



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

CAMPUS ARAGÓN

"CABLE SUBMARINO MAYA 1"

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO
P R E S E N T A:
CLAUDIO OMAR MONTES RAMOS**

ASESOR: ING. BENITO BARRANCO CASTELLANOS

23 de septiembre del 2005

m. 340199



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central




UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Administración de los Recursos Humanos de la
Unidad Ejecutiva de Planeación y Desarrollo del
Gobierno Federal, Secretaría de Educación Nacional.

Nombre: Claudio Omar
Martes Ramos
Fecha: 18/Nov/2004
Firma: 

2

SP10HC.m

AGRADECIMIENTOS

A mi Mama Esperanza Ramos Soto por que este logro no solamente es mio sino de ella también. Gracias Mama tengo tantas cosas que agradecerte, gracias por tanto amor que nos has brindado y tantos esfuerzos tuyos por darnos siempre lo mejor a mis hermanos, a mi papa y a mí, gracias por educarnos y atendernos siempre, gracias a ti he llegado hasta aquí. Te Amo Mama

A mi Papa Octavio Montes Campos por que sin el este logro no hubiera sido posible concluir. Gracias Papa por haberme corregido en mi camino junto con mi Mama, no saben cuanto se los agradezco, gracias por tanto amor que me tienes, gracias por todos tus consejos y tu apoyo, gracias por tantas cosas que con esfuerzos nos has dado a mis hermanos, a mi mama y a mí, gracias por esforzarte en darnos siempre lo mejor. Te Amo Papa

A mi hermano Octavio Montes Ramos y a mi cuñada Leticia Muñoz Armenta les dedico este logro, gracias por apoyarme siempre en momentos difíciles y brindarme lo mejor de ustedes. Que sea un estímulo para que luchen por lograr que sus hijas lleguen muy lejos. Los Amo

A mi hermano Rogelio Osiris Montes Ramos te dedico este logro pelón, que sea un motivo para ti para que llegues mas lejos, no olvides tu sencillez ni tu humildad nunca!!! , gracias por compartir conmigo tantas cosas, gracias por tu apoyo, por tu música (no dejes de pegarle como solo tu sabes hacerlo eh!!!). Te Amo pelón (de bosquimanos)

A mis Sobrinas Iris Alejandra y Brenda Karime Montes Muñoz, que son la luz y la alegría en nuestra familia, les dedico este logro sobrinas y quiero verlas conseguir muchas metas y muchos logros. Las Amo

A mi Tio y Padrino Flavio Montes Campos, a mi Tía Maribel Gutiérrez Morelos y a mis primos Flavio, Iván y Stefani, les dedico este logro a ustedes, gracias por su apoyo y gracias por tantas cosas que hemos compartido.

A mi Tía Leticia Montes Campos, te dedico este logro, gracias por siempre contar con tu apoyo y tu ayuda.

A mi Tía y Madrina Silvia Clarisa Montes Campos y mi primo Carlos de Jesús, le dedico este logro a ustedes, esperando primo que sea un motivo de superación para que llegues muy lejos y logres todo lo que tu quieras.

INDICE

NATURALEZA DE LA LUZ.....	1
VELOCIDAD.....	2
PROPIEDADES ELEMENTALES.....	3
TIPOS DE REFLEXION.....	4
REFRACCION.....	5
INDICE DE REFRACCION.....	6
DIFRACCION.....	7
POLARIZACION.....	8
ESPECTRO ELECTROMAGNETICO.....	9
CONDUCCION DE LA LUZ.....	13
DEFINICION DE FIBRA OPTICA.....	13
ATENUACION.....	14
PERDIDAS INTRINSECAS.....	15
PERDIDAS EXTRINSECAS.....	16
PERFIL DE INDICE.....	17
APERTURA NUMERICA.....	18
DISPERSION.....	19
CLASIFICACION.....	20
MONOMODO.....	20
MULTIMODO.....	21
CLASES.....	23
ESTRUCTURA.....	24
CARACTERISTICAS.....	27
METODOS DE FABRICACION.....	30
FIBRAS SINTETICAS.....	32
FIBRAS DE FOSFOSILICATO.....	33
EMPALMES.....	33
EMPALME MECANICO.....	34
EMPALME POR FUSION.....	37
EMPALME POR PEGAMENTO.....	38

CONECTORES OPTICOS.....	39
TIPOS DE CONECTORES.....	40
EMISORES OPTICOS.....	43
DIODO ELECTROLUMINISCENTE (LED).....	44
DIODO SLED.....	45
DIODO ELED.....	45
DIODO LASER.....	46
DETECTORES OPTICOS.....	47
FOTODETECTOR PIN.....	48
FOTODETECTOR DE AVALANCHA (APD).....	49
ESTRUCTURA DE UN CABLE SUBMARINO DE FIBRA OPTICA.....	50
ELEMENTOS DE UN ENLACE.....	52
REPETIDORES.....	53
BRANCH UNIT (UNIDAD DE DERIVACION).....	54
CAJAS DE EMPALME.....	55
INSTALACION DEL CABLE SUBMARINO.....	55
PROVEEDORES.....	61
DIFERENTES CABLES SUBMARINOS EN LATINOAMERICA.....	63
CABLE PANAMERICANO.....	63
CABLE SUBMARINO "MAYA I".....	65
CABLE EMERGIA.....	66
CABLE AMERICAS I Y AMERICAS II.....	66
PANORAMA GENERAL DEL CABLE SUBMARINO "MAYA I".....	67
CONFIGURACION DEL SISTEMA DE TRANSMISION.....	72
REPETIDORES.....	73
CABLE.....	73
CARACTERISTICAS.....	74
VOLTAJE.....	74
SLD (DIAGRAMA DE LINEA RECTA).....	75
CONFIGURACION DE LA ESTACION SUBMARINA.....	76
ESTACIONES TRONCALES.....	76
TARIFAS.....	77
EQUIPO ADM ALCATEL 1664 SM.....	79

EQUIPO TERMINAL DE ENLACE SUBMARINO (SLTE).....	80
TRAYECTORIA DE TRASMISION.....	81
TRAYECTORIA DE RECEPCION.....	81
GESTION.....	81
GESTION DE LA CONFIGURACION LOCAL.....	82
CONFIGURACION DEL SLTE.....	82
EQUIPO DE ALIMENTACION (PFE).....	83
APARIENCIA FISICA DE LA PFE.....	83
ESPECIFICACIONES.....	84
CONVERTIDOR DE POTENCIA.....	84
CUBICULO DE TERMINACION DE CABLE Y CARGA FICTICIA.....	85
MONITOREO Y CONTROL.....	85
SISTEMAS DE PROTECCION.....	86
REPETIDOR.....	86
REPETIDOR R3.....	87
CAPACIDAD DEL REPETIDOR.....	88
UNIDAD DE DERIVACION.....	88
GESTION DE LOS EQUIPOS.....	89
EQUIPOS ALCATEL 1300.....	91
EQUIPO 1320 NX CRAFT TERMINAL.....	91
GESTIONADOR DE ELEMENTOS 1353 H.....	91
MANEJADOR DE EQUIPO SUBMARINO 1354 SN (SMS).....	92
MANEJADOR REGIONAL 1354 RM.....	92
TECNOLIGIA WDM/DWDM.....	93
VENTAJAS DE WDM.....	95
TECNICA WDM.....	96
CONCLUSIONES	
BIBLIOGRAFIA	

INTRODUCCIÓN GENERAL

Latinoamérica ha sido beneficiada por enormes inversiones en todos los campos del sector de las telecomunicaciones. Uno de ellos, el sector de los cables submarinos de fibras ópticas.

Desde los años 90 se han tendido en el mar miles de kilómetros de cables submarinos como son: TCS 1, AMERICAS 1, COLUMBUS 2, UNISUR, MAYA 1, PANAMERICANO, ATLANTIS 2, AMERICAS 2, PAC/SAC, SAM 1, ATLANTICA 1 y ARCOS 1.

En la actualidad la capacidad de un cable submarino de fibras ópticas de última generación llega a alcanzar 1.92 Tbps por segundo.

El cable submarino "Maya 1" es un proyecto de tipo consorcio con una gran importancia para México y para el desarrollo de la red de telecomunicaciones internacionales, ya que los avances tecnológicos representan nuevas opciones de transmisión más rápidas y más económicas.

Cabe destacar que el cable submarino "Maya 1" tiene una capacidad inicial de 150 sistemas de 2 Mbps, el costo del proyecto se estima alrededor de 220 millones de dólares.

Por lo que la finalidad de esta tesis es dar a conocer el proyecto del Cable Submarino "Maya 1" las características de la fibra óptica, así como los elementos opto electrónicos implementados en este sistema.

Así mismo resaltar sus ventajas como un medio de transmisión altamente competitivo y con un futuro sin límites.

CAPITULO 1

"NATURALEZA Y PROPIEDADES DE LA LUZ"

NATURALEZA

La naturaleza de la luz ha provocado diversos estudios debido a su importancia, ya que es un fenómeno fundamental para la vida en la tierra. La naturaleza y propiedades han causado gran interés y especulación desde hace mucho tiempo. Los griegos pensaban que la luz se componía de diminutas partículas emitidas por una fuente luminosa y estas a su vez estimulaban la percepción de la visión al incidir en el ojo del observador.

Isaac Newton expreso: "Conseguí un prisma de vidrio triangular para intentar observar con él, el famoso fenómeno de los colores... Coloqué mi prisma a su entrada (la luz del sol) de manera que pudiera ser refractada en el muro opuesto. Fue una diversión muy placentera observar los vivos e intensos colores producidos de ese modo... Con frecuencia contemplo con admiración que todos los colores del prisma se hacen converger, y que por ello vuelvan a mezclarse, como cuando estaban en la luz antes de incidir sobre el prisma reproduciendo luz completa y perfectamente blanca, y en nada sensiblemente diferente de la luz directa del sol...".¹

¹ Serway, Raymond A. "Física Tomo II", Editorial McGraw Hill, México, 1997, Pág. 1024

Isaac Newton fue el principal aportador de la teoría corpuscular de la luz, quien trato de demostrar algunos fenómenos relacionados con la naturaleza de la luz: la reflexión y la refracción.

El primero en demostrar claramente la naturaleza ondulatoria de la luz en el año de 1801 fue Thomas Young, quien demostró que los rayos luminosos interfieren entre si, en condiciones idóneas.

VELOCIDAD

Los primeros intentos para lograr medir la velocidad de la luz no tuvieron éxito. Galileo Galilei Intento medir la velocidad de la luz colocando a dos observadores a una distancia aproximadamente de 4 Km., cada uno de los observadores llevaría consigo una linterna tapada. El observador A destaparía primero su linterna y el observador B haría lo mismo en el instante en que observara la luz de la linterna del observador A. Galileo podría así obtener la velocidad conociendo el tiempo de transito de los haces luminosos entre las linternas.

El propio Galileo concluyo que: "Es imposible medir la velocidad de la luz de esa manera debido a que el tiempo de transito es muy pequeño a comparación del tiempo de reacción de los observadores".²

Para 1675 el astrónomo danés Ole Römer obtuvo el primer cálculo exitoso de la velocidad de la luz, realizo observaciones astronómicas en una de las lunas de Júpiter.

² Idem Pág. 1027

Este cálculo fue medido al observar el eclipse en el momento en que pasaba atrás de Júpiter. El periodo de los eclipses es aproximadamente 42.5 hrs., sin embargo cuando la tierra se aleja de Júpiter las medidas de tiempo son mayores para este periodo, estas variaciones de 15 segundos del valor medio eran difíciles de medir, por lo que Römer atribuyó estas diferencias al hecho de que la velocidad de la luz no es infinita.

PROPIEDADES ELEMENTALES

La propiedad fundamental de la luz, como lo define la Óptica Geométrica, es su propagación lineal, así como poder cambiar su dirección. Cuando hacemos que un rayo incida en un punto de diferente refracción se pueden observar dos fenómenos: el rayo se refleja y regresa al punto de partida en el cual existe un proceso de reflexión, donde el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia con relación a la superficie reflectante; o se origina refracción, debido a que el rayo se introduce en el medio refráctate.

TIPOS DE REFLEXIÓN

a) Reflexión de las ondas luminosas

La luz tiene la propiedad de que la totalidad de los cuerpos reflejan una parte de los rayos luminosos que inciden sobre ellos, esto es, que devuelve parte de la luz recibida al punto de partida.

Las leyes de la reflexión se pueden emplear tanto en una superficie plana como en una superficie curva, tal como lo indica la figura 1.1.

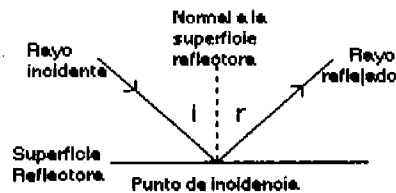


Figura 1. 1 Reflexión en superficies planas y curvas

b) Reflexión difusa

En el caso de la reflexión difusa los rayos son reflejados en distintas direcciones debido a la rugosidad de la superficie, figura 1.2.

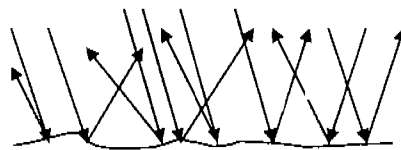


Figura 1. 2 Reflexión difusa de la luz

c) Reflexión total interna

Este efecto ocurre cuando la luz pasa de un medio que tiene un índice de refracción determinado a un medio con un índice de refracción menor, figura 1.3.

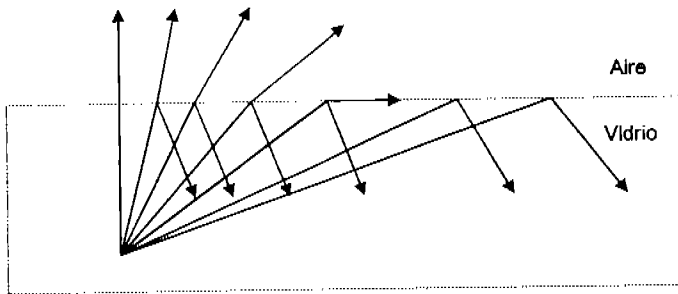


Figura 1.3 Reflexión total interna

REFRACCIÓN

La ley fundamental referente a la refracción, se le atribuye a W. Snell en la que establece una relación fija entre la desviación del haz refractado y la inclinación del haz incidente. El cambio de dirección que sufren los rayos luminosos al pasar de un medio a otro, donde su velocidad es distinta, da lugar a los fenómenos de refracción.

Así si un haz de rayos luminosos incide sobre la superficie de un cuerpo transparente, parte de ellos se reflejan mientras que otra parte se refracta, es decir penetran en el cuerpo transparente experimentando un cambio en su dirección de movimiento.

Esto es lo que sucede cuando la luz atraviesa los medios transparentes del ojo para llegar hasta la retina.

ÍNDICE DE REFRACCIÓN

El índice de refracción de un medio es el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío (3.108 m/s) y la velocidad de la luz en ese medio. No tiene unidades y siempre es mayor o igual que 1. Los índices de refracción y la velocidad de la luz conservan una relación inversamente proporcional.

$$n = \frac{\text{velocidad de la luz en el vacío}}{\text{velocidad de la luz en un medio}} = \frac{c}{v}$$

POLARIZACIÓN

Un haz de luz tiene diversas propiedades en cada una de las direcciones perpendiculares a su propagación correspondientes a una polarización rectilínea.

Existen cuatro fenómenos que generan ondas electromagnéticas polarizadas a partir de ondas no polarizadas: a) absorción, b) reflexión, c) dispersión ó scattering y d) birrefringencia ó doble difracción.

a) Polarización por Absorción

En la naturaleza se encuentra algunos cristales que si se cortan de una manera apropiada pueden absorber y transmitir luz de un modo diferente dependiendo de la polarización de la luz. Estos cristales se utilizan para obtener luz polarizada linealmente.

b) Polarización por Reflexión

Cuando la luz no polarizada se refleja en una superficie plana entre dos medios transparentes, la luz reflejada se encuentra parcialmente polarizada. El grado de polarización depende del ángulo de incidencia y de los índices de refracción de los dos medios. Si bien la luz reflejada esta totalmente polarizada cuando el ángulo es θ_p , la luz que se transmite esta solo parcialmente polarizada, esto se debe a que solo se refleja una pequeña parte de la luz incidente.

c) Polarización por Dispersión o Scattering

Un ejemplo común de este fenómeno es la dispersión de la luz solar mediante las moléculas de aire de la atmósfera de la tierra, y así se observa el cielo azul.

d) Polarización por birrefringencia

Es un fenómeno que se presenta en la calcita y algunos cristales no cúbicos y en algunos plásticos sometidos a alguna tensión. Estos materiales son isótropos, debido a su estructura atómica, los materiales birrefringentes son anisótropos, la velocidad de la luz depende de la dirección de propagación a través del material. Al incidir los rayos de luz en estos materiales, se separan en dos rayos, uno llamado rayo ordinario y el otro rayo extraordinario.

