0,6 y 1,0 de modo que se pueden utilizar para los cálculos un valor empirico de 0,8.

Tabla 5.2 Valores de anchos de banda de sistemas digitales con $\lambda = 1300$ nm.

Sistema	Ancho de banda por cada campo regenerador	
	IRED MHz	LD MHz
8 Mbits	25	25
34 Mbits	50	50
140 Mbits	120	120

Dado que en el caso de una longitud de onda de servicio a $\lambda = 1300$ nm el escalonamiento del producto de ancho de banda por longitud de conductores de fibra óptica con perfil gradual se efectúa en pasos a razón de 200 MHz/Km (600-800-1000 MHz/km), se requiere para el ejemplo precedente de aprox. 657 MHz así como una atenuación de 1 dB/km.

Como referencia se indican en la tabla 5.2 algunos valores de anchos de bandas de sistemas digitales a $\lambda = 1300$ nm

5.4 DISPERSION DE CONDUCTORES DE FIBRAS OPTICAS MONOMODO EN INSTALACIONES DE CABLES

Cuando se planifican instalaciones con sistemas digitales de hasta 140 Mbit/s, en los cuales se utilizan exclusivamente diodos láser, se puede despreciar en general el ancho de banda del conductor de fibra óptica monomodo, dado que el mismo penetra profundamente en la gama de los GHz y en consecuencia cada una de las atenuaciones (conductor de fibra óptica, empalmes y reservas) limitada la longitud del campo regenerador.

Para los conductores de fibra óptica monomodo se indica la dispersión en lugar del ancho de banda, pudiéndose calcular en base a ello, en forma particularmente ilustrativa, el ensanchamiento del pulso correspondiente al láser.

$$\Delta T = M(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot L$$

ΔT : ensanchamiento del pulso, en ps

$M(\lambda)$: dispersión cromática, en ps / [nm . Km]

$\Delta\lambda$: ancho espectral medio del emisor, en nm

L : longitud del conductor de fibra óptica, en km.

Para calcular la dispersión en el caso de los sistemas con velocidad de transmisión a partir de 565 Mbit/s, además de los parámetros señalados anteriormente es necesario tener en cuenta otras características específicas del láser, como p. ej. el ruido de la distribución de modos.

En la fase de planificación de un sistema con conductores de fibra óptica monomodo interesa la magnitudes del diámetro de campo, pues con las atenuaciones en los empalmes y curvaturas del conductor de fibra óptica se puede influenciar el balance de potencias y, en consecuencia, la longitud del tramo.

5.5 PLANIFICACIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA MECÁNICO

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 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 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:

- **El trazado**

De los planos de situación y de altura se desprenden las subidas y las pendientes así como los cruces a nivel y bajo nivel del ríos y calles, asimismo el número de curvas críticas (con indicación de ángulos).

- **Características del terreno**

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

- **Tipo del Suelo**

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

- **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 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 cables 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 sobrepasar 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 debe prescindir de 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 aprox. 1000 m cuando el terreno es apropiado y existe una relación óptima entre el diámetro del tubo protector del cable de fibra óptica.

Para el tendido de cables de fibra óptica en tramos muy extensos (p.ej. mayor que 3km 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 mismo 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 tabulares 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 5mm.

Informaciones más detalladas para el tendido se pueden consultar en la norma DIN VDE 0888 sección 3.

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 ej. cables aéreos, autoportantes, cables para instalaciones mineras, cables submarinos, etc., además de los aspectos señalados precedentemente es necesario tener en cuenta criterios específicos, cuyo tratamiento en esta obra resulta imposible por su complejidad y la diversidad de los factores intervinientes.

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

- Tendidos de cables de fibra óptica enterrados y en conductos tabulares de acuerdo a los métodos descritos precedentemente.
- El principio de los cables aéreos autoportantes, 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, Aldrey o Stalum) en una combinación con todos ellos.

Existe asimismo configuraciones de cables de fibra óptica apropiadas para conductores de tierra aéreos.

Las distancias entre soportes de los cables, aún 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 (condiciones estáticas de los mástiles, requerimientos de acuerdo a la norma VDE 220, etc). 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 tierras en la gama de las altas tensiones de 110. 220 0 380 kV.

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 de cables 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.

5.6 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 cuenta el frecuente requerimiento de tener cables de fibras ópticas con tramos cada vez más largos sin el uso de regeneradores, además de cables de longitudes cada vez mayores y los valores de atenuación de los conductores de fibra óptica cada vez más reducidos, también resulta necesario optimizar los empalmes y conectores en los relativo a las

atenuaciones de inserción de las respectivas uniones. Al hablar de conectores se dice que son conexiones separables, y de 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 pretenden efectuar con la máxima velocidad posible.

5.7 EMPALME MECANICO SIMPLE

El principio del empalme se debe sobre el autocentrado de los conductores de fibra óptica a ser unidos en una capa 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 del 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 aplastamiento 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 de un ambiente expuesto a peligro de explosiones.

La atenuación media de empalmes es de aprox. 0,2 dB (que depende, asimismo, de las tolerancias del conductor de fibra óptica).

5.8 EMPALME TERMICO SIMPLE

Para soldar conductores con una fibra óptica de vidrio cuarzo con perfil gradual o de vidrio de varios componentes, existen equipos empalmador técnico 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 auto centrado de los conductores de fibra óptica a ser unido, compensándose automáticamente un desplazamiento de hasta 10 μm si 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 ángulos menores que 3 grados.

Gracias a la elevada precisión de las guías y de las buenas características de auto-centrado del arco, el ajuste del conductor de fibra óptica en sentido longitudinal es el único que resta hacer.

El proceso de ajuste se puede observar con el auxilio de un microscopio de proyección.

Ambos conductores de fibra óptica se ajustan haciendo coincidir dos marcas de ajuste con 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.

5.9 EMPALME TERMICO SIMPLE DE CONDUCTORES DE FIBRA OPTICA MONOMODO.

Para empalmar núcleos con un diámetro de unos $9\ \mu\text{m}$ se requiere una precisión y cuidados tan elevados ya que 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 de tres ejes.

El proceso de soldadura se desarrolla automáticamente en el mismo orden para los conductores de fibra óptica con perfil gradual; un potenciómetro permite gradual 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 función de la zona de unión provoca 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° y baja corriente de soldadura.

En el equipo de empalme se encuentra integrado un dispositivo de 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).

5.10 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, p.ej., efectuar hasta 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 el térmico.

5.10.1 EL EMPALME MULTIPLE MECANICO

Todas las partes del empalmador múltiple son de silicio. Con procesos corrosivos de desgastes 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.

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 elementos de empalme.

5.10.2 EMPALME MULTIPLE TERMICO

Además el empalmador simple de funcionamiento térmico, casi automático, 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 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 19 conductores de fibra óptica se reduce a aproximadamente una cuarta parte de valores habituales para equipos de empalme simple.