Estos rayos están polarizados en direcciones recíprocamente perpendiculares y se propagan en velocidades diferentes.

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Las ondas electromagnéticas se agrupan bajo distintas denominaciones según su frecuencia, aunque no existe un límite muy preciso para cada grupo. Además, una misma fuente de ondas electromagnéticas puede generar al mismo tiempo ondas de varios tipos.

- **Ondas de radio:** son las utilizadas en telecomunicaciones e incluyen las ondas de radio y televisión. Su frecuencia oscila desde unos pocos hercios hasta mil millones de hercios. Se originan en la oscilación de la carga eléctrica en las antenas emisoras (dipolo radiante).
-
- **Microondas:** Se utilizan en las comunicaciones del radar o la banda UHF (Ultra High Frequency) y en los hornos de las cocinas. Su frecuencia va desde los mil millones de hercios hasta casi el billón. Se producen en oscilaciones dentro de un aparato llamado magnetrón. El magnetrón es una cavidad resonante formada por dos imanes de disco en los extremos, donde los electrones emitidos por un cátodo son acelerados originando los campos electromagnéticos oscilantes de la frecuencia de microondas.
- **Infrarrojos:** Son emitidos por los cuerpos calientes. Los tránsitos energéticos implicados en rotaciones y vibraciones de las moléculas caen dentro de este rango de frecuencias. Los visores nocturnos detectan la radiación emitida por los cuerpos a una temperatura de 37° . Sus frecuencias van desde 10^{11}Hz a $4 \cdot 10^{14}\text{Hz}$. Nuestra piel también detecta el calor y por lo tanto las radiaciones infrarrojas.

- **Luz visible:** Incluye una franja estrecha de frecuencias, los humanos tenemos unos sensores para detectarla (los ojos, retina, conos y bastones). Se originan en la aceleración de los electrones en los tránsitos energéticos entre órbitas permitidas. Entre $4 \cdot 10^{14}$ Hz y $8 \cdot 10^{14}$ Hz.
- **Ultravioleta:** Comprende de $8 \cdot 10^{14}$ Hz a $1 \cdot 10^{17}$ Hz. Son producidas por saltos de electrones en átomos y moléculas excitados. Tiene el rango de energía que interviene en las reacciones químicas. El sol es una fuente poderosa de UVA (rayos ultravioleta) los cuales al interactuar con la atmósfera exterior la ionizan creando la ionosfera. Los rayos ultravioleta pueden destruir la vida y se emplean para esterilizar. Nuestra piel detecta la radiación ultravioleta y nuestro organismo se pone a fabricar melanina para protegernos de la radiación. La capa de ozono nos protege de los UVA.
- **Rayos X:** Son producidos por electrones que saltan de órbitas internas en átomos pesados. Sus frecuencias van de $1 \cdot 10^{17}$ Hz a $1,1 \cdot 10^{19}$ Hz. Son peligrosos para la vida: una exposición prolongada produce cáncer.
- **Rayos gamma:** comprenden frecuencias mayores de $1 \cdot 10^{19}$ Hz. Se origina en los procesos de estabilización en el núcleo del átomo después de emisiones radiactivas. Su radiación es muy peligrosa para los seres vivos.

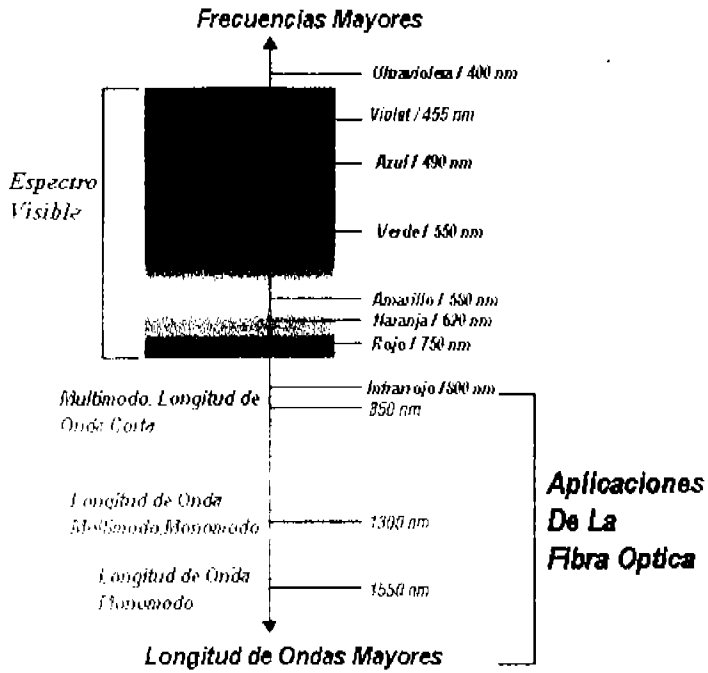


Figura 1. 5 Espectro Electromagnético

CAPITULO 2.

"FIBRA ÓPTICA Y ELEMENTOS OPTOELECTRÓNICOS"

CONDUCCIÓN DE LA LUZ

Cualquier fibra óptica esta integrada por dos capas, cada una con diferente índice de refracción, quien tiene el índice mas elevado es el núcleo y debido a esta diferencia la luz que viaja dentro de ella se mantiene y se propaga por el núcleo.

DEFINICIÓN

Las fibras ópticas son filamentos de vidrio o cuarzo, cuyas dimensiones son similares al cabello humano, su estructura esta formada por un "núcleo" rodeado por un material dieléctrico transparente llamado "revestimiento", figura 2.1.

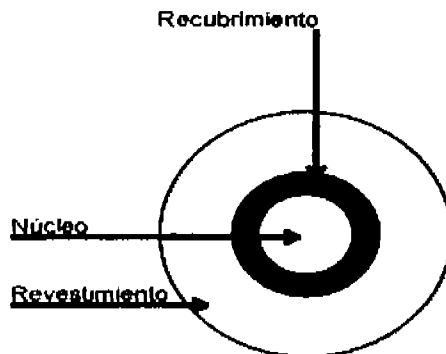


Figura 2.1 Estructura de una fibra óptica

Núcleo

Es la sección central por donde viaja la luz a través de la fibra óptica. Tiene un índice de refracción mayor que el revestimiento.

Revestimiento

Es la sección que rodea al núcleo y se encarga de guiar la luz que se propaga a través de este.

ATENUACIÓN

La atenuación es la pérdida de energía que sufre la luz al viajar en la fibra óptica y se mide en decibelio por kilómetro (dB/Km).

Al ir desarrollando las técnicas de fabricación de las fibras ópticas cada vez van siendo menores las atenuaciones que se obtienen, actualmente en fibras ópticas monomodo se obtiene una atenuación del orden de 0.4 dB/Km.

La absorción y la difusión son las dos principales causas de atenuación en una fibra óptica. Hay dos tipos de absorción: una llamada absorción intrínseca y la otra absorción extrínseca.

PERDIDAS INTRÍNSECAS

a) Absorción por Rayos Ultravioleta e Infrarrojos

Estas pérdidas son ocasionadas por la interacción que existe entre los fotones que viajan a través de la fibra óptica y las moléculas que componen el núcleo.

La absorción ocasionada por rayos ultravioleta es casi despreciable a partir de los 1000 nm y decrece con la longitud de onda, a su vez la absorción por rayos infrarrojos es originada por la vibración entre átomos de silicio y oxígeno, aumenta con la longitud de onda, pero se desprecia después de los 1400 nm.

b) Scattering Rayleigh

Este fenómeno se produce cuando la luz choca con partículas extrañas al viajar a través de la fibra óptica, el cual origina una difracción que absorbe parte del espectro de la señal y produce una pérdida de energía de la longitud de onda.

Este fenómeno es conocido como efecto Rayleigh y afecta a longitudes de onda comprendidas entre 400 y 1100 nm.

PERDIDAS EXTRÍNSECAS

Absorción por Impurezas

Las impurezas mas comunes en las fibras de silicio son las metálicas, como: hierro, cromo, cobalto y níquel. Las perdidas originadas por impurezas metálicas son de alrededor de 1 dB/Km., pero este tipo de perdidas se puede reducir al mínimo durante el proceso de fabricación.

PERDIDAS

a) Curvaturas de la Fibra Optica

Cada que la fibra óptica sufre alguna curvatura debido a diferentes factores durante su instalación, se origina una atenuación, ya que el núcleo como el revestimiento dejan de ser geoméricamente uniformes.

Estas pérdidas son inapreciables hasta que se sobrepasa la curvatura crítica, figura 2.2.

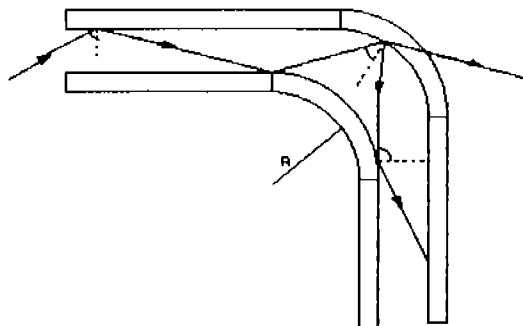


Figura 2.2 Perdidas por curvaturas de la Fibra Óptica

APERTURA NUMÉRICA

Este concepto es de mucha importancia, ya que es una propiedad de las fibras ópticas para reunir la luz y propagarla. La apertura numérica de una fibra va a depender del índice de refracción del núcleo y el índice de refracción del recubrimiento, sin tomar en consideración sus dimensiones.

Cualquier rayo luminoso que se acerque a la cara de entrada de la fibra se va a propagar, siempre y cuando el rayo luminoso pueda reflejarse totalmente en el ángulo máximo de entrada.

En las fibras comerciales las aperturas numéricas varían entre 0.1 y 0.6, y en cuanto más sea la diferencia entre el índice del núcleo y el índice del recubrimiento, mayor será la apertura numérica, y a su vez aumentará el número de ángulos de entradas que permiten la propagación de la luz.



Figura 2.4 Cono de Aceptancia

DISPERSIÓN

La dispersión es una propiedad que limita el ancho de banda en una fibra óptica, lo cual va a afectar la transmisión de la señal, y se debe a la duración del pulso que viaja por la fibra óptica.

TIPOS DE DISPERSIÓN

a) Dispersión Cromática

El índice de refracción del material con que esta fabricada la fibra óptica varía con la longitud de onda, y se refleja en la velocidad de propagación diferente para cada onda.

Al viajar la luz de diversas longitudes en una difracción dada o modo específico la luz se propaga a diferentes velocidades, dependiendo de la longitud de onda.

b) Dispersión Modal

En una fibra óptica todos los modos de propagación no siguen las mismas trayectorias. Los modos de menor orden viajan casi en línea recta, y a su vez los modos de mayor orden tienen un gran número de reflexiones totales, las cuales tienen trayectorias en zigzag.

c) Dispersión de Guía de Onda

Cuando una fibra óptica presenta diferentes índices de refracción en su núcleo, se presenta la dispersión de guía de onda debido a que la longitud o longitudes de onda del rayo de luz que ha de viajar por medio de la fibra óptica, sufre un cambio de velocidad dependiendo en que lugar de la fibra óptica viaje.

CLASIFICACIÓN

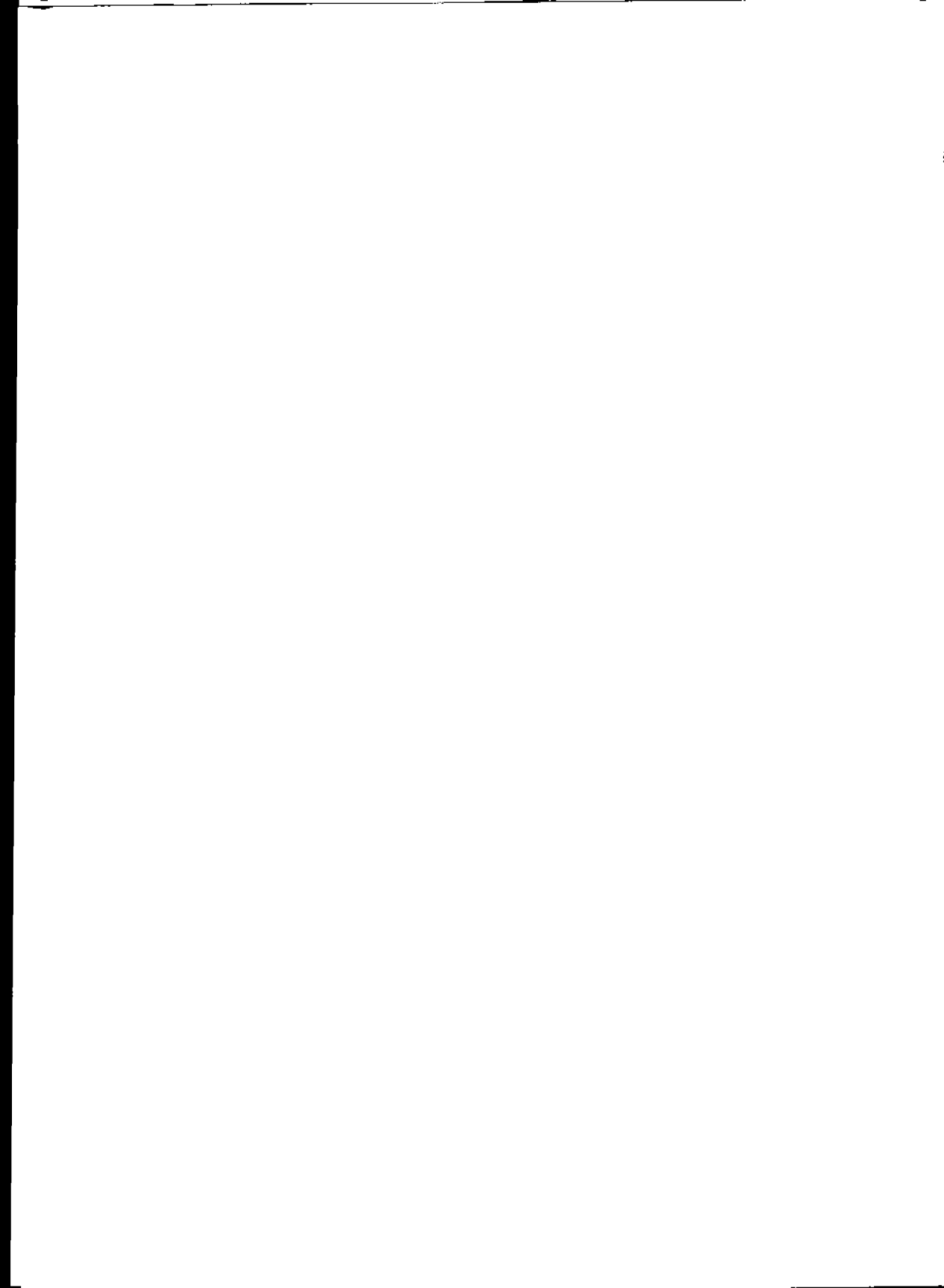
Las fibras ópticas pueden clasificarse de acuerdo a la cantidad de modos de propagación que se clasifican en:

- Monomodo
- Multimodo

Monomodo

Esta fibra óptica tiene una elevada eficiencia en las telecomunicaciones a grandes distancias. Se caracterizan por tener un núcleo con un diámetro muy pequeño alrededor de 6 a 8 μm , mientras que el revestimiento es de 125 μm .

Para este tipo de fibra óptica se tienen posibles bandas pasantes superiores a los 50 Ghz por kilómetro. Tiene un núcleo tan pequeño el cual solo permite una modalidad de transmisión, figura 2.5.



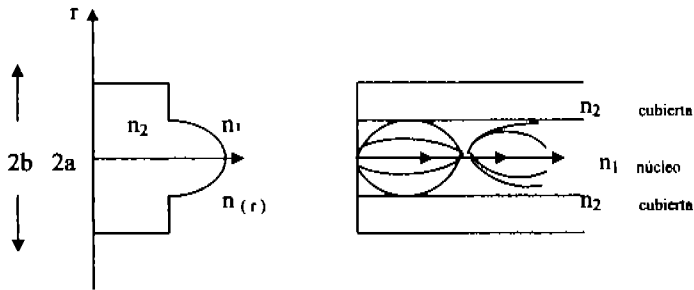


Figura 2. 6 Fibra de Índice Gradual

- De Salto de Índice

El núcleo de este tipo de fibra óptica tiene un índice de refracción constante, al llegar al revestimiento, el cambio es constante que el índice de refracción es menor y esto provoca que la luz tome trayectorias en forma de zigzag, provocados por la reflexión total que sufre la luz al chocar con un medio de diferente al núcleo; su diámetro del núcleo es de 50 a 200 μm , figura 2.7.