5.11 CONEXIONES POR CONECTORES

Las conexiones por conductores en líneas de transmisión óptica se emplean para separar fácilmente 2 conductores de fibra óptica y acoplarlos, cuando fuese necesario, con muy 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 de basa en el principio del acoplamiento con lentes y el segundo, en el principio de acoplamiento frontal.

5.12 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 por "Plano de separación" se admiten, en parte, mayores tolerancias respecto de las distancias.

5.13 ACOPLAMIENTO FRONTAL

Lo característico para el acoplamiento frontal es que en 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.

Para 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, el ángulo entre los ejes de ambas fibras y la distancia entre ambas caras frontales de los conductores de fibra óptica deben quedar reducidos a valores mínimos. Es necesario limpiar prolijamente las caras frontales sin rayarlas, y luego secarlas.

Debe tenerse en cuenta, de manera general, que por efecto de reflexiones en las superficies límites 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.

El pasar de un núcleo fino a otro más grueso no constituye un aspecto crítico en conductores de fibra óptica multimodo.

La atenuación de inserción es de aproximadamente 1 dB.

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

CAPITULO 6

EMPALME DE CABLE DE FIBRAS OPTICAS.

En paralelo con el desarrollo de métodos de fabricación de cables de fibras ópticas, la fábrica de cables Sieverts Kabelverk ha desarrollado métodos y equipo para empalmar dichas fibras. Los dos métodos que dan mejor resultados son fusión y encolado. Para ambos métodos se han desarrollado prototipos de equipo y para el método de fusión se están fabricando equipos en serie. El método de empalme incluye el restablecimiento de las protecciones primaria y secundaria en el lugar del empalme. Para empalmar la envoltura del cable y restablecer la resistencia original a la tracción en el empalme se emplean los mismos métodos que para empalmar cables convencionales.

Aunque tanto las fibras como los cables de fibras se fabrican en largos de más de 1 Km, desde los puntos de vista de manejo e instalación ha demostrado ser practico entregar el cable en largos de 1 Km. La atenuación en la fibra es tan baja, 3-4 dB/Km, que una distancia entre amplificadores de unos 10 Km. es razonable en sistemas de cable de fibras. Es entonces importante que la contribución de atenuación debida a los empalmes imprescindibles sea tan reducida que la técnica de empalmes no constituya un factor limitador.

Una operación de especial importancia al empalmar es restablecer la protección primaria de la fibra y que ésta quede descargada de las fuerzas de tracción en el trozo en el que se haya retirado la protección primaria ya que se ha reducido su resistencia. El mismo punto de soldadura puede ser un punto débil. Se calcula que la resistencia alrededor de un empalme está reducida en un 50-80%.

4.1 PERDIDAS OPTICAS

Las pérdidas ópticas en un empalme pueden considerarse divididas en una parte dependiente de la fibra y otra dependiente de la técnica del empalme.

Las pérdidas dependientes de la fibra están causadas principalmente por diferencias en:

- Apertura numérica
- Diámetro del núcleo
- Diámetro exterior si se emplea para alineamiento

Las pérdidas dependientes de la técnica están causadas por

- Desplazamiento paralelo de los ejes de fibras
- Desplazamiento angular de los ejes de fibras
- Reflexiones de Fresnel de las faces de las fibras
- Partículas extrañas en las faces de fibra.

Una premisa para que la atenuación en los empalmes sea baja es que la parte de la atenuación dependiente de la fibra sea pequeña, las fibras actuales se fabrican con tan alta precisión que esta se mantiene por término medio inferior a 0,15 dB.

La parte de la atenuación dependiente de la técnica es aproximadamente igual en los dos métodos de empalme y por término medio 0.12 dB en fibras con 50 μm de diámetro de núcleo y 100 μm de diámetro de envoltura.

En las pruebas ambientales se obtuvo un valor medio de unos 0.3 dB de contribución total de atenuación por empalme.

6.2 PREPARACION DE LAS FIBRAS

Una fase importante del trabajo de empalme, así como de los preparativos para medir las fibras es la preparación de sus faces.

Para poder empalmar las fibras se deben primero quitar ambas protecciones primaria y secundaria. Para poder alinear bien las fibras para el empalme es necesario también que la superficie del revestimiento esté muy limpia. Restos de la protección primaria o suciedad pueden resultar en alineamiento erróneo.

6.3 SOLDADURA

La descripción de este método con todos sus detalles será descrito más adelante cuando se profundice las instalaciones de fibra óptica en la ciudad de Guayaquil.

6.4 ENCOLADO

El segundo método de empalmar fibras consiste en alinear los dos extremos a empalmar en una ranura en V y después se encolan a la misma ranura. Es un método muy sencillo y que da buenos empalmes. Puesto que la cola llena también la zona entre los extremos de fibra, es esencial que tenga un índice de refracción lo más cercano posible al del vidrio. Este método exige una limpieza extraordinaria en la ranura en V y en las superficies cilíndricas de las fibras y se puede aplicar solamente en fibras muy concéntricas con el mismo diámetro exterior de revestimiento. Es también un problema emplazar las fibras correctamente en la ranura. Para este método, desarrollado y patentado por Sieverts Kabelverk, hay un equipo de empalme con las propiedades que se describen a continuación.

Cada extremo de fibra se mantiene en posición con un fijador de succión, móvil en sentido axial. Entre los fijadores se coloca una pieza de empalme, con una ranura en V, que puede ser de plástico o de aluminio. En el caso de pieza de aluminio se coloca como ranura en V dos agujas cilíndricas de acero contiguas entre sí en el canal rectangular de la pieza de aluminio. La ranura V está formada de manera que queda un espacio de

aproximadamente una mitad del diámetro de la fibra entre las agujas de acero. Una bomba de succión aprieta las fibras contra la ranura V.

Por medio de las correderas, los extremos de fibra pueden aproximarse hasta que sus faces están en contacto entre si en el centro de la pieza de empalme. La posición puede observarse a simple vista o con auxilio de una lupa. Para mejor observarla posición se hace incidir un rayo de luz oblicuamente a través del revestimiento de la fibra. La luz sale por la superficie del corte. Cuando las fibras entran en contacto entre sí disminuye la intensidad del rayo de luz saliente.

La tapa, que es la mitad superior de la pieza de empalme y que está untada de antemano con cola se coloca en un soporte y se oprime contra la pieza inferior. La cola se endurece calentando durante cierto tiempo y con temperatura controlada. El tiempo de endurecimiento es 5 - 15 minutos según el tipo de cola. Las pruebas de tipo demuestran que este tipo de empalme soporta también cambios cíclicos entre -60° y $+70^{\circ}\text{C}$ sin que varien los valores de atenuación.