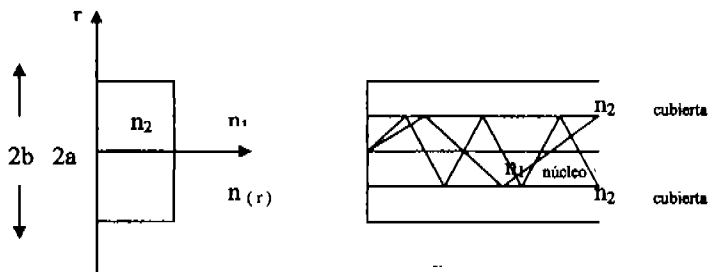
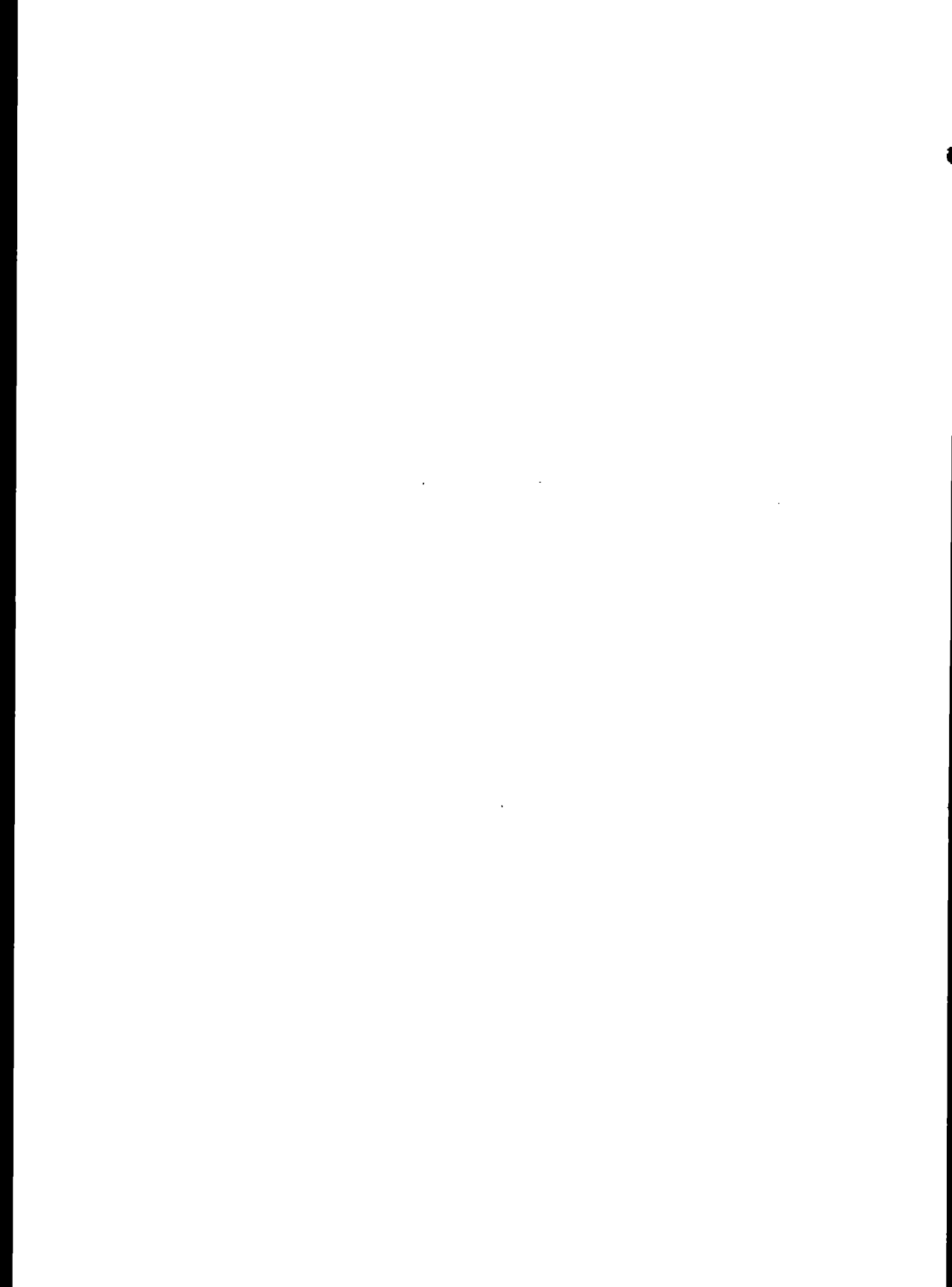


Figura 2. 7 Fibra de Salto de Índice



CLASES

a) Núcleo de Vidrio forrada con Plástico

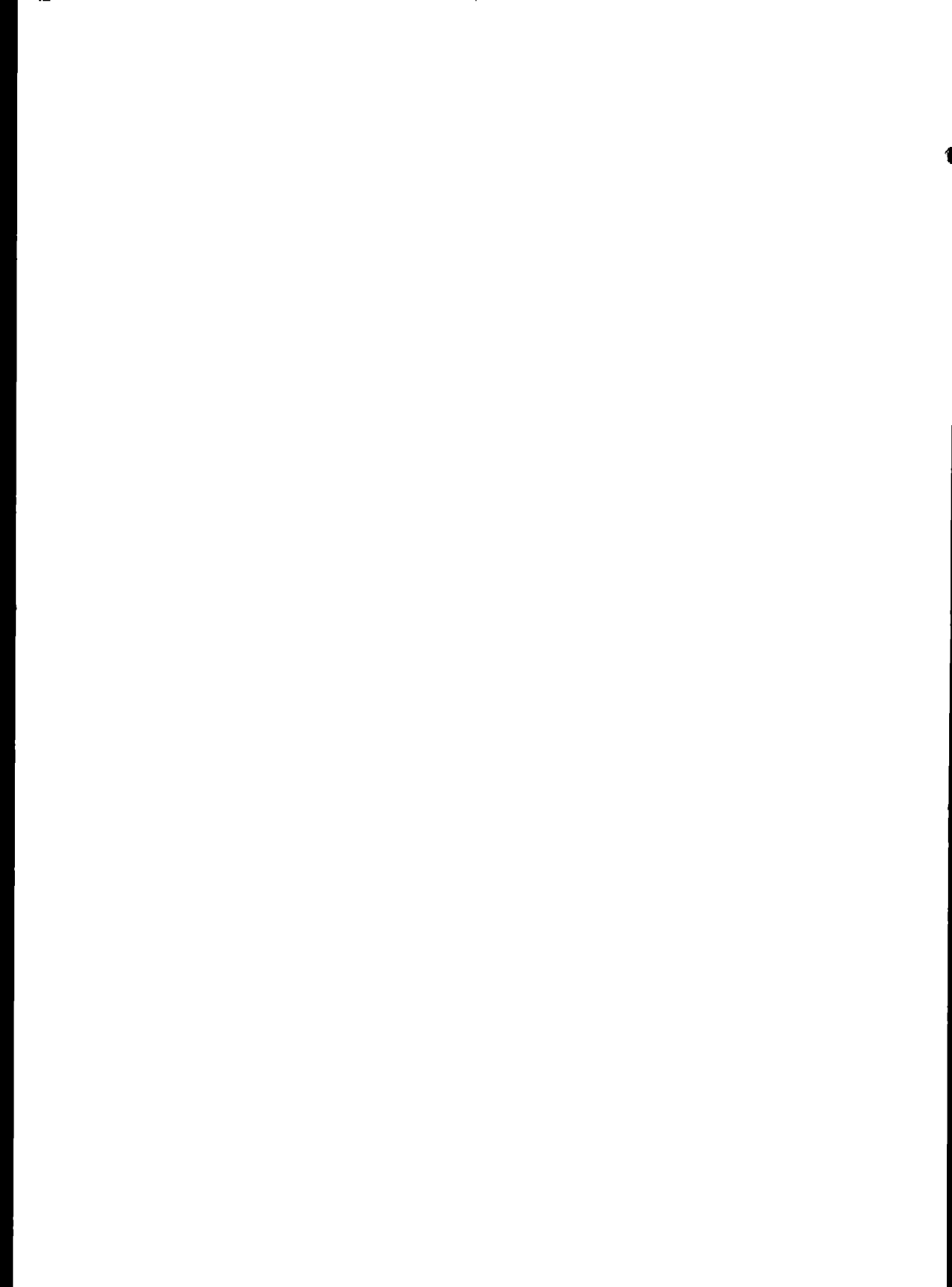
En la fabricación de esta clase de fibra óptica puede obtenerse sin dificultades en diámetros de 50 μm hasta 1 mm en cualquier longitud, por lo que no van a ser necesarios empalmes.

b) Núcleo de Plástico forrada con Plástico

La utilización de silicio en su fabricación permite una importante apertura numérica, entre 0,33 y 0,58. Una de las principales aplicaciones de esta clase de fibras, es en las transmisiones de datos, ya que resiste a las radiaciones nucleares.

c) Núcleo de Vidrio forrada con Vidrio

Este es el tipo de fibra que se presenta las mejores cualidades ópticas, esta formada de dos partes: el núcleo de vidrio y el recubrimiento del mismo material. Es común que tanto el núcleo como el recubrimiento sean de la misma clase de vidrio, se utiliza una sustancia modificadora para aumentar el índice de refracción del núcleo o para disminuir el índice de refracción del recubrimiento.



En distancias de 50 a 100 kilómetros, es necesario utilizar para su fabricación un vidrio demasiado transparente. Para distancias mayores a 100 kilómetros se utiliza silicio, ya sea que pueda obtenerse de cristales naturales o sintéticos químicos.

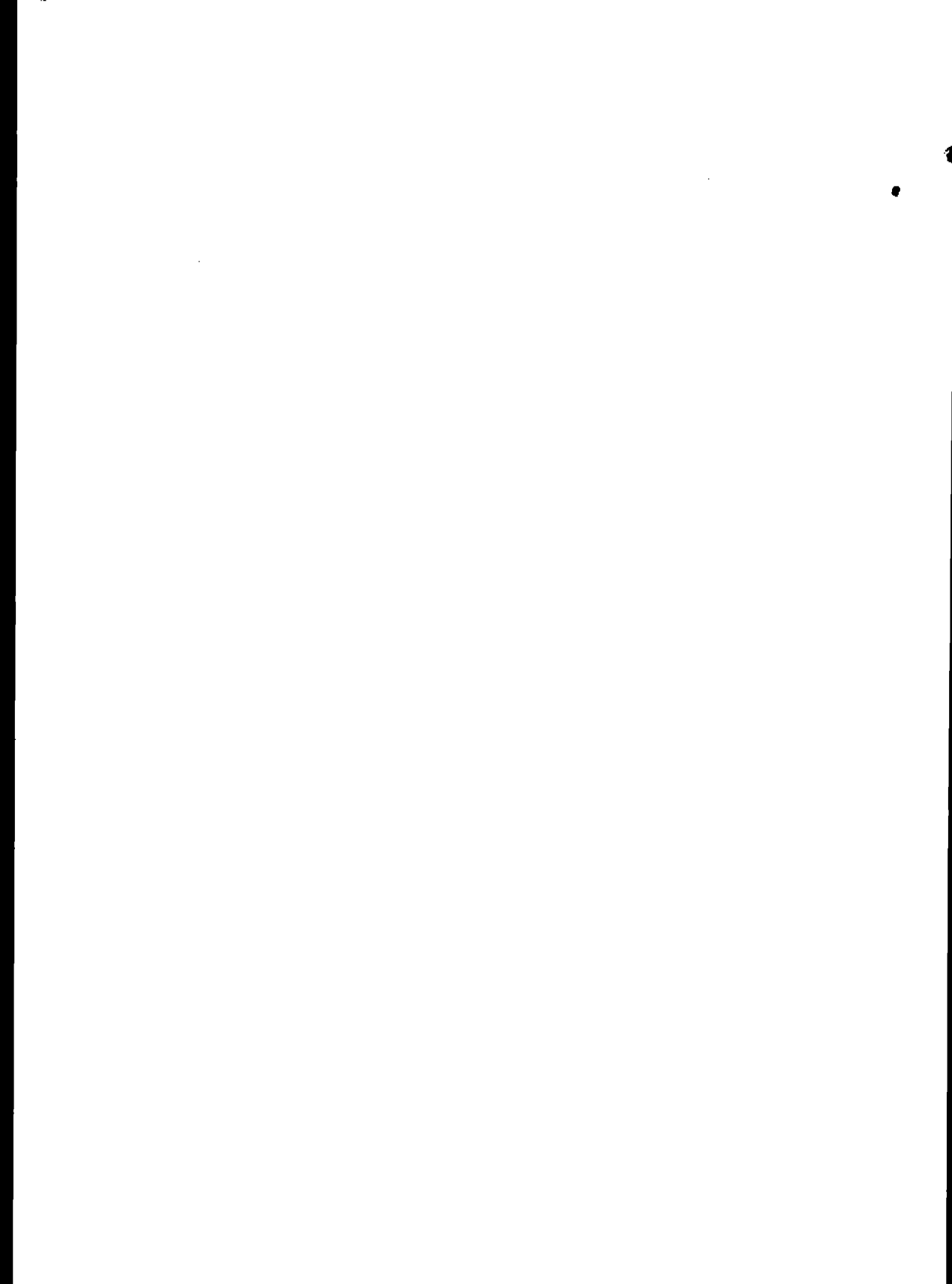
ESTRUCTURA

a) Clásica

En la figura 2.8 se muestra una fibra óptica con dos guías ópticas y revestimiento secundario de resina fluorada, y en seguida parte de plástico producido por Du Pont de Nemours, al igual que la cubierta exterior a base de Hytrel o un componente de las mismas características.

En la estructura clásica como se muestra, la forma es cilíndrica, cada fibra esta protegida por un tubo de poliuretano. Todo se encuentra rodeado por una vaina de polietileno, una cinta de aluminio y un revestimiento de teflón.

Este tipo de fibra estructura de fibra óptica, se caracteriza por tener una protección efectiva y es muy apropiado para realizar conducciones subterráneas; tiene una elevada resistencia mecánica, tanto a la tracción como a la compresión.



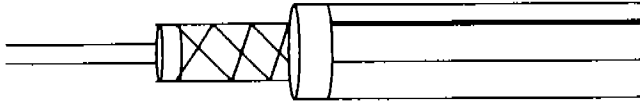
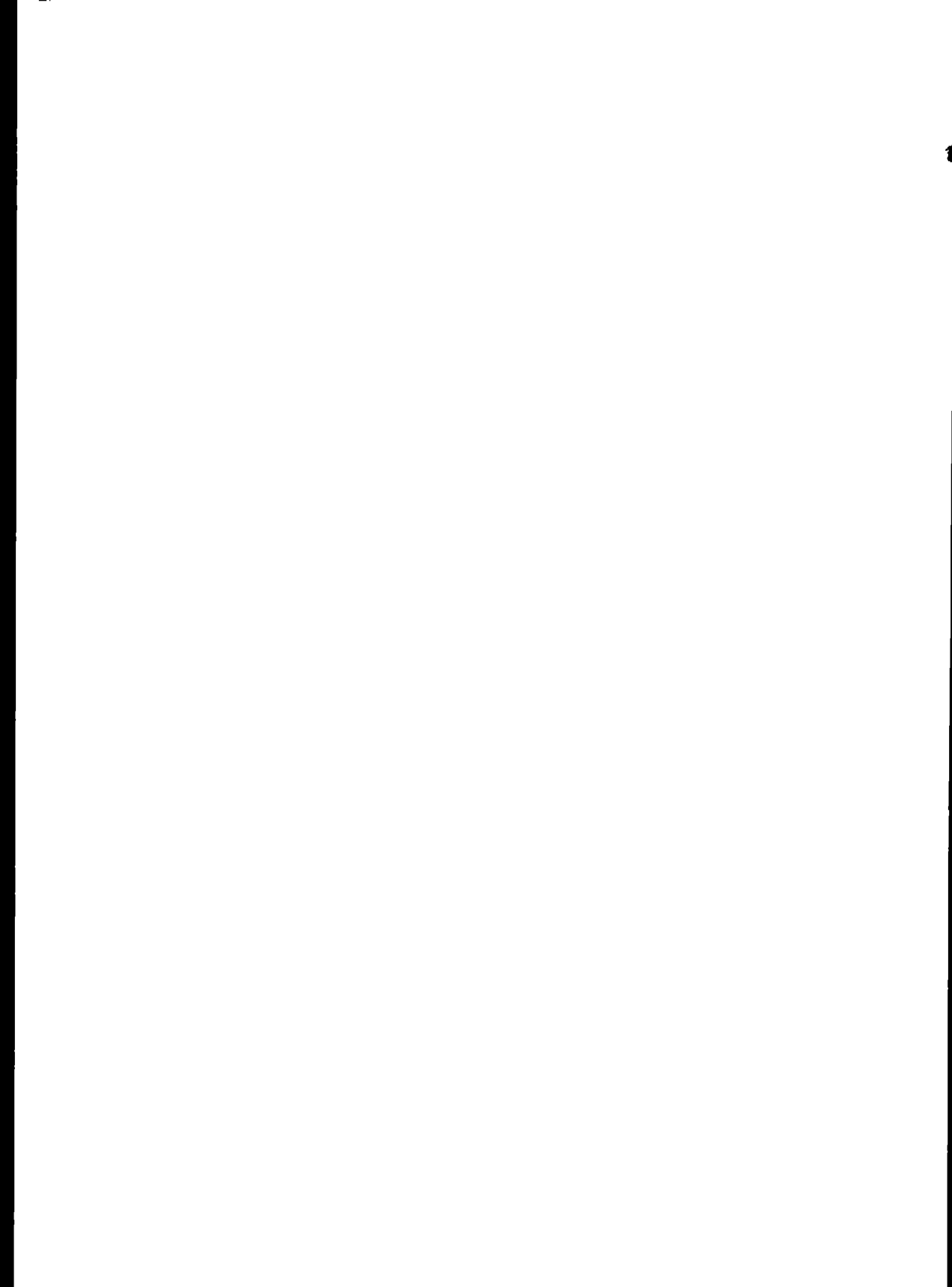


Figura 2..8 Fibra con dos guías ópticas

b) Estructura de Cinta

En este clase de estructura se encuentra el tipo 144, la cual cuenta con doce cintas, en cada cinta hay un numero definido de fibras (figura 9 y 10), su diámetro total es de 12 mm, el conjunto de estas fibras esta conformado por grupos de cinco, seis o doce fibras, revistiendo cada cinta con un material aislante de características adecuadas.

Las cintas se enrollan en forma helicoidal en un forro exterior de muy elevada rigidez. La principal ventaja de esta estructura es la posibilidad de realizar conexiones globales de un gran número de fibras al mismo tiempo.



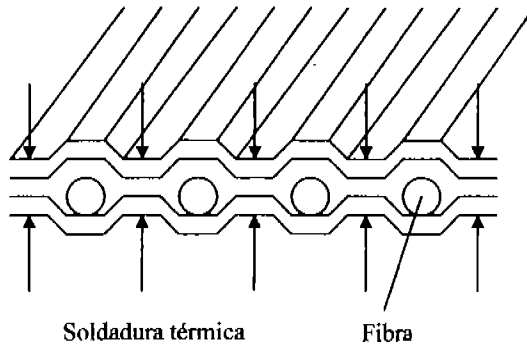


Figura 2.9 Preparación de la cinta

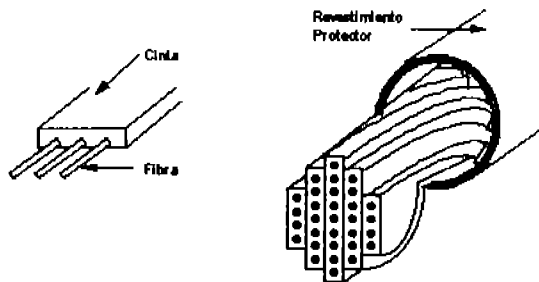
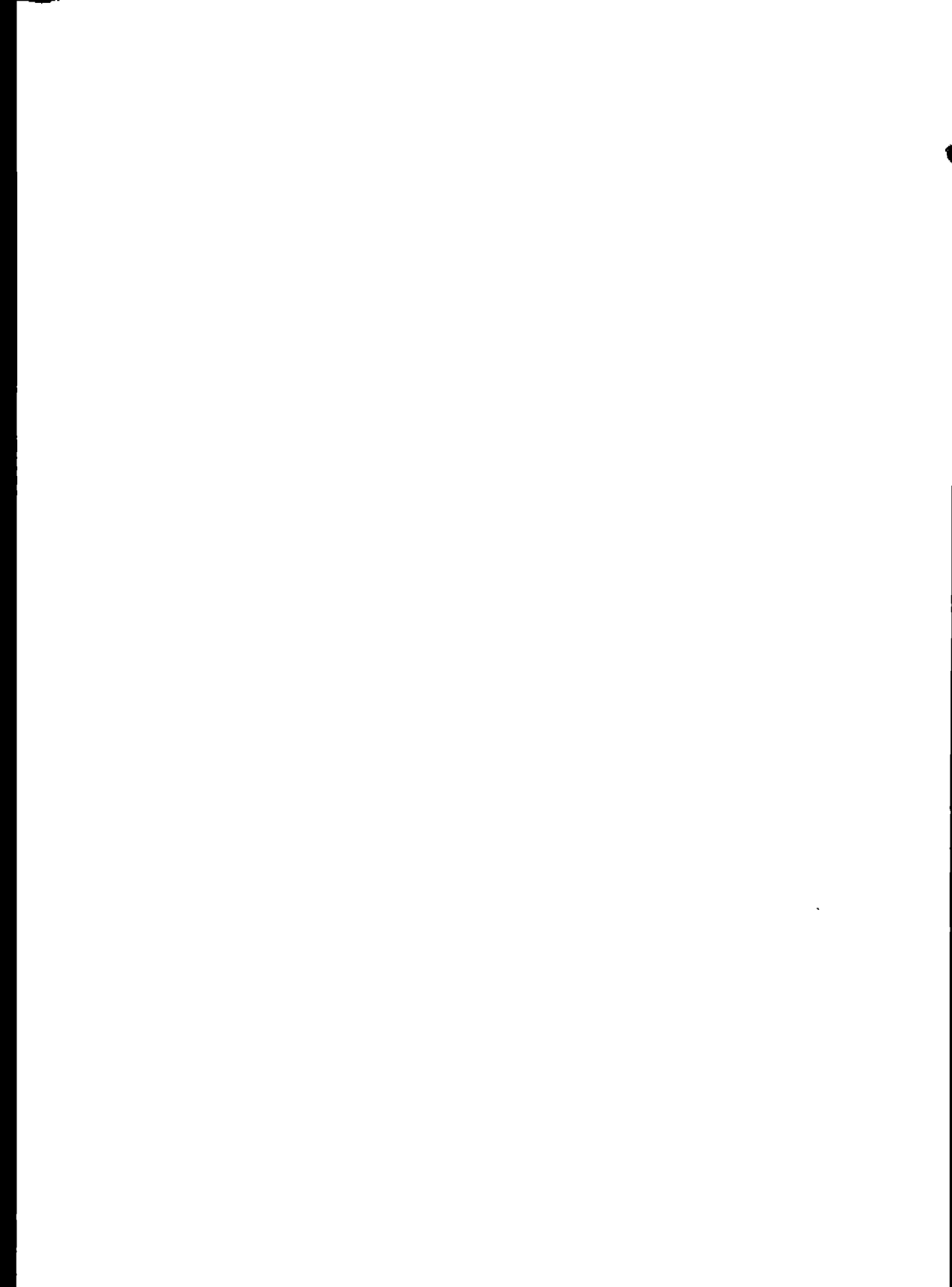


Figura 2. 10 Estructura de Cinta

c) Estructura Helicoidal Ranurada

La tracción aplicada al cable es soportada por este tipo de estructura, existe un portador cilíndrico con ranuras helicoidales, en el cual se colocan fibras ópticas de manera holgada, y están recubiertas con una capa de espuma de poliuretano. En la figura 2.11 la estructura está rodeada por una cinta ligera, y el conjunto está protegido por una vaina que resiste la presión mecánica.



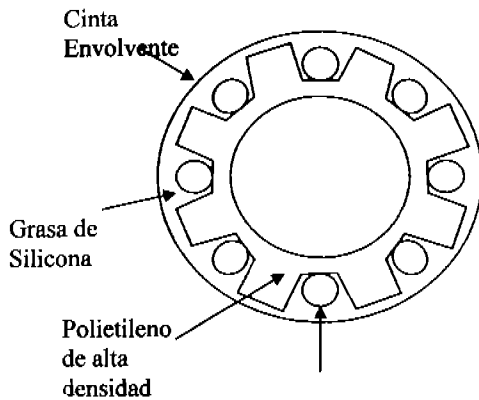


Figura 2. 11 Estructura Helicoidal Ranurada

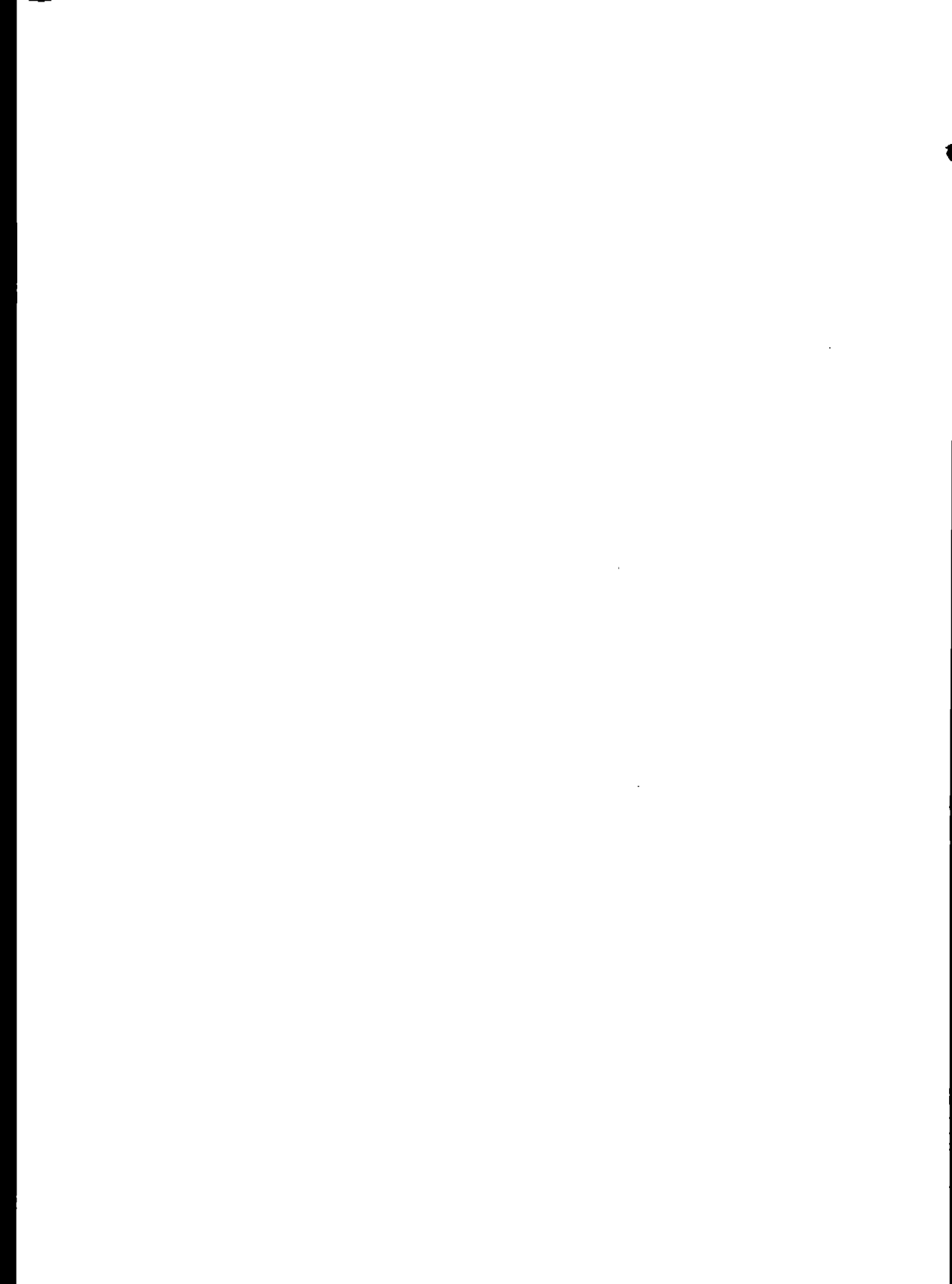
CARACTERÍSTICAS

a) Esfuerzo

El esfuerzo en una fibra óptica es causado principalmente por la tensión o fuerza aplicada al momento de su instalación o durante su fabricación. Si se exceden estos esfuerzos pueden causar fracturas en la fibra óptica

b) Resistencia a la Tracción

La resistencia nominal a la tracción de una fibra óptica con diámetro de 0,01 mm es de 100 Kg. /mm², hay límites para el ángulo de curvatura, y debido al forro se impide que se sobrepase dicha



curvatura. Para una del diámetro mencionado, el radio de la curva nominal es de 0,07 mm.

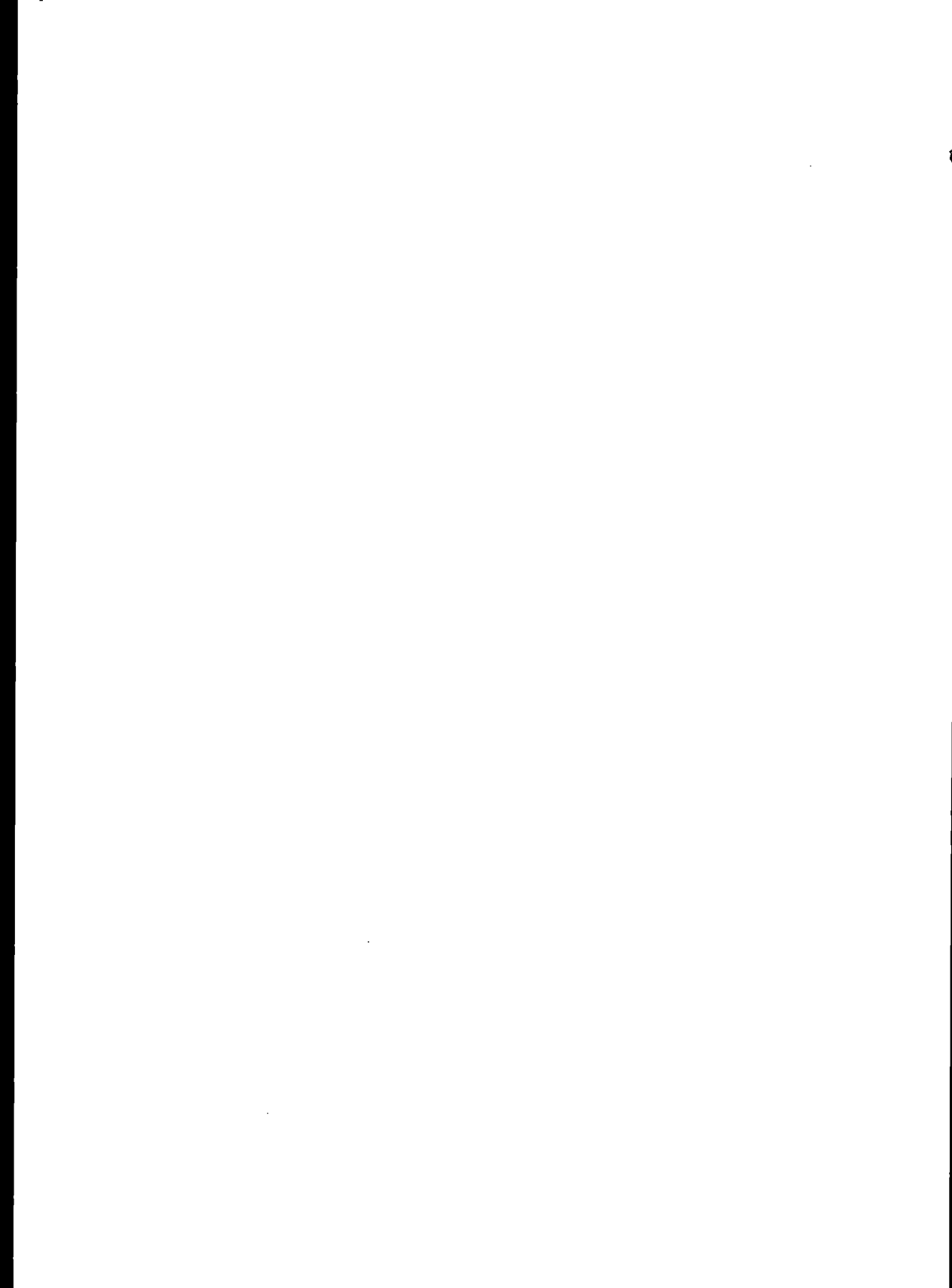
Al someter a una fibra a demasiada flexión puede llegar a romperse el forro, lo que provocaría pérdidas que reducirían la calidad de la transmisión. Las fibras que resisten mayores encurvamientos, son las fibras sintéticas obtenidas por extrusión, este tipo de fibras tienen una resistencia elevada a la tracción.

c) Limitaciones Químicas

Las fibras ópticas poseen limitaciones químicas, las cuales se presentan en determinadas longitudes de onda. Los efectos causados por la irradiación del Laser de mucha potencia causan un deterioro en las fibras.