La cola epoxilica que se emplea es del tipo de dos componentes y pueden guardarse a la temperatura ambiente varias semanas después de haber hecho la mezcla. Las tapas pueden por tanto prepararse de antemano en un ambiente protegido de forma que los problemas sanitarios de la resina epoxilica se reducen a un mínimo en el lugar de la instalación.

Las piezas de empalme están diseñadas de forma que cuando la tapa se fija contra la pieza inferior, se cierra también la protección secundaria entre las dos mitades. Llenando las cavidades de la pieza de empalme con goma silicónica puede también reestablecerse la protección primaria al mismo tiempo.

CAPITULO 7

MEDICIONES DE TRANSMISION EN CABLES DE FIBRAS

Es importante conocer las características de transmisión de los cables que forman parte de sistemas de transmisión ópticos. Se trata aquí en primer lugar de la atenuación en las fibras y de la dispersión ocasionada en los pulsos luminosos emitidos. Deben también poder determinarse la distancia hasta una posible rotura de la fibra. En Sieverts Kabelverk las características de las fibras se comprueban de rutina durante la fabricación, instalación y mantenimiento de cables de fibras. Se tratan aquí los problemas que surgen en las mediciones sobre el terreno durante la instalación y el mantenimiento.

7.1 LINEAS GENERALES PARA LOS METODOS DE MEDICION

Un grupo de trabajo del CCITT en el que participa personal de la Administración de Telecomunicaciones de Suecia y de LM Ericsson, está dedicado a elaborar recomendaciones para las fibras en cables y propuestas de métodos adecuados de medición de diferentes parámetros de fibras. Estas propuestas comprenden las siguientes condiciones básicas:

- Las mediciones de transmisión deberán ser sencillas y los métodos darán resultados reproducibles.
- Los resultados deberán poder emplearse para dimensionamiento de sistemas.
- Los métodos de medición deberán ser no destructivos.

Una fibra funciona como un guíaondas para transmitir señales ópticas. Las características del guíaondas están determinadas principalmente por el diámetro y perfil de índice de refracción del núcleo de la fibra. Estos parámetros determinan el número de modos posibles del recorrido de la luz por la fibra. En cada modo la luz pasa el eje de la fibra con un cierto ángulo y con una cierta distancia entre pasos. Cada modo está caracterizado por estar la luz sometida a un cierto factor de atenuación y velocidad de propagación en la fibra. La atenuación y la dispersión de pulsos de un cierto tramo de fibra dependerán por tanto de la cantidad de potencia luminosa que se aplicó por cada modo desde un principio, es decir de la distribución en modos.

A causa de irregularidades en la fibra hay que contar con una cierta mezcla de modos. Si estas irregularidades están homogéneamente distribuidas a lo largo del tramo de fibra, la distribución de modos adopta después de una cierta longitud de fibra una forma estable característica. Con longitudes de fibra todavía mayores la variación de la atenuación en función de la longitud es lineal y la dispersión es un proceso más regular.

Para satisfacer las dos primeras premisas que se acaban de citar se procura por tanto ya desde un principio alcanzar una distribución de modos estable. Esto puede conseguirse intercalando una fibra de suficiente longitud entre la fuente luminosa y el objeto a medir. Esta fibra de inyección debe tener aproximadamente las mismas dimensiones y características que el objeto a medir de forma que su distribución estable de modos sea similar a la del objeto de medición. Según sean las características de la fibra, la fibra de inyección puede tener que ser de 100 a 1000 m de longitud.

Empleando fibra de inyección puede medirse fácilmente la atenuación de largos de cable entregados obteniendo valores de atenuación que sumados, corresponden a la atenuación del cable entero empalmado. Habrá de tener en cuenta la atenuación adicional de los empalmes.

Una ventaja del método descrito es que el consumo de fibra es muy bajo. Antes de medir debe cortarse la fibra para obtener faces externas bien definidas pero los trozos de fibra que se pierden por esta causa son despreciables.

Otro método para medir la atenuación consiste en aplicar la fuente de luz directamente a la fibra. Se mide primero toda la longitud de fibra y a continuación los 5-50 m anteriores a la fuente de luz. Con este método se pierde tanta fibra que no puede recomendarse en los lugares de instalación.

La dispersión se mide también con fibra de inyección intercalada antes del objeto de medición. En este caso, si se suman las contribuciones de dispersión de los largos individuales de entrega se obtiene un valor demasiado alto de la dispersión total del cable empalmado. Ello depende de que la dispersión tiene varios componentes entre los que domina la dispersión de modos y la dispersión debida al material. La dispersión debida al material aumenta en forma lineal en función de la longitud de la fibra, mientras que la dispersión debida a los modos es una función más complicada de la longitud debida a la mezcla de los modos, especialmente la que ocurre en los empalmes. Midiendo diferentes largos de fibra, con y sin empalmes, se puede llegar a una conclusión aproximada sobre la variación de la dispersión en función de la longitud de forma que se puedan hacer evaluaciones para dimensionar el sistema.

7.2 REQUISITOS TECNICOS

Las mediciones en los mismos lugares de instalación presentan problemas especiales. El emisor y el receptor de medición deben emplazarse alejados uno de otro. Surgen problemas en la transmisión de resultados de medición entre los equipos de medición y problemas para sincronizar el receptor con el emisor al medir pulsos.

La atenuación máxima permisible de las secciones de cable exige un gran margen dinámico del equipo de medición. La precisión que se desea obtener en las mediciones impone exigencias sobre la linealidad, estabilidad a corto y largo plazo y calibrado del

equipo de medición. La precisión esta además afectada por la calidad de las faces de los extremos del objeto de medición.

La sensibilidad de los aparatos electroópticos ante diferentes factores de ambiente, por ejemplo humedad, temperatura y vibraciones es otro problema agudo. Además tanto el tiempo que duran las mediciones como la posibilidad de conseguir mediciones reproducibles son fuertemente dependientes de un manejo racional de cables y fibras.

Se debe disponer de métodos y equipos sencillos y confiables para fijar y alinear las fibras al conectarlas al emisor y al receptor.

7.3 METODOS ELEGIDOS DE MEDICION

Para poder determinar inequívocamente la atenuación y dispersión, la excitación de la fibra a medir deberá estar bien definida. Entre emisor y objeto de medición se intercala una fibra de inyección de longitud adecuada.

El detector de medición debe detectar la potencia luminosa total en la sección de fibra observada y además emitir una corriente directamente proporcional a esta potencia luminosa. El detector de medición se conecta primero a la fibra de inyección para calibrar, y después a la salida de la fibra para medir.

Al medir la dispersión, el detector esta también conectado a través de una fibra elegida de forma que tenga mayor área eficaz y mayor ángulo de aceptación que la fibra que se mide o que la fibra de inyección; esto hace que las perdidas de inserción sean casi iguales

durante el calibrado y durante la medición, es decir, la diferencia es tan pequeña que puede despreciarse. Para medir la atenuación, por el contrario, la fibra de inyección o la fibra a medir se conectan directamente, sin fibra intermedia, al detector de medición debiendo determinarse la atenuación de inserción entre la fibra de inyección y la fibra que se mide. Esto puede hacerse en una medición preliminar sustituyendo la fibra a medir por un trozo corto del mismo tipo de fibra cuya atenuación propia es despreciable.