La irradiación produce un cambio en el color del material transparente de las fibras, provocando que se oscurezcan.

El material en estado de extrema pureza que es menos afectado por la irradiación, es el cuarzo, solo que es difícil fabricar fibras con este material.



d) Limitaciones Térmicas

Dependiendo del material en que estén fabricadas las fibras ópticas, ya sean vidrios o materiales sintéticos, las limitaciones térmicas tendrán diferencias.

El calor puede ser provocado por diversos factores, las fibras no son afectadas por temperaturas menores a 120° C.

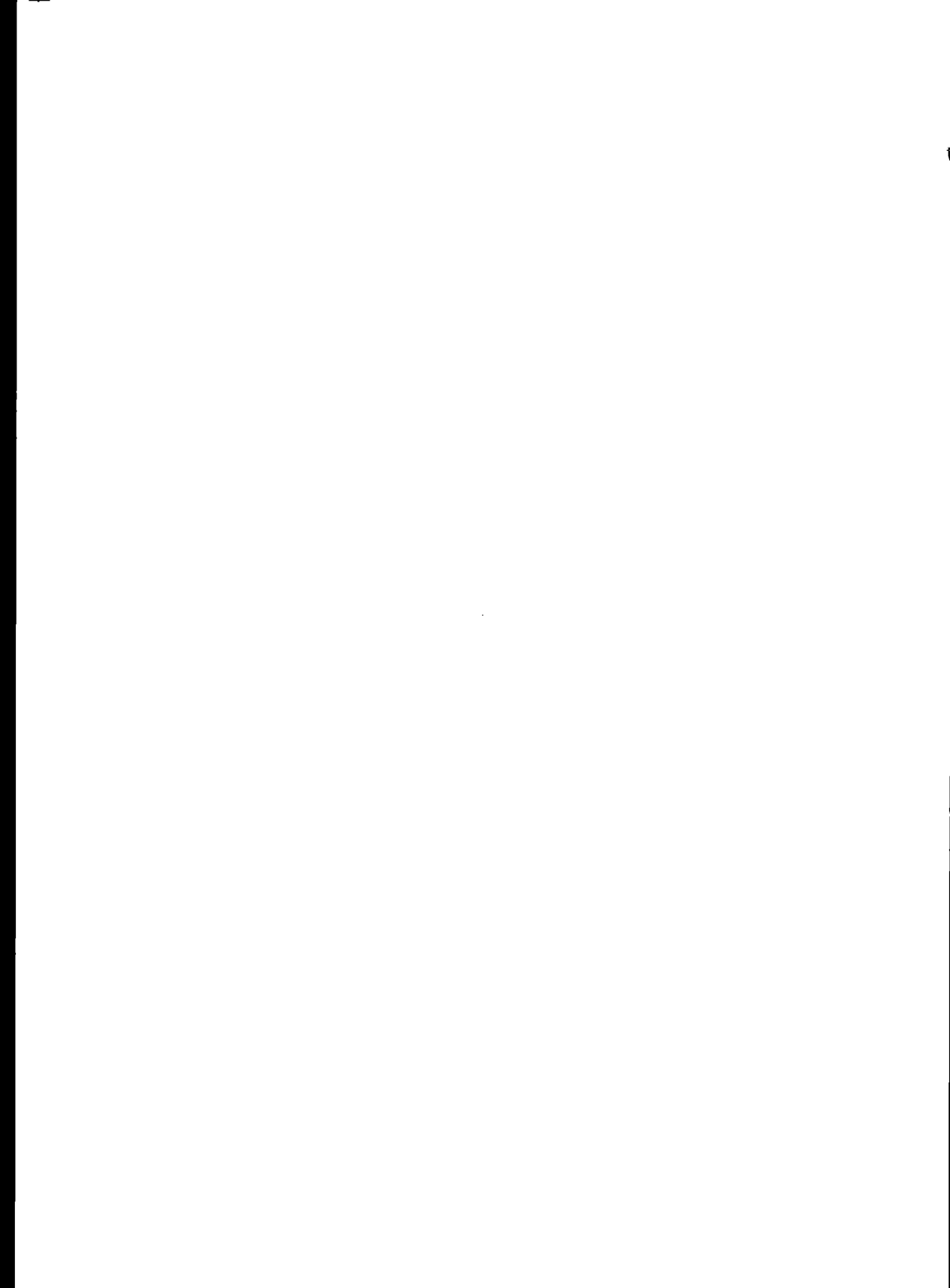
e) Dimensiones y Formas

Son tres los factores que deben considerarse en los diferentes tipos de fibras ópticas: longitud, diámetro y acción de sus extremos.

Las fibras ópticas utilizadas en las telecomunicaciones tienen una gran longitud, así mismo en aplicaciones opto electrónicas la longitud es de 200 a 2000 metros aproximadamente.

Las fibras fabricadas con fosfosilicato utilizadas en telecomunicaciones, tienen diámetros totales que van desde 0,05 hasta 0,10 mm.

Los diámetros de la mayor parte de las fibras ópticas fabricadas en vidrio con forro, están especificadas en la siguiente tabla:

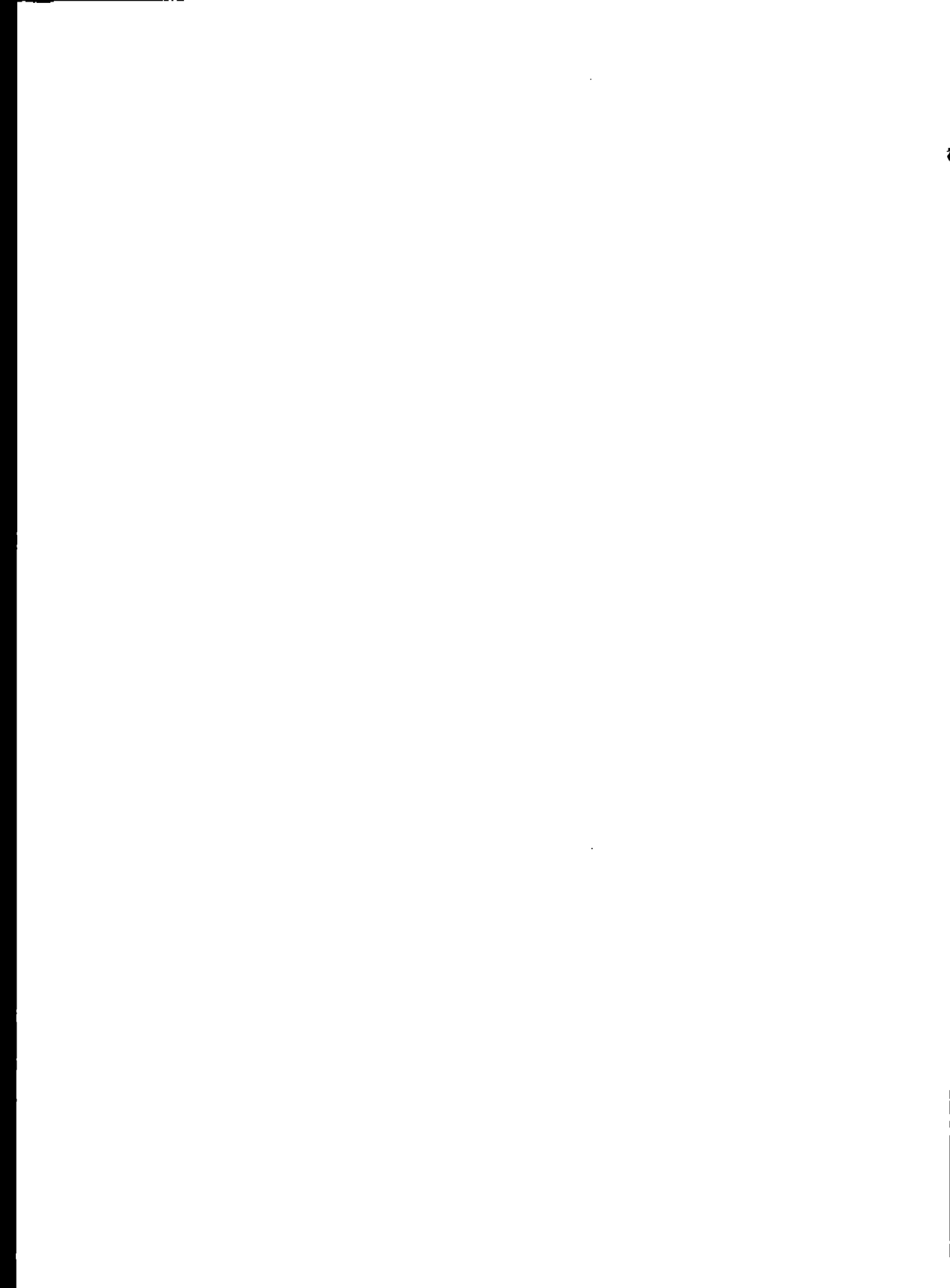


Diámetro nominal en milímetros	Micras
0,01	8 a 10
0,02	15 a 20
0,03	15 a 30
0,04	45
0,05	50
0,07	75
1	100
1,50	150
2,50	250

MÉTODOS DE FABRICACIÓN

a) Método de Doble Crisol

El método más básico en la fabricación de fibras ópticas con forro de vidrio, es el de doble crisol, como se observa en la figura 2.10, el cual consiste en un estiramiento a través de un mecanismo de hilatura, compuesto por dos crisoles. Uno de los materiales utilizados para la fabricación del núcleo es el silicio, se calienta en el depósito central y el forro en el exterior, hasta alcanzar el punto de fusión en que fluyan dentro de los crisoles.



Los crisoles son cilíndricos y rigurosamente concéntricos hechos de platino o silicio, es muy importante que la temperatura sea constante durante la proceso de fabricación de la fibra óptica.

Con este método se obtienen fibras de vidrio de índice escalonado, así como fibras de índice gradual, figura 2.12.

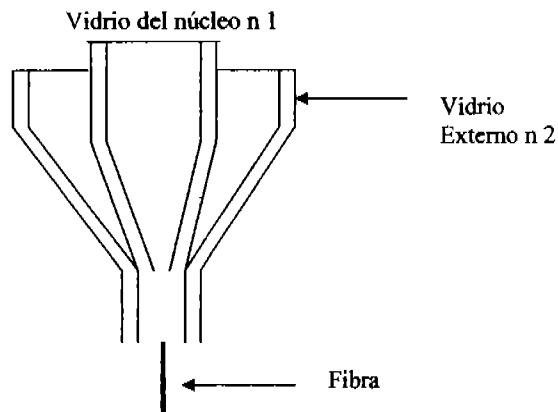
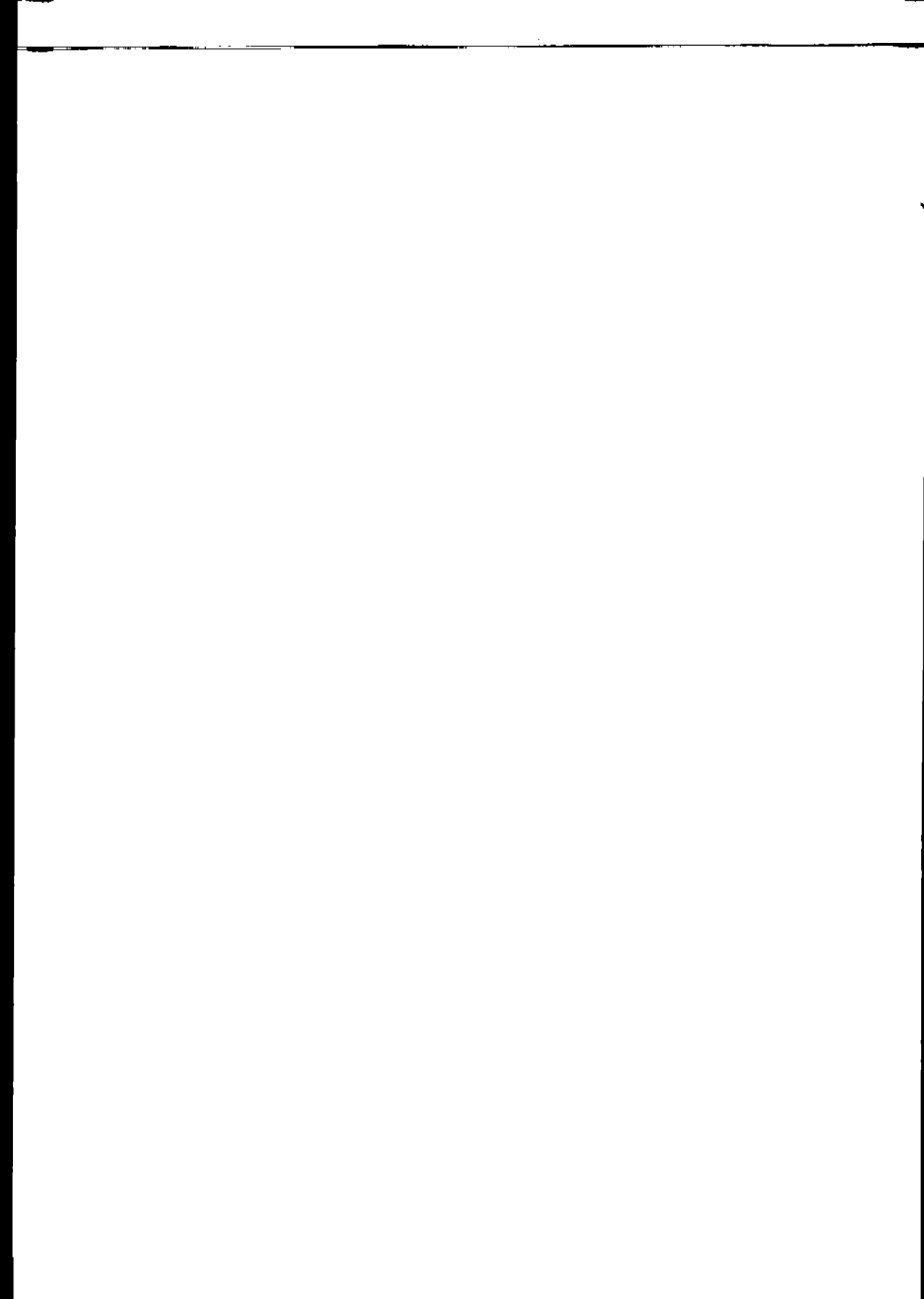


Figura 2.12 Hilitura mediante dos crisoles

b) Método de Preforma

Otro método de fabricación de fibras ópticas consiste en la elaboración de una preforma, la cual es una barra cilíndrica que tiene la prefigura de una fibra óptica,

La barra cilíndrica es de corta longitud, esta a su vez se estira inmediatamente para formar la fibra. El diámetro del núcleo y del forro así como su perfil de índice es el mismo al de la preforma, figura 2.13.



EMPALME MECÁNICO

Este empalme es utilizado cuando se tiene un corte de fibra óptica y es necesario restablecer de inmediato el servicio, este empalme no debe ser permanente, ya que produce demasiadas pérdidas.

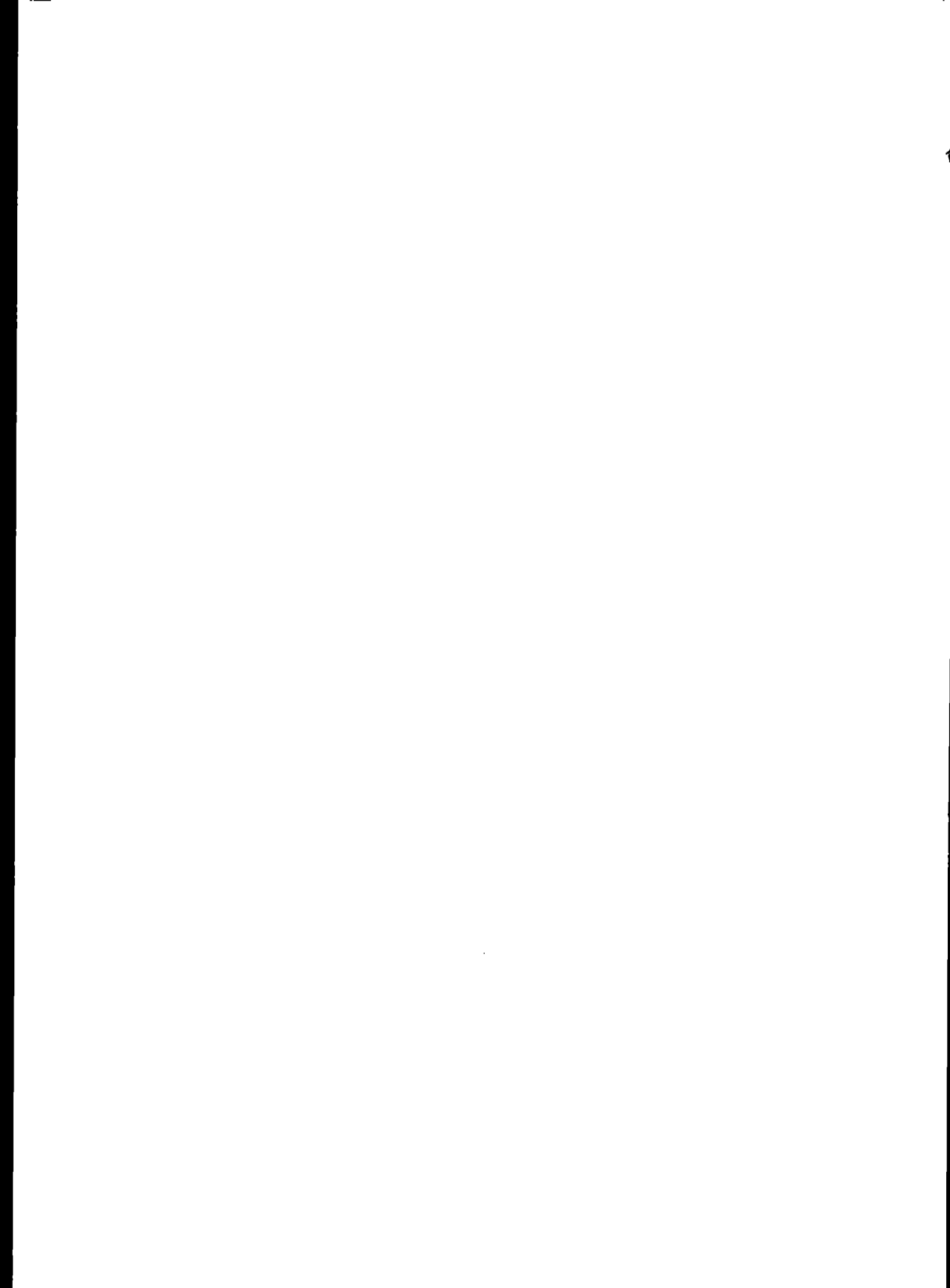
En los enlaces de corta distancia que se puedan tolerar pérdidas considerables se utilizan empalmes mecánicos con diferentes métodos de unión de fibras ópticas como:

- Varillas (de acero o vidrio)
- Elastomérico
- Ranurada en forma V
- Otros métodos

a) Método de Varillas

Este es el método principalmente utilizado en empalmes mecánicos, casi siempre se utilizan tres o mas varillas de acero o vidrio acomodadas como se aprecia en la figura 2.14 para lograr que en el orificio central se alinien las fibras que vamos a unir.

En este método se puede agregar una sustancia llamada "epóxica", la cual se utiliza para unir las fibras ópticas y al mismo tiempo funciona como acoplador óptico.



Las varillas que se utilizan en este método son de un diámetro mucho mayor que el de la fibra óptica y es importante que tengan dimensiones muy precisas con tolerancias menores a $0.04\mu\text{m}$.

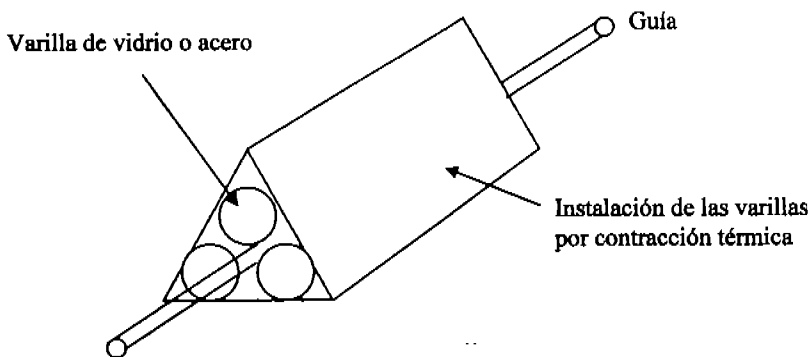
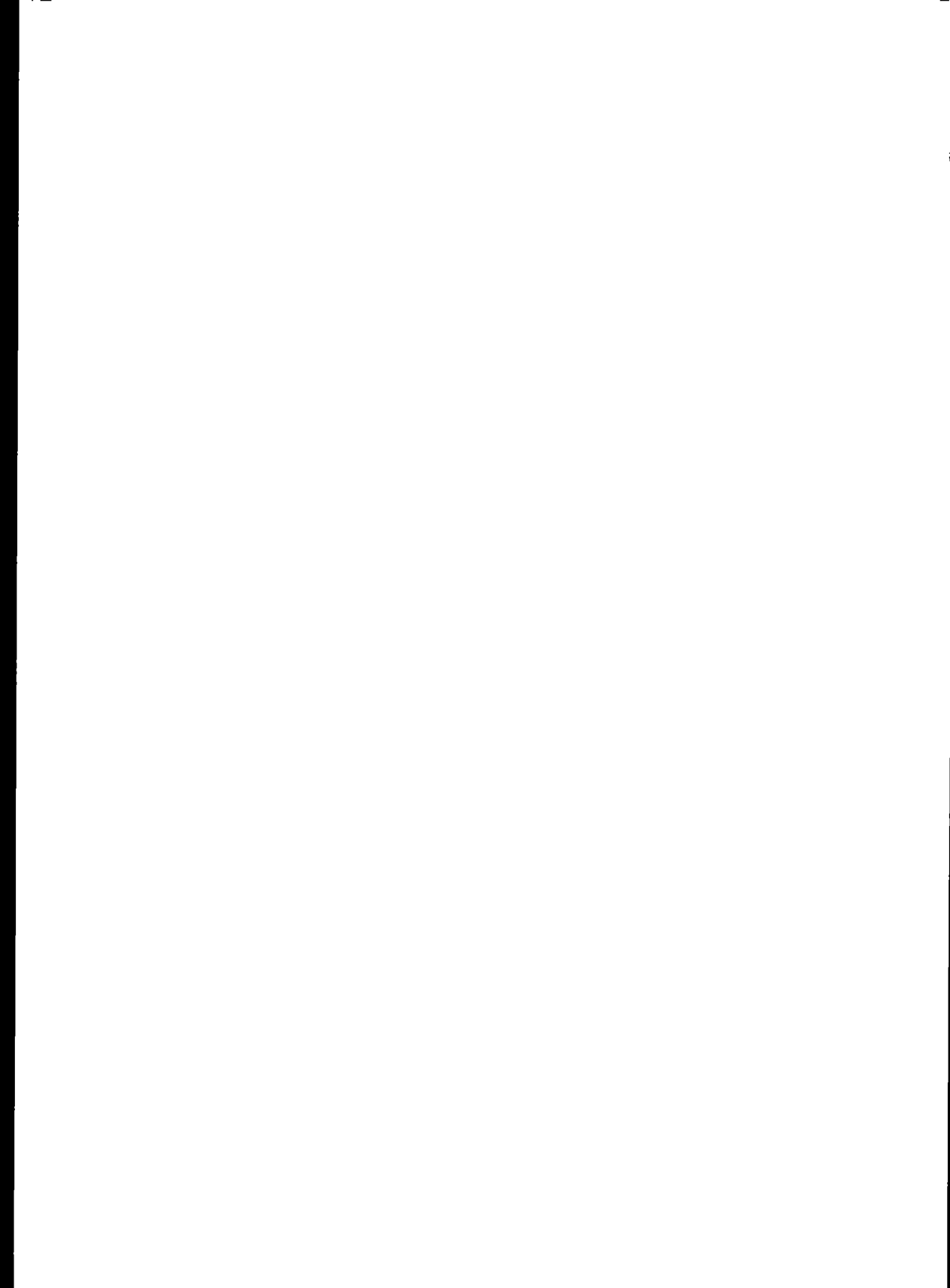


Figura 2.14 Empalme mecánico por método de varillas

b) Método de Ranura en V

Es uno de los métodos más utilizados en empalmes mecánicos; cuando las fibras ópticas están ya cortadas y preparadas, son colocadas en ambos extremos de una ranura acanalada en forma de V, así se alinean las fibras para la unión, se agrega un adhesivo el cual tiene un índice de refracción igual al del núcleo de la fibra óptica.

Esta unión se realiza utilizando una tapa, la cual sujeta las fibras ópticas, manteniéndolas en contacto.



Existen varios tipos de empalmes utilizando el método de ranura en V, el empalme mas sencillo es realizado con una tapa plana el cual se describe en la figura 2.15.

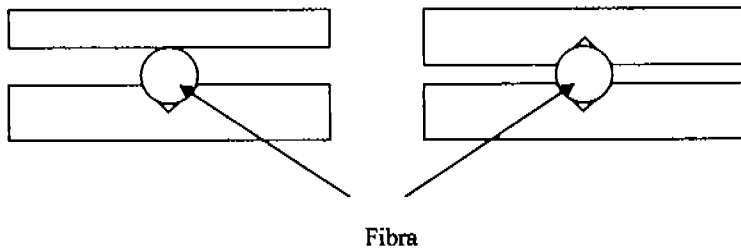


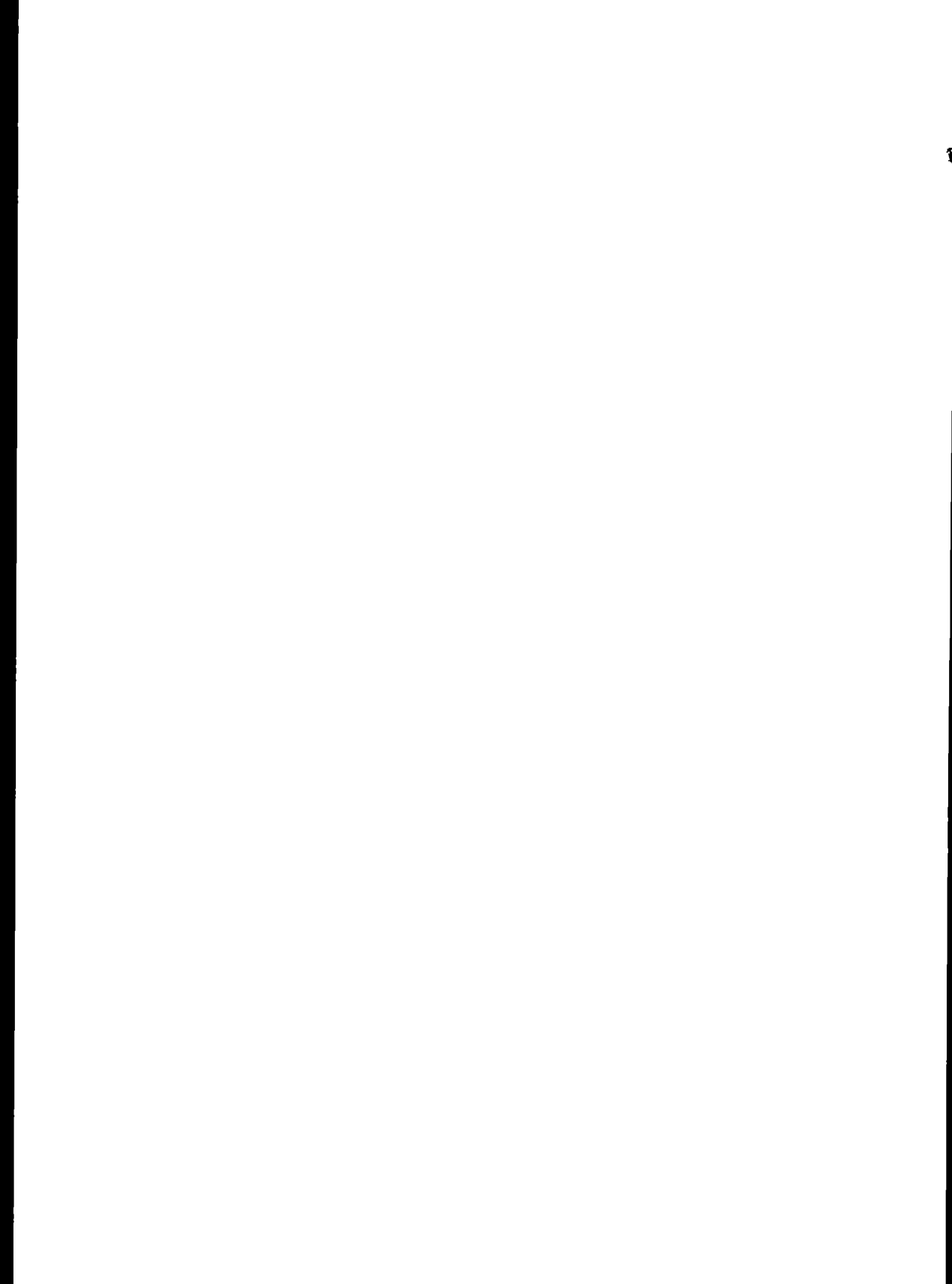
Figura 2. 15 Empalme mecánico por ranura en V

Este método tiene las ventajas de ser muy fácil así como rapidez en su elaboración.

c) Método Elastomérico

Este es otro de los métodos en empalmes mecánicos el cual consiste en dos tubos de materiales elásticos con un pequeño orificio en el centro y un diámetro un poco menor que el del revestimiento de la fibra óptica, tiene un pequeño ensanchamiento en ambos extremos del orificio para poder facilitar que las fibras se unan.

Al estar unidas las fibras ópticas, el diámetro del orificio se expande de cierta manera, que el material elástico ejerce una fuerza simétrica sobre la fibra óptica y así esta pureza hace que las fibras ópticas se



unan y queden automáticamente alineadas sin tomar en cuenta si son de diferentes diámetros.

EMPALME POR FUSIÓN

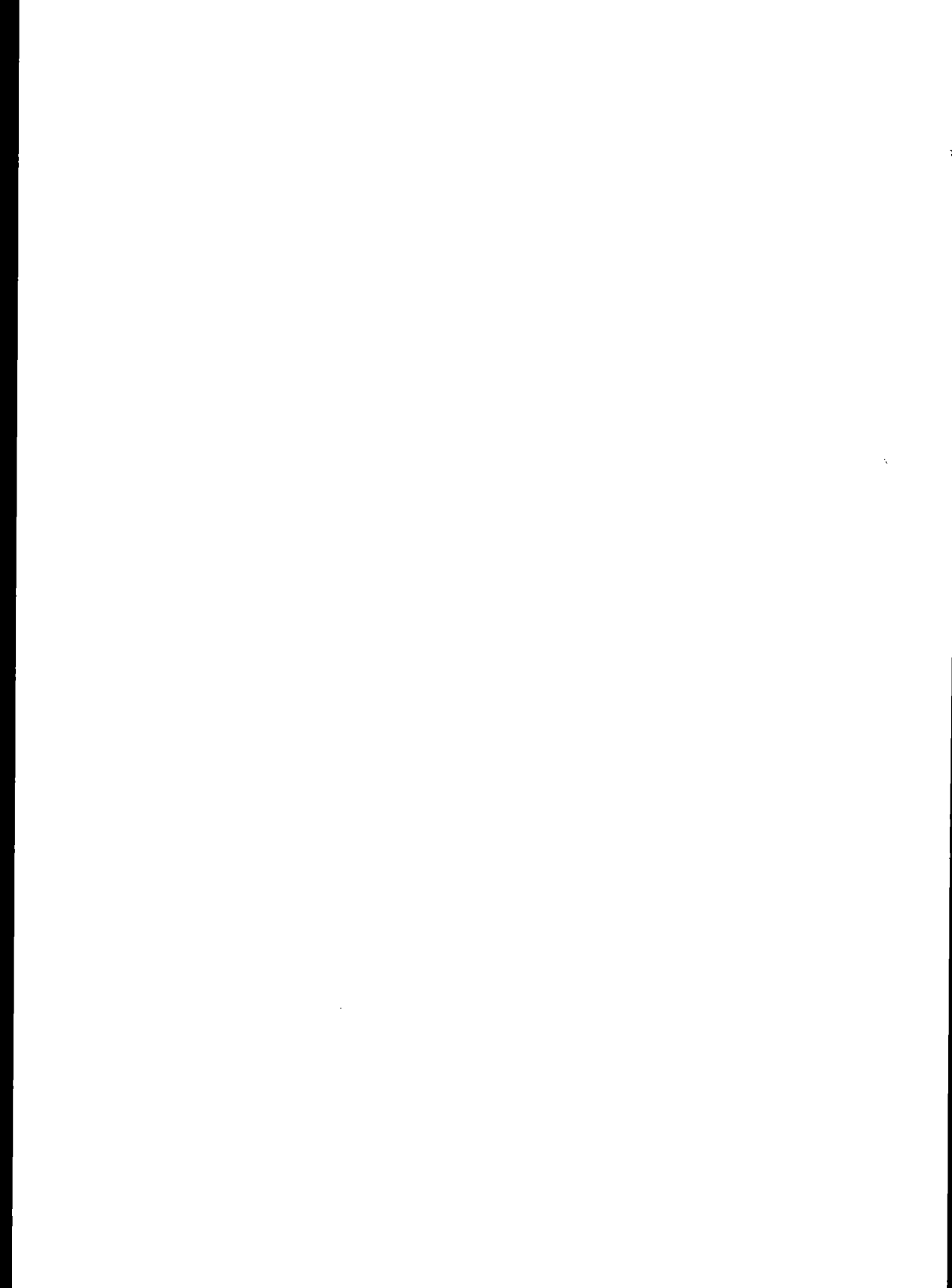
El empalme por fusión es el método mas utilizado el cual consiste en aplicar calor en la zona especifica donde se van a unir las fibras ópticas.