La forma más sencilla de determinar la dispersión es comparar directamente las anchuras de los pulsos de las señales de entrada y salida. Se acostumbra a indicar la dispersión al 50% y al 10% de la altura de pulsos.

Un método más exacto de determinar la dispersión es medir la amplitud del pulso de entrada y de salida en función del tiempo en varios puntos equidistantes. Esta función del tiempo se transforma según Fourier al dominio de la frecuencia después de lo cual la función de transferencia se calcula dividiendo el espectro del pulso de salida por el del pulso de entrada.

Después de filtrar la función de transferencia se hace una transformación de Fourier de vuelta al dominio del tiempo para determinar la respuesta de pulsos.

Para localizar fallas en una fibra se emplea un método de eco de pulsos. Para ello el emisor y el receptor se colocan en un mismo punto de medición.

Se mide el tiempo de propagación de emisor a receptor de un punto luminoso que se refleja en el lugar de la falla. Conociendo el índice efectivo de refracción de la fibra, y por tanto la velocidad de la luz en la fibra, puede calcularse la distancia hasta el lugar de la falla.

7.4 EQUIPO DE MEDICION

En la parte anterior de las dos unidades hay un pequeño banco óptico para sujetar cables y fibras y para alinear cómodamente las fibras. Las faces de las fibras pueden inspeccionarse con un microscopio. En ambas unidades de emisión y recepción hay medidores de potencia óptica accesible por el frente.

Las fuentes luminosas de la unidad de emisión son diodos láser. Uno de ellos, que emite luz continuamente, está previsto para medir la atenuación. Está dotado con realimentación para poder regular hasta una potencia luminosa constante. El otro, pulsado, puede conmutarse para dar pulsos cortos o largos.

La longitud de pulsos que se emplee depende de la atenuación y dispersión de la fibra que se mide.

Los pulsos se detectan en el lado de recepción con un fotodetector similar. Una parte de la corriente resultante se saca a través de un canal de medición, directamente ó a través de un amplificador de banda ancha, hacia un osciloscopio de muestreo. Otra parte de la corriente se conecta a través de una unidad de retardo y de disparo, a la entrada de disparo del osciloscopio. La forma de pulsos se convierte a digital en 256 intervalos de tiempo que son explorados secuencialmente con una unidad separada de barrido. De esta forma se convierten varios pulsos a forma digital para poder después formar su valor medio. Esto reduce la influencia del ruido que se superpone en pulsos individuales. Los valores de medición se dan en cinta perforada, en forma de palabras de 12 bits; esta cinta se alimenta después a un miniordenador para su evaluación.

La localización de fallas se hace con un equipo de eco de pulsos de Felten & Guillaume, midiendo el tiempo de propagación con un osciloscopio con contador incorporado que da el tiempo en forma digital.

7.5 ELABORACION DEL LOS DATOS DE MEDICION

Los datos de los pulsos se elaboran en un miniordenador tipo PDP-11 y se presentan en un escritor de curvas Versatec. Un programa controla la lectura de los datos de pulsos de la cinta perforada en secuencias de 256 valores de medición. Después de leerse cada secuencia, se hace una transformación de Fourier al dominio de frecuencia después de lo cual el resultado se acumula en la memoria de disco del ordenador, esta acumulación

corresponde a formar un valor medio. La relación señal-ruido aumenta proporcionalmente al número de secuencias acumuladas.

Después de finalizarse la lectura de valores de medición y las transformaciones de Fourier, se calcula el cociente entre el espectro de salida y de entrada. De esta forma se obtienen la amplitud y fase de la función de transferencia. Ciertos valores de cociente pueden resultar erróneos por formarse por división entre componentes espectrales con baja amplitud que pueden ser incorrectos a causa del ruido. Un proceso de ponderación reduce o elimina completamente el efecto de estos valores erróneos. A continuación se hace una nueva transformación de Fourier para hallar la respuesta de pulsos. El programa comprende también rutinas que controlan el trazador de curvas para presentar los resultados del cálculo en los dominios de tiempo y de frecuencia.

7.6 RESULTADOS Y EXPERIENCIAS DE TECNICAS DE MEDICIÓN

El equipo de medición descrito se ha probado en condiciones reales durante las pruebas ambientales de comunicación óptica en Estocolmo, FOK-79.

Los medidores de potencia empleador para mediciones de atenuación tienen un margen de medición de 60 dB, lo cual es más que suficiente para medir secciones de fibra de líneas de A.F. Los valores de atenuación medidos deben reducirse en el valor de la atenuación de inserción entre la fibra de inyección y el objeto de medición.

Se calcula que los errores ocasionales de medición son del orden de $\pm 0,2$ dB, suponiendo que la fibra se ha cortado con buen resultado y con faces bien definidas. Si se desea obtener una precisión muy alta se acostumbra a cortar y medir varias veces. Cuando después de una serie de mediciones se repite el valor mínimo de medición, se acostumbra a interrumpir la serie de mediciones. Las últimas faces de corte se emplean después también al medir la dispersión.

Durante las pruebas ambientales FOK-79 se ha evaluado también la influencia de los empalmes soldados y de los conectores. Para ello se compararon los valores de atenuación en un tramo de fibra con y sin conectores montados. Esta comparación se repitió en diferentes tramos de fibra con un número variable de empalmes soldados y conectores. Combinando los resultados de estas comparaciones se ha calculado el valor medio de la atenuación en empalmes soldados y conectores y se ha estimado la atenuación de inserción entre la fibra de inyección y objeto de medición.

Para los empalmes soldados el resultado fue 0,3 dB, para los conectores 0,6 dB y para la atenuación de inserción 0,2 dB.

La sensibilidad de sincronización y linealidad del receptor de pulsos limitan la precisión al medir la dispersión. Se calcula que los errores ocasionales de medición son de $\pm 4\%$ y los errores sistemáticos de medición $\pm 2\%$.

La dispersión en la fibra causada por el material contribuye en grados diferentes a la dispersión según sea el espectro de longitudes de onda del diodo de láser de emisión. Esta relación es objeto de estudio actualmente. Durante las pruebas ambientales se midió la dispersión en una ocasión en un tramo de fibra de 14 Km que tenía una atenuación de 54 dB. La dispersión al 50% de la ranura de pulsos fue entonces de 8,5 ns y la función de transferencia mostraba una relación máxima señal-ruido de 20 dB.

El instrumento que se empleó para localización de fallas permitía una distancia hasta el lugar de la falla correspondiente a una atenuación de 20 dB. Se podría conseguir una mayor sensibilidad empleando un método con muestreo y cálculo de valor medio similar al empleado para medir la dispersión.