Las fibras ópticas deben de estar planas y perpendiculares al eje en sus extremos, y tienen que estar libres de grasa y polvo.

- Empalme por Fusión con Arco Eléctrico

En este método se utiliza un arco eléctrico, mas no es el único método ya que también existe fusión por gas o por Laser. Las fibras ópticas son sujetadas por un sistema de bloques movibles o por sujetadores mecánicos con el fin de evitar movimientos indeseables.

Se llegan a presentar burbujas de aire y deformaciones en el núcleo durante la elaboración de este empalme cuando existen imperfecciones en los extremos de las fibras ópticas, se puede evitar con una prefusión, al aplicar calor durante un tiempo muy pequeño, mucho menor que al aplicado en la fusión y así se redondean y suavizan los extremos en sus superficie, figura 2.16.



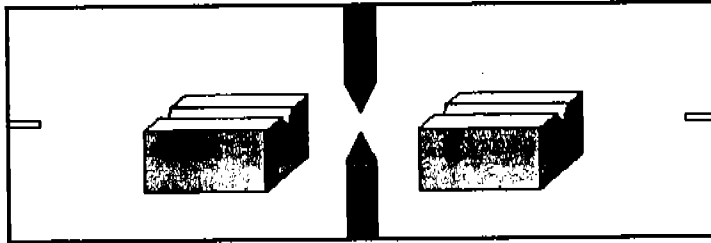


Figura 2.16 Empalme de fusión por arco eléctrico

EMPALME POR PEGAMENTO

El empalme por pegamento es un método muy rápido, la única desventaja que se tiene al utilizar este tipo de empalme, es que la resina epoxy óptica se desgasta con el tiempo.

PERDIDAS EN EMPALMES

PÉRDIDAS EXTRÍNSECAS

Las pérdidas extrínsecas son causadas cuando en la unión están desalineadas las fibras ópticas, este desalineamiento produce pérdidas de radiación debido a que el cono de radiación de la fibra emisora no compagina con el cono de aceptación de la fibra receptora.

Los tres tipos principales de desplazamiento son:

1. Separación Longitudinal, ocurre cuando las fibras ópticas a unirse están colocadas en el mismo eje, pero no hay un espacio entre las caras de sus extremos.
2. Falla Angular, se produce cuando los ejes de las fibras ópticas forman un ángulo y las caras de los extremos no se encuentran paralelas.
3. Falla Axial, cuando los ejes no están colineales y se encuentran separados paralelamente por una distancia determinada.

Las pérdidas que se producen por desplazamientos mecánicos en uniones de fibras ópticas, están determinadas por el método e instrumentos utilizados al unir las fibras.

CONECTORES ÓPTICOS

Se utilizan cuando se requiere unir dos fibras ópticas de una forma rápida y temporal y son divididos en dos tipos de conectores:

- De acercamiento mecánico de precisión de los extremos de la fibra óptica.
- De acercamiento óptico de los frentes de onda de las fibras ópticas a unir.

a) **De Acercamiento Mecánico de Precisión de los Extremos de la Fibra Óptica**

Son utilizados en estructuras que requieren de una precisión lateral, azimutal y longitudinal para lograr el alineamiento en las fibras ópticas al unirse.

b) **De Acercamiento Óptico de los Frentes de onda de las Fibras Ópticas a Unir**

Es este tipo de conectores se utilizan lentes para lograr el alineamiento de las fibras ópticas que se quieren unir y así conseguir mejores tolerancias angulares.

Los conectores de acercamiento mecánico de precisión de los extremos de la fibra óptica son los más utilizados, debido a su costo, a sus pérdidas ópticas y su durabilidad.

TIPOS DE CONECTORES ÓPTICOS

Los tipos más comunes de conectores ópticos son:

- Conector de Férula o Casquillo
- Conector Bicónicos
- Conector de Excentricidad Ajustable

a) Conector de Férula o Casquillo

La fibra óptica es colocada en este conector dentro de un casquillo protector de precisión, aquí se deben de alinear los casquillos y los extremos del conector deben de estar pulidos.

Para que no halla perdidas en el conector, se debe conservar la concentricidad entre la fibra óptica y el casquillo.

El casquillo esta fabricado de un material de cerámica, generalmente con una cubierta de acero, presenta en su interior una capilaridad concéntrica, la cual centra y fija la fibra óptica, aquí se le prepara con resina epóxica dentro de la cavidad para lograr la fijación adecuada.

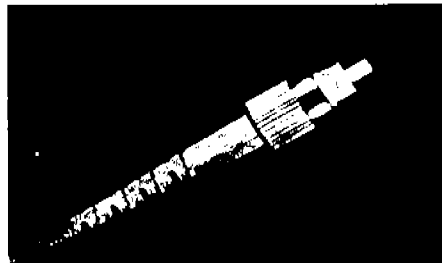


Figura 2.17 Conector de Férula o Casquillo FC

b) Conector Bicónico

Este tipo de conector es muy utilizado en la fibra Multimodo en la transmisión de datos. Esta formado por dos conos concéntricos, estos alinean la fibra óptica en el casquillo, se pueden obtener perdidas menores a 1 Db.

El casquillo de este tipo de conector óptico esta hecho de cerámica encapsulado en metal y tiene una cubierta de cuarzo combinado con metal epóxico, se ajuste mediante un resorte en el punto de contacto, figura 2.18.

c) Conector D4

Este conector óptico es muy similar al conector de Férula o Casquillo, se obtienen perdidas aproximadamente de 0.7 dB, con una durabilidad de 1000 inserciones y se utiliza en equipos de comunicaciones, figura 2.18.

d) Conector de Excentricidad Ajustable

En este tipo de conectores se consigue el alineamiento cuando se rotar una fibra óptica con respecto a la otra, una vez que la fibra óptica esta ajusta en el conector, se fija para evitar movimientos, sin importar si es necesario hacer otro ajuste.

Este conector es muy complejo y de un costo muy caro, sin embargo la precisión que se obtiene por este método es única. Tiene pérdidas menores a 0.5 dB en fibras ópticas Monomodo, figura 2.18.

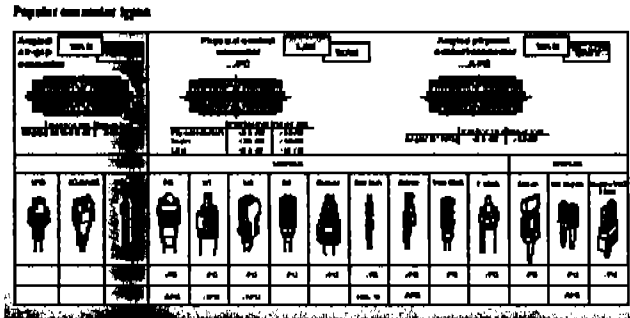


Figura 2.18 Diferentes tipos de Conectores Ópticos

EMISORES ÓPTICOS

Los emisores ópticos son los encargados de convertir las señales eléctricas en señales ópticas y así poder emitir dicha señal óptica a través de la fibra óptica; el principio de operación de este tipo de transductor se basa en la física de estado sólido, ya que están constituidos por materiales semiconductores como GaAs y InGaAsP.

Las principales características que deben de cumplir los emisores ópticos son:

- Bajo costo
- Bajo consumo
- Tamaño pequeño
- Alta potencia de salida
- Compatible con las dimensiones de las fibras ópticas

Los emisores utilizados en un sistema de comunicación por fibras ópticas son:

- Diodo electroluminiscente (LED)
- Diodos Laser (LD)

DIODO ELECTROLUMINISCENTE (LED)

Es un diodo que emite luz por emisión espontánea, es decir no coherente.

Para el funcionamiento de este tipo de diodo es muy importante la longitud de onda de luz emitida así como el tiempo de conmutación el cual va a determinar el tiempo de reacción del diodo. Los tiempos mínimos se encuentran alrededor de algunos nanosegundos.

Los diodos electroluminiscentes más utilizados son del tipo SLED y ELED.

CARACTERÍSTICAS	LED	ELED
Longitud de onda (nm)	850 - 1300	850 - 1300
Ancho Espectral (nm)	30-110	10-50
Corriente de excitación (mA)	20-300	20-300
Potencia media de salida (mW)	1	<3
Ancho de Banda (Mhz. Km)	10-50	50-200
Temperatura máxima admisible	60°C	60°C
Vida media (hrs)	10 ⁷	10 ⁷

DIODO LASER

Los diodos Laser son fuentes de emisión estimulada, en su interior se localizan dos espejos semirreflejantes para formar una cavidad resonante y las dimensiones de esta determinan la longitud de onda de la luz que será emitida.

La amplificación de la luz mediante emisión estimulada ofrece una mayor potencia de salida óptica al mismo tiempo un mejor enfoque de la luz que emite.

Este tipo de fuentes son ideales para una transmisión a largas distancias ya que su ancho de banda espectral es mínimo y esto provoca una menor dispersión.

FOTODETECTOR PIN

El fotodetector PIN, es uno de los detectores más comunes en los sistemas de transmisión por fibras ópticas y son empleados a bajas velocidad y distancias cortas.

Este fotodetector es construido con una capa de material semiconductor contaminado, llamada región intrínseca la cual es colocada entre dos regiones, tipo p y tipo n de ahí proviene su nombre de PIN.

El fotodetector PIN esta formado por tres capas y tiene polarización inversa, según la aplicación que tengan se fabrican de silicio, germanio o fosforo-arseniuro-gallo-Indio (InGaAsP), así como sus dimensiones coinciden aproximadamente con los diámetros de las fibras ópticas, figura 2.20.

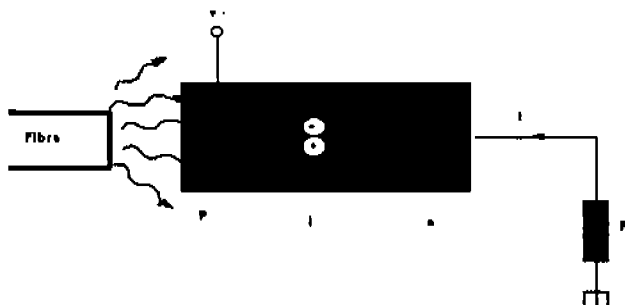


Figura 2.20 Fotodetector PIN

FOTODETECTOR DE AVALANCHA (APD)

Cuando se incrementa el voltaje de polarización en un fotodetector la corriente aumenta sin poder ser controlada, esto es debido al fenómeno avalancha. La región en donde aumenta la corriente se conoce como avalancha, es aquí en donde el fotodetector incrementa su sensibilidad.

Los fotodetectores de avalancha son usados en situaciones que se requiere de una gran sensibilidad para grandes distancias.

Tienen una estructura muy parecida a la del fotodetector tipo PIN al igual que su forma de operación, solo que debido a que el voltaje es elevado es necesario que el fotodetector de avalancha tenga una capa intrínseca más ancha, figura 2.21.

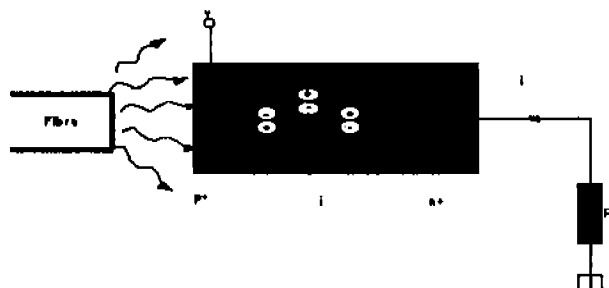


Figura 2. 21 Fotodetector de Avalancha (APD)

CAPITULO 3 "CABLE SUBMARINO DE FIBRA ÓPTICA"

ESTRUCTURA

El cable submarino esta formado de un núcleo donde se encuentran los pares de fibras ópticas, estas se encuentran cubiertas con una capa de polietileno la cual previene la abrasión y la penetración del agua o hidrógeno en las fibras.

Encima de la capa de polietileno tiene un tubo de cobre el cual sirve para conducir la corriente eléctrica que alimenta a los repetidores o para hacer circular corriente de bajo voltaje para monitorear el funcionamiento de los sistemas y localizar cables rotos.

Tiene una capa de alambre de acero, esta capa forma una especie de armazón que le da mayor resistencia a las quebraduras producidas por la pesca de arrastre así como la presión del agua y las mordidas de tiburones. Al final el cable presenta otra capa de polietileno impermeabilizante. El cable submarino presenta un diámetro aproximado de 5 centímetros, figura 3.1.

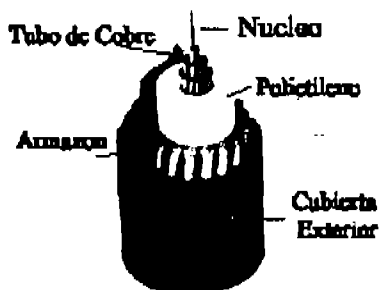


Figura 3.1 Estructura de un Cable Submarino de Fibras Ópticas

Se destacan dos tipos principales de cable submarino:

1. El cable armado que se usa para el cableado de poca profundidad (de 0 hasta 1500 metros) y tiene niveles altos de protección ya que a estas profundidades es donde están los principales factores de riesgo de los cables submarinos como lo son: la pesca de arrastre y los tiburones.
2. El cable ligero se usa para las grandes profundidades (0 a 7000 metros) y esta menos protegido que el cable armado.

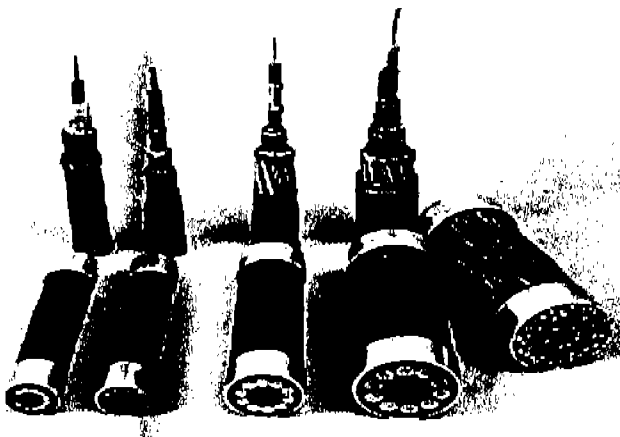


Figura 3. 2 Diferentes estructuras de un Cable Submarino de Fibras Ópticas

ELEMENTOS DE UN ENLACE

Para que un tramo de cable submarino lleve satisfactoriamente la información de un extremo a otro se necesitan de varios elementos distintos a los que se necesitan en las redes terrestres.

A continuación se presentan estos elementos, figura 3.3.

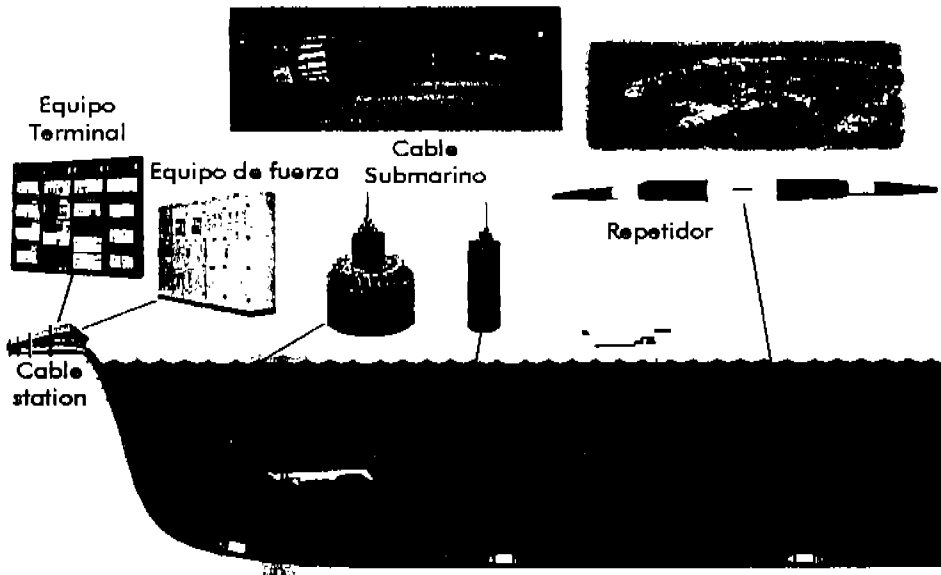


Figura 3. 3 Diferentes elementos de un enlace de Cable Submarino de Fibras Ópticas

REPETIDORES

Permiten la amplificación de la señal para evitar la atenuación de la misma. Son alimentados a través del tubo de cobre del cable y el circuito se cierra usando la tierra oceánica, figura 3.4

Características Mecánicas

- Aislamiento contra el agua de mar
- Protección contra golpes
- Protección contra la corrosión
- Aislamiento eléctrico

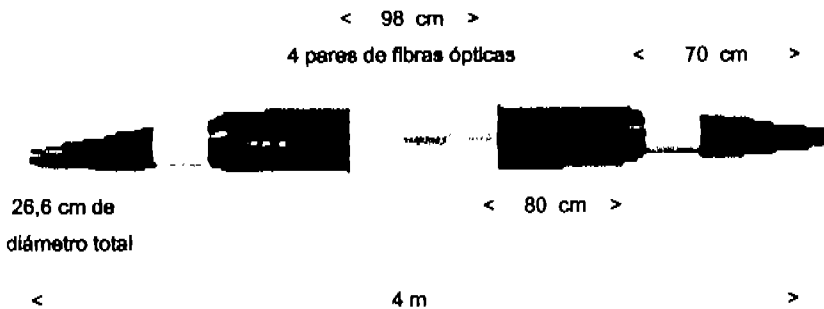


Figura 3. 4 Repetidor R3 Alcatel

BRANCH UNIT (UNIDAD DE DERIVACIÓN)

Su principal función es derivar el cable de fibra óptica desde el trunk o tramo principal hacia los branch o ramales, tiene un peso de 400 kilogramos y una altura de 3 a 4 metros, figura 3.5.