En resumen puede constatarse que los métodos elegidos de medición y los equipos desarrollados al efecto cumplen bien tanto exigencias formuladas por el CCITT como los requisitos técnicos que se especificaron para las pruebas ambientales FOK-79. Las experiencias de medición de estas pruebas facilitaran las actividades futuras de medición y de diseño de instrumentos.

CAPITULO 8

ELEMENTOS CONECTORES

8.1 MANGUITOS, CAJAS Y ELEMENTOS TERMINALES DE CABLES PARA CONDUCTORES DE FIBRA OPTICA

Al igual que en la técnica de las telecomunicaciones con los elementos de transmisión metálicos, en los cables de fibras ópticas la función del manguito consisten también en proteger todos los elementos constitutivos así como las partes empalmadas en un punto de conexión, derivación o distribución. La experiencia reunida durante muchos años con manguitos plásticos aplicados a cables de cobre ha facilitado la decisión de continuar utilizando este concepto de demostrada eficacia, también para cables de fibras ópticas. Estos "manguitos universales" son aptos para los cables instalados bajos tierra, en conductos y aéreos.

Se ha previsto una serie de cajas subterráneas de acero con protección anticorrosiva para alojar en ellos regeneradores intermedios.

8.2 MANGUITOS UNIVERSALES

En principio, los manguitos plásticos universales están constituidos por un cuerpo de un copolímero de polipropileno de larga estabilidad en el tiempo, un sistema sellador con una

masa de plasticidad permanente, resistente a la corrosión y un marco metálico interior como blindaje eléctrico y vinculación mecánica con la cubierta del cable.

Los manguitos "pequeños" se componen de dos mitades que se cierran ya con tornillos ya con cintas de sujeción. Los manguitos "grandes" tienen cuerpos divididos así como un tubo ranurado, que se cierra por medio de guías de fijación en forma de cuña. Para su utilización en la técnica de cables de fibra óptica se conservan todos los componentes más importantes.

Para alojar los empalmes monomodo o multimodo de conductores huecos o por grupos existen módulos de empalme, de montaje sencillo. Vienen en forma de conjuntos adicionales de acuerdo al tamaño de los manguitos de nominados "O-Pack" (Optical Packs), que contienen elementos dentro de los cuales se alojan los módulos de empalme y se sujetan a los cables o a los elementos dentro de los cuales se alojan los módulos de empalme y se sujetan a los cables o a los elementos de tracción.

Variando diámetro y longitudes de los manguitos se obtiene un espacio disponible para empalmes y módulos de empalmes muy amplio el cual se adapta a todos los requerimientos que se presentan en la práctica.

Al elegir el tamaño del manguito debe tenerse en cuenta que en ningún punto los radios de curvatura de las fibras ópticas deben ser inferiores a los valores mínimos fijados para los conductores huecos y por grupos de fibras ópticas monomodo y multimodo y que exista

suficiente longitud de reserva para futuros empalmes. Para manguitos divisores existen la correspondientes placas divisoras.

3.3 CAJAS PARA REGENERADORES

El concepto de cajas subterráneas de acero con protección anticorrosiva, una técnica de eficacia demostrada desde hace muchos años, se conserva para la técnica de los cables de fibra óptica.

En las caja consisten de chapas de acero soldada, galvanizada al fuego con su interior y exterior y tiene varias capas de esmalte anticorrosivo. Una vez instaladas bajo tierra, estas cajas apenas están expuestas a variaciones de temperatura exterior y son de difícil acceso para personas no autorizadas. La tapa provista de burllete de caucho y firmemente atornillada a la brida de la caja la cierra herméticamente, preservando su contenido y a su vez permitiendo su fácil accesibilidad una vez abierta.

Existe en el mercado una amplia oferta de diversas cajas para alojar de 5 hasta 30 generadores intermedios incluyendo sus dispositivos de telealimentación.

Varios tamaños de recipientes plásticos para regeneradores correspondiente a sistemas de transmisión con reducido alcance y ancho de banda completan el concepto.

8.4 UNIONES DE FIBRAS OPTICAS

Las uniones entre fibras ópticas produce una atenuación de valores pequeños pero que acumulados en varios kilómetros de trayecto pueden ser una limitación importante en la longitud del enlace.

La pérdida en los empalmes tiene dos orígenes: Los extrínsecos al sistema de unión (desplazamientos transversales, axiales y longitudinales, reflexión en los extremos, etc.) y los intrínsecos (desadaptación del índice de reflexión, apertura numérica, diámetro, etc.)

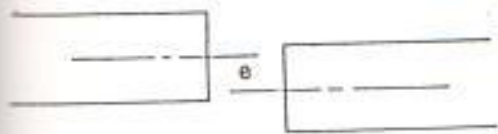
En la figura 8.1 se resumen las atenuaciones típicas de la fibra óptica para:

- Separación longitudinal S normalizada al valor del radio R .
- Separación transversal E normalizada al valor del radio R .
- Separación angular respecto del eje de alineamiento.
- Separación angular del corte respecto de la perpendicular al eje.
- Rugosidad r normalizada respecto de la longitud de onda.
- Diferencia de radios R_1 y R_2 entre ambas fibras ópticas respecto de $(R_1+R_2)/2 = R$.
- Diferencia de apertura numérica AN_1 y AN_2 respecto de $(AN_1 + AN_2)/2 = AN$.
- Diferencia de circularidad c normalizada al valor del radio R .
- Diferencia por reflexión de Fresnel.



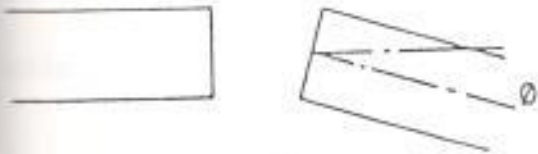
$$0,5 < S/R < 1$$

$$0,2 < A_t < 0,45$$



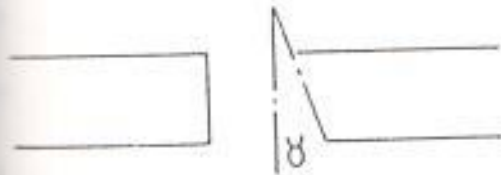
$$0,1 < e/R < 0,2$$

$$0,25 < A_t < 0,85$$



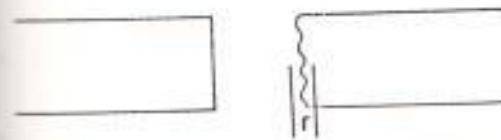
$$0,5 < \theta < 2^\circ$$

$$0,05 < A_t < 0,5$$



$$0,2 < \alpha < 2^\circ$$

$$0,01 < A_t < 0,2$$



$$0,2 < r/\lambda < 2$$

$$0,01 < A_t < 0,3$$



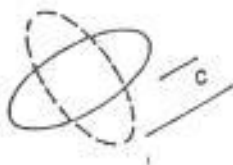
$$\Delta R/R < 0,1$$

$$A_t < 0,7$$



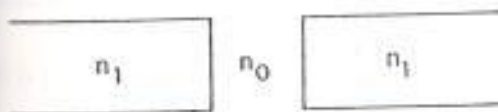
$$\Delta AN/AN < 0,05$$

$$A_t < 0,4$$



$$C/R < 0,05$$

$$A_t < 0,1$$



$$0,3 < A_t < 0,38$$

• Fig. 8.1. DISTINTOS FACTORES QUE PRODUCEN ATENUACIÓN EN LAS UNIONES DE LAS FIBRAS ÓPTICAS

Se debe considerar una amplia gama de características en la elección del método apropiado de unión, como ser:

- Empalme pasivo: Fibra óptica con fibra óptica
- Empalme activo: Fibra óptica con semiconductor.
- Empalme simple o múltiple.
- Empalme fijo o desmontable.
- Condiciones de trabajo para el empalme: Acceso a fuentes de energía, complejidad y capacitación del personal, herramientas, repuestos, etc.

Aproximadamente el 70 % de los empalmes se efectúan con el método de fusión. Diferentes fuentes de calor se han usado: La resistencia eléctrica, el láser de CO₂, la microllama de oxígeno-propano, el arco eléctrico, etc.

En muchos países se usa el arco eléctrico que permite una buena distribución de calor y es fácilmente controlada. Donde no existe energía eléctrica existen máquinas con baterías para tal fin o pueden recurrir a la microllama que requiere de pequeños tanques de gas.

3.5. UNIONES DESMONTABLES

Existen varios tipos de uniones los cuales se han clasificado en la siguiente manera.

8.5.1. CONECTOR AMP

Es un conector biconico premoldeado. La punta donde se introduce la fibra óptica es perforada en fabrica colocada dentro de una matriz. Todos las irregularidades de la punta quedan como cargas estáticas en la periferia del mandril de la matriz, lo que simula la colocación dentro de la unión doble del conector. Las puntas de las fibras ópticas se pegan con epoxiano-acrilico, se cortan y se pulen con movimientos en forma de 8 sobre una tela esmerilada apropiada; fig. 8.2.a.

8.5.2. CONECTOR ATT

Este conector tiene característica externas similar al conector BNC de conductores de Cu. Ha sido para fibra multimodo para las redes de area local LAN con fibra óptica de 62,5/125 μ m y tienen una atenuación entre 0,15 y 0,22dB; fig. 8.2.b.

8.5.3 CONECTOR CILINDRICO

Son dos tubos que se unen y en su interior pasa la fibra, para tener una idea de este tipo de conector se muestra su figura 8.2.c

8.5.4 CONECTOR STRATOS

En este conductor el alineamiento de la fibra óptica se produce en doble cono como en el AMP y con un centrado mediante 3 bolas para la fibra. El conector opera entre -50 y +150 C y

con fibras de 50/125 μm de índice gradual multimodo con una atenuación de 0.7 dB; fig. 8.2.d.

8.5.5 CONECTOR PRECOM

Se realiza mediante lentes esféricas de vidrio o zafiro cuyo diámetro se encuentra entre 0.2 a 25 mm. Las lentes permiten concentrar la luz que emerge de las fibras. Se indican atenuaciones inferiores a 1,5 dB; fig. 8.2.e.

8.5.6 CONECTOR LAMDEK-KODAK

Este conector se optimista para fibras monomodo mediante una lente semiesférica alineada con 3 bolas de acero en la unión doble. Como en el caso anterior se elimina el pulido de la superficie de la fibra óptica. El Kevlar del cable monofibra se une en forma mecánica al conector para darle solidez mecánica. Se indican atenuaciones inferiores a 0.6 dB; fig. 8.2.f.

8.5.7. SPLICE MECANICO TRW

Este empalme mecánico no es desmontable y reemplaza a la unión por fusión. Se indican atenuaciones de 0.3 dB para multimodo y 0.8 dB para monomodo. El armado se realiza en 3' y requiere un kit económico; fig. 8.2.g.

Los extremos de la fibra se preparan y se colocan en la guía consistente en 4 cilindros unidos lo que permite alinear a las fibras, el curvado del tubo oprime a las fibras contra una cara para un perfecto enfrentamiento.

Este tipo de empalme es útil para instalaciones de pocos empalmes donde la compra de una maquina empalmadora (20000 a 50000 dólares) puede resultar cara. En tales casos el empalme mecánico (30 dólares) será mucho mas económico. Empalmes similares a estos han sido desarrollados por AMP y GTE con atenuaciones inferiores a 0.2 dB para fibras monomodo.

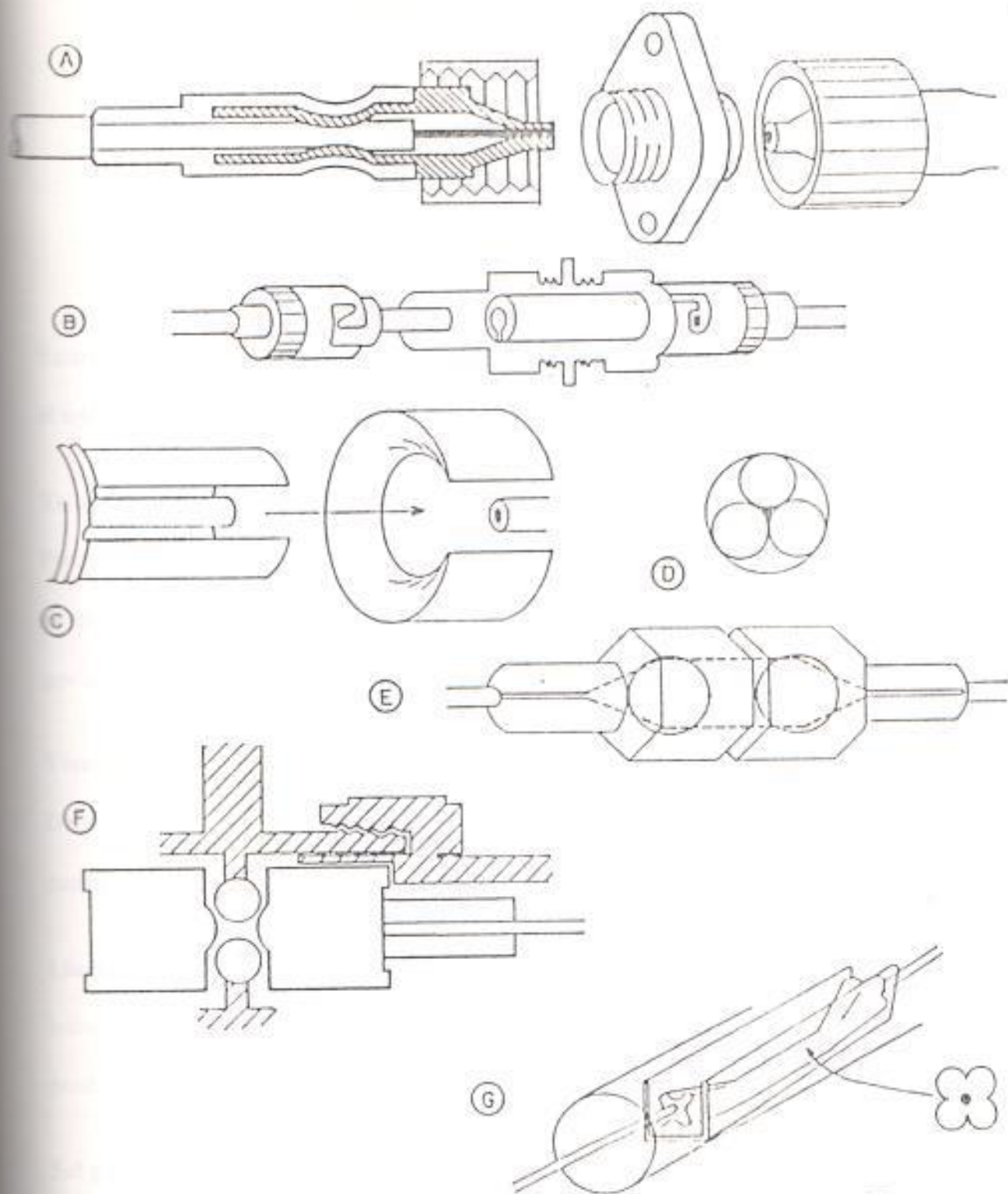


Fig. 8.2. EJEMPLOS DE DISTINTOS DE UNIONES DE FIBRAS OPTICAS MEDIANTE CONECTORES.

CAPITULO 9

MANTENIMIENTO DE CABLES CON FIBRAS OPTICAS

Existen diversos factores que afectan al plantel de cables. Los efectos son distintos según el tipo de instalación. Por ejemplo:

Temperatura

Produce deterioros en la unión de los cables por dilatación y contracción, produce fisuras en el PVC, elevación de los postes por congelación y levantamiento del terreno y daños por incendio.

Viento

Deteriora las partes mecánicas por vibración, produce presión en el cable y balanceo del mismo.

Lluvia y humedad

Introduce corrosión en los metales y la putrefacción de la madera. La nieve e hielo produce congelación y caídas de postes o cables.

Sal y rayos ultravioleta

Producen corrosión de metales, putrefacción de la madera y daños en la cubierta y sensores.

Descargas atmosféricas

Los rayos producen la rotura del dieléctico del cable metálico y daños en la cubierta y tensores.

Vibraciones

El tráfico vehicular, los terremotos, la construcción de obras que llevan a movimientos de tierra, los desprendimientos de piedras afectan a la integridad del cable.

Otros

La contaminación con productos químicos produce corrosión y ataque al dieléctrico. La corriente continua produce corrosión galvánica. Los actos de vandalismo destruyen parte del cable instalado.

La supervisión del estado de los cables con FO se sustenta en varias alternativas. En primer lugar si el cable está presurizado cualquier deterioro del mismo producirá una pérdida de presión de gas lo cual se detecta por los medios convencionales midiendo la presión en las cajas de empalme.

Otro es el caso cuando el deterioro afecta a la FO solamente. En el caso de falla pueden detectarse mediante 2 métodos. El método de reflexión de Fresnel envía impulsos de luz a lo largo de la FO y detecta la luz reflejada en el extremo que retorna al emisor.

CAPITULO 10

CABLES DE FIBRAS OPTICAS, EQUIPOS Y EMPALMES

UTILIZADOS EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

La transmisión en fibra óptica es uno de los mas recientes progresos de la tecnología y esta produciendo cambios profundos en el campo de las telecomunicaciones.

Hasta el año de 1970, la fibra óptica se ha utilizado para fines militares, electromedicinales y decorativos.

En 1970 la noticia que la compañía Corning había realizado una guía de onda de fibra óptica con una atenuación de 20dB/Km, fue un importante resultado que contribuyo a un pleno desarrollo de la tecnología en fibra óptica.

La diferencia entre la fibra óptica y el sistema tradicional en cable coaxial se encuentra fundamentalmente en el diferente medio de transmisión empleado. En las fibras se emplea el vidrio en Silicio y en el cable convencional, el conductor de cobre.

Recién a partir del año 1984 comienza en el Ecuador un cambio en tecnología, que consistía en el uso de Fibras ópticas para enlaces digitales intercentrales.

Al mercado Ecuatoriano entraron dos compañías la ERICSSON con tecnología Sueca, dicha empresa tenia el dominio de las comunicaciones en nuestro país, y ALCATEL con tecnología Francesa.

En Guayaquil se empezaron a instalar dos tipos de fibras;

- MONOMODO
- MULTIMODO

La monomodo traída por ALCATEL y que proporciona mayores ventajas en cuanto a atenuación e instalación en grandes distancias sin necesidad de hacer empalmes intermedios.

La MULTIMODO era muy usada por la ERICSSON, que luego viendo las ventajas que se obtenían optó por instalar fibras MONOMODO, es importante saber que aun en la actualidad se sigue instalando fibras MULTIMODO cuando se requiere cubrir cortas distancias entre central y central, y también es más barato que la MONOMODO, teniendo siempre en cuenta que una tecnología no reemplaza a otra.

En la ciudad de Guayaquil encontramos centrales con tecnología mixta, es decir que a pesar de que existen centrales con tecnología ERICSSON los enlaces entre centrales se las ha realizado con Fibra Óptica de tecnología ALCATEL. Actualmente la ERICSSON realiza ampliaciones en sus centrales a diferencia de que ALCATEL está a cargo de instalar los nuevos proyectos.

Actualmente se están instalando unas 150.000 líneas las cuales 85.000 líneas son para ALCATEL y las 65.000 van a ser ampliadas por la ERICSSON.

10.1 CABLES DE FIBRA OPTICA UTILIZADOS EN GUAYAQUIL

La empresa ALCATEL usa el empleo de la estructura llamada "cable con estructura libre en Tubo", con este procedimiento pueden colorearse hasta seis fibras ópticas en un tubo de plástico extruido, en cada tubo óptico, cada fibra es coloreada:

- 1 azul
- 2 amarillo
- 3 verde
- 4 rojo
- 5 café
- 6 blanco

En el alma, cada tubo óptico tiene:

- 1 azul
- 2 amarillo

La empresa ERICSSON usa cables tanto MULTIMODOS como MONOMODO pero los mas importantes son:

Un cable MONOMODO con 6 tubos en su interior en donde van colocadas solo una fibra en cada tubo, la primera fibra es la de color rojo, la segunda es la de color azul y las otras siguientes son de color transparente, a cada fibra antes de ser utilizadas ya sea para instalación o empalme deben ser numeradas a diferencia de ALCATEL la cual ya vienen numeradas, pero con otro orden de colores.

Este cable posee una protección primaria de polietileno, una protección secundaria, un alma de fibra grueso, un cable guía y los tubos de fibra óptica, este cable mencionado es mas usado en instalaciones internas de las centrales.

Un cable MONOMODO con 6, 8, 12 tubos de fibra, la cual tiene la misma característica al anterior a diferencia de que este posee mucho mas recubrimiento puesto que este es usado en las calles. Este cable aparte del recubrimiento primario y el secundario posee un recubrimiento de acero de alrededor de 15 varillas finas de un diámetro 1 a 2 mm que en forma circular cubren y protegen la fibra.

En la fig. 10.1, 10.2, y 10.3 se muestra un corte transversal de tres tipos de fibras ópticas Alcatel.

10.2 CARACTERISTICAS GEOMETRICAS

• Diferencia del índice de refracción	0.30+/-0.04%
• Diámetro sobre el revestimiento	125+/- 3 μm
• Error de concentricidad	1 μm
• No circularidad del núcleo	6%
• No circularidad del revestimiento	2%
• Diámetro sobre recubrimiento	50 +/- 15 μm
• Error de concentricidad recubrimiento	10%
• No circularidad recubrimiento	11%

10.3 CARACTERISTICAS OPTICAS

- Diámetro del campo de modo 10+/- 1 μ m
- Atenuación 0.5 dB/Km
- Dispersión Total 1260 - 1360 nm 6ps/ μ m.Km
- Dispersión Total 1285 - 1330 nm 3.5ps/nm.Km
- Longitud de onda de cortadura 1175+/-75nm

10.4 PARAMETRO DE MEDIO AMBIENTE

- Temperatura limite de operación -10 + 60 C
- Temperatura limite para la instalación -10 + 50 C
- Temperatura limite almacenamiento -45 + 70 C

10.5 DISTANCIAS, EMPALMES EXISTENTES, NUMERO DE FIBRAS OPTICAS ENTRE CENTRALES EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

FEBRES CORDERO - SUR

Numero de fibras: 12

FEBRES CORDERO-----2053m----EMPALME-----1133m-----SUR

SUR - GUASMO

Numero de Fibras: 6

SUR-----2159m----EMPALME-----383m-----GUASMO

CENTRO - OESTE

Numero de Fibras: 6

CENTRO -----1011m-----EMPALME-----2101m-----OESTE

OESTE - PORTETE

Numero de Fibras: 6

OESTE-----2167m-----EMPALME-----1148m-----PORTETE

BOYACA - NORTE

Numero de Fibras: 8

BOYACA-----1067m-----EMPALME-----1255m-----NORTE

NORTE_ ALBORADA

Numero de Fibras: 6

NORTE---2167m---EMPALME1---2036m---EMPALME2---1393m---ALBORADA

ALBORADA - SAMANES

Numero de Fibras: 6

ALBORADA---2167m---EMPALME1---2029m---EMPALME2--106m--SAMANES

OESTE - BELLAVISTA

Numero de Fibras: 6

OESTE---2093m--EMPALME1---2037m---EMPALME2---570m---BELLAVISTA

BELLAVISTA - CEIBOS

Numero de Fibras: 6

BELLAVISTA-----2119m-----EMPALME-----2085m-----CEIBOS

CEIBOS - MAPASINGUE

Numero de Fibras: 6

CEIBOS---725m---EMPALME1---2151m---EMPALME2--2012m--MAPASINGUE

BOYACA - MAPASINGUE

Numero de Fibras: 6

BOYACA---2176m--EMPALME1---2077m---EMPALME2--578m---BELLAVISTA

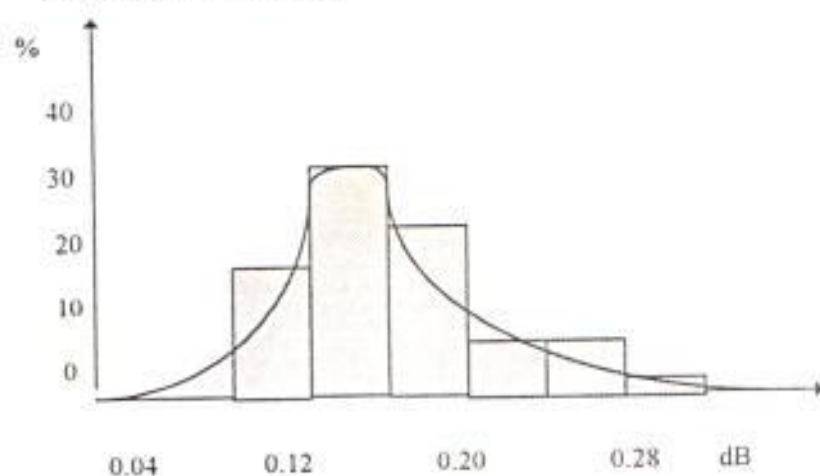
10.6 PARAMETROS IMPORTANTES DE UN EMPALME

Aplicando el método de soldadura de muestra en forma de histograma cómo la atenuación depende de la técnica del empalme, este método puede también emplearse con buenos resultados para empalmar fibras DC, cuyo punto de fusión es más bajo que el del vidrio CVD. Esto hace que sea innecesario redondear por fusión las facés de las fibras DC. El tiempo para soldar es además mucho más corto y la potencia de la descarga considerablemente menor. Un valor corriente de la parte de atenuación dependiente de la

técnica en un empalme entre dos fibras DC es de unos 0,18 dB con núcleo de 100 μm y revestimiento de 140 μm .

Una vez soldada la fibra deberán restablecer sus protecciones primaria y secundaria. La protección secundaria se empalma con un tubo inoxidable que, antes de empalmar, se ha engarzado sobre la protección secundaria de la fibra izquierda. Este tubo, de unos 10mm de largo, se desliza después de empalmar, sobre el empalme y sobre la protección secundaria de la fibra de la derecha.

Fig. 10.4 Histograma de la parte de atenuación dependiente de la técnica en empalmes soldados.



Con los métodos de medición de que se dispone no puede detectarse ninguna variación dependiente de la temperatura en el empalme. Las pruebas de tipo muestran que el empalme no varía tampoco sus valores después de unos 30 cambios de temperatura entre -60° y $+70^{\circ}\text{C}$.



Fig. 10.5 Atenuación del empalme en función de la temperatura

Superior: encolado

Inferior: soldado

10.7 EQUIPOS Y EMPALMES USADOS EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

Debemos recalcar que estos pasos para este empalme son realizados por la marca ERICSSON, la tecnología ALCATEL se diferencia muy poco con este empalme.

A continuación se muestran los diversos pasos para realizar un empalme