Figura 3. 5 Branch Unit ó Unidad de Derivación

Configuración Óptica

- BU Pasiva: algunos pares de fibras ópticas son enrutados dentro de la Branch Unit ó Unidad de Derivación dependiendo de la topología óptica de la red.
- BU Activa: algunas longitudes de onda son desviadas hacia la estación intermedia.

Configuración Eléctrica

- BU Permanentemente Conectada: BU pasiva eléctricamente
- BU Reconfigurable: BU conmutable eléctricamente; esta configuración permite reconfigurar el sistema de potencia cuando existe una falla en el cable.

CAJAS DE EMPALME

Permite unir diferentes cables de fibra (cables con diferentes protecciones) incluyendo el conductor de corriente y la protección.

Esto se debe a medida que van cambiando la profundidad y las condiciones ambientales a la que estará expuesto el cable es necesario distintos niveles de protección en el cable por lo cual la caja de empalme hace la transición entre un tipo de cable y otro. El cable puede ser de cobre o de fibra óptica.

INSTALACIÓN DEL CABLE SUBMARINO

Tender un cable submarino es tan complicado como poner un satélite en órbita ya que el cable y los repetidores son muy equipos caros, el tendido lo realizan barcos especiales en una operación controlada y realizada centímetro a centímetro por computadora.

El cable es almacenado y probado en grandes tanques cilíndricos situados en las fábricas, antes de ser cargado en el barco de tendido del cable submarino, figura 3.6 y 3.7.

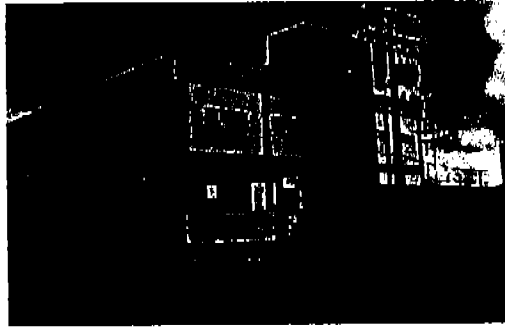


Figura 3. 8 Instalación de la estación de amarre

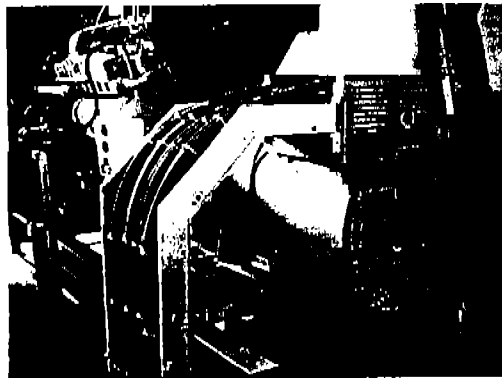


Figura 3. 9 Interior de la estación de amarre

La ruta definida se debe ejecutar con una precisión de alrededor de 100 metros, incluso cuando el cable se tiende a profundidades de hasta 8000 metros.

Es forzoso conectar la estación terminal con la playa, entonces existe una parte del cableado que va en forma terrestre, figuras 3.10 y 3.11.



Figura 3. 10 Trabajos de Instalación Terrestre



Figura 3. 11 Trabajos de Instalación Terrestre

Las operaciones marinas comienzan situando el cable a flote desde el barco de cableado hasta la posición en tierra.

Una vez que el extremo del cable está asegurado en la orilla, las bolsas de flotación se retiran permitiendo que el cable se asiente en el fondo del mar, figuras 3.12 y 3.13.



Figura 3. 12 Trabajos de Instalación del cable submarino



Figura 3. 13 Trabajos de Instalación del cable submarino a la orilla del mar



Figura 3. 14 Boyas utilizadas para la instalación del cable submarino

Los ajustes para tensar el cable y para posicionar el barco se hacen de forma continua con la ruta del cable. Cuando el cable llega a su punto de tierra de destino, un extremo del mismo ha sido previamente instalado y mantenido a flote, se lleva a bordo y se empalma al cable que está siendo tendido.

Los propietarios actuales de los cables submarinos buscan una instalación más rápida para poder recuperar su inversión tan pronto como sea posible. Los proyectos que habitualmente duraban cuatro a cinco años, ahora se terminan entre 18 meses y dos años.

Además los cables son frágiles. Un fallo en el aislamiento puede inutilizar los repetidores o deteriorar las fibras. Las corrientes submarinas, terremotos, anclas y las redes de arrastre son un peligro constante es por eso que barcos de reparación están en constante estado de alerta en todo el mundo.

PROVEEDORES

Entre los proveedores más importantes figuran los siguientes:

ALCATEL: líder mundial, con el 35% del mercado de redes submarinas, está involucrado en casi todos los grandes proyectos realizados bajo el mar. Hasta 1999, había suministrado más de 230.000 kilómetros de cable submarino.

Ofrece soluciones integradas que integran las redes terrestres con las submarinas y los sistemas de radio con los sistemas de satélite. Además fue el pionero en la tecnología WDM.

Entre los contratos relevantes se encuentran:

- 36000 kilómetros de cable SEA ME WE 3 que enlazan Europa, Asia y Australia.
- Atlantis2, un cable submarino de 12000 kilómetros que une Sudamérica, África y Europa.
- Gemini, un sistema de telecomunicaciones por fibra óptica entre Londres y Nueva York.
- Red de Cable China-US, un sistema transpacífico de 30000 kilómetros.

FLAG Atlantic: fue creada para construir y operar el primer sistema de cable dual transoceánico del mundo, diseñado para llevar tráfico de voz, datos y video a velocidades de hasta 1,28 Tbps. La construcción del cable tendrá un costo de alrededor de 1000 millones de dólares y Alcatel es el suministrador principal.

CANTV: uno de los proyectos más importantes que ha encarado es el de enlazar 46 ciudades de Venezuela, invirtiendo 300 millones de dólares. Esta red es una de las más amplias de Latinoamérica e incluye 1300 kilómetros de cable submarino (constituido por 24 fibras) y 3000 kilómetros de red terrestre (constituido por una fibra óptica de 36 filamentos). Esta red permite una velocidad de transmisión de 2,5 Gbps.

DIFERENTES CABLES SUBMARINOS EN LATINOAMÉRICA

CABLE PANAMERICANO

El Proyecto del Cable Submarino Panamericano se inició en mayo de 1994 con la suscripción de un Memorándum de Entendimiento (MOU) entre 15 empresas operadoras de servicios de telecomunicaciones internacionales, dentro de las cuales participaron las Empresas Miembros de ASETA de ese entonces: ENTEL S.A. de Bolivia, TELECOM de Colombia, EMETEL de Ecuador, TELEFONICA de Perú y CANTV de Venezuela.

La idea inicial del proyecto contemplaba un cable por el Océano Pacífico con estaciones terminales en Sudamérica, Centroamérica y Estados Unidos. Esta configuración tuvo que ser modificada para adaptarse a condiciones más favorables de costo y utilización de su capacidad.

La longitud del cable es aproximadamente 7.500 kilómetros y utiliza la más reciente tecnología para transmisión, que corresponde a la Jerarquía Digital Síncrona (SDH), con dos sistemas de 2.5 Gbps. y una vida útil de 25 años.

Los puntos terminales de la nueva configuración están ubicados en Chile, Perú, Ecuador, Colombia, Panamá, Venezuela, Aruba y Estados Unidos.

Las estaciones terminales del cable en los países del Grupo Andino se instalaron en Turín, Perú, Punta Camero, Ecuador, Barranquilla, Colombia y Punto Fijo, Venezuela. El cruce por Panamá incluye un tramo terrestre de 80 Kms. aproximadamente.

El costo del proyecto fue del orden de US\$300 millones. La Unidad Mínima de Inversión (MIU), referida a su capacidad de transmisión, es de 2 Mbps, que puede oscilar entre US\$50.000 y US\$900.000, dependiendo de la distancia.

Los países que no cuenten con estaciones terminales del Cable Panamericano, pueden acceder a éste por medio de Interconexiones digitales de otros sistemas. Por ejemplo, Bolivia puede acceder a través de las interconexiones digitales terrestres de fibra óptica con Perú y Chile; Argentina a través de su fibra óptica con Chile; Brasil por la interconexión con el cable submarino Américas I; los países Centroamericanos utilizando la red digital que los unirá con Panamá; México por la interconexión con el cable submarino Columbus II; los países Europeos y Asiáticos a través de los cables submarinos que unen a América con esos continentes.

CABLE SUBMARINO "MAYA 1"

Es un proyecto de tipo Consorcio que conecta a La Florida (EE.UU.) con Tolú (Colombia), pasando por Cancún (México), Puerto Cortés (Honduras), Gran Caymán (Islas Caymán), Puerto Limón (Costa Rica) y Colón (Panamá).

El ICE firmó en julio de 1997 el Memorándum de Entendimiento (MOU), conjuntamente con otras 10 compañías de telecomunicaciones Internacionales (AT&T, MCI, SPRINT, Trescom, Telmex, FranceTelecom, Hondutel, Cable & Wireless (Cayman Islands), Cable & Wireless (Panamá) y Telecom (Colombia), para así realizar la primera fase del proyecto (factibilidad, planificación y diseño del proyecto).

El ICE adquirió en este cable una capacidad inicial de 150 sistemas de 2 Mbps, sin embargo, esta capacidad puede incrementarse fácilmente en el futuro cercano mediante una ampliación de la capacidad instalada del cable. Para conectarse desde San José al punto de aterrizaje en Puerto Limón, se construyó un enlace de fibra óptica, el cual consiste en un anillo autoprotegido con una capacidad de 2.5 Gbps, lo cual permitirá ofrecer un acceso al de una alta calidad y confiabilidad.

CABLE DE EMERGI A

Es una red abierta y "seamless", que proporciona acceso de gran ancho de banda a las principales ciudades de las América a través de un sistema de cable submarino interconectado por dos segmentos terrestres de fibra óptica.

Se interconecta con todos los sistemas de cable existentes en la región (PanAm, Ameritas II, Atlantis II, Columbus III, etc.). Tiene 25.000 km de longitud, con capacidad desde 40 Gbps a 1.92 Tbps.

CABLE DE AMÉRICAS I Y AMÉRICAS II

El Américas I y el Américas II se encargan de la comunicación con Norteamérica y Centroamérica.

El Américas I es el primer cable submarino de fibra óptica que se tendió en Venezuela en el año de 1994. Tiene una extensión de 1519 Km y capacidad de transmisión de 560 Mbps en dos pares de fibras.

El Américas II tiene 9000 Km de extensión y cuatro pares de fibra de 2.5 Gbps. Su tecnología de transmisión es una de las más recientes y se basa en multiplexar la información por longitud de onda o WDM (wavelength division multiplexing).

CAPITULO 4 "CABLE SUBMARINO DE FIBRA ÓPTICA MAYA 1"

PANORAMA GENERAL

En julio de 1997, once empresas de telecomunicaciones Internacionales (AT&T, MCI, SPRINT, Trescom, Telmex, France Telecom, Hondutel, Cable & Wireless (Cayman Islands), ICE (Costa Rica), Cable & Wireless (Panamá) y Telecom (Colombia), firmaron el Memorándum de Entendimiento (MOU), para así realizar la primera fase del proyecto (factibilidad, planificación y diseño del proyecto).

38 compañías de telecomunicaciones Internacionales firmaron en septiembre de 1998, el Acuerdo de Construcción y Mantenimiento C&MA, y el inicio del proyecto, que duró 22 meses, hasta julio del 2000.

Esta diseñado para transportar en su etapa inicial 241,000 llamadas telefónicas de manera simultánea a una velocidad de 20 Gbps y puede ampliarse hasta 725,760 a una velocidad de 60 Gbps.

Tiene una configuración de anillo colapsado (autoprotegido), cada estación esta conectada a dos estaciones adyacentes con un par de fibras ópticas.

El tipo de configuración de anillo colapsado evita la interrupción del tráfico de información en caso de que el cable submarino sufra alguna falla en alguna parte del cable, con este tipo de configuración no se interrumpe la comunicación con otras troncales, figura 4.1.

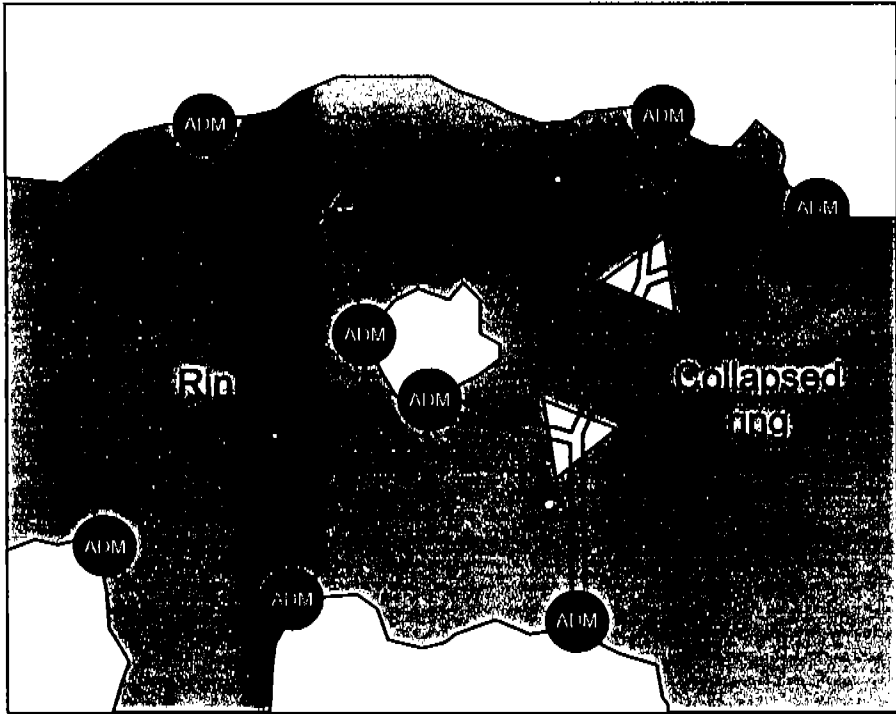


Figura 4.1 Configuración de Anillo Colapsado (autoprotegido)

El cable submarino Maya 1 se compone de 4,524 kilómetros de fibra óptica que interconectan 7 estaciones, con la posibilidad de aumentar una estación más. Las 7 estaciones se encuentran situadas en los siguientes lugares:

LUGAR	PAIS	OPERADOR
Hollywood, Miami	USA	AT&T
Cancún	México	TELMEX
Half Monn Bay	Grand Cayman	Cable & Wreless
Puerto Cortes	Honduras	Hondutel
Puerto Limón	Costa Rica	ICE
Colón	Panamá	Cable & Wreless
Tolú	Colombia	Telecom Colombia



Figura 4.2 Cables Submarinos de Fibra Óptica en Latinoamérica

Todo esto está finalmente recubierto de un plástico firme, capaz de permanecer en el fondo del mar sin sufrir daño alguno por un periodo aproximado de 25 años.

El cable submarino Maya 1 se interconecta con otros sistemas de cable submarino como son el Panamerican, Columbus II, Columbus III, Ameritas I y Ameritas II los cuales permiten extender servicios internacionales entre la región de la Latinoamérica y el resto del mundo, figura 4.3.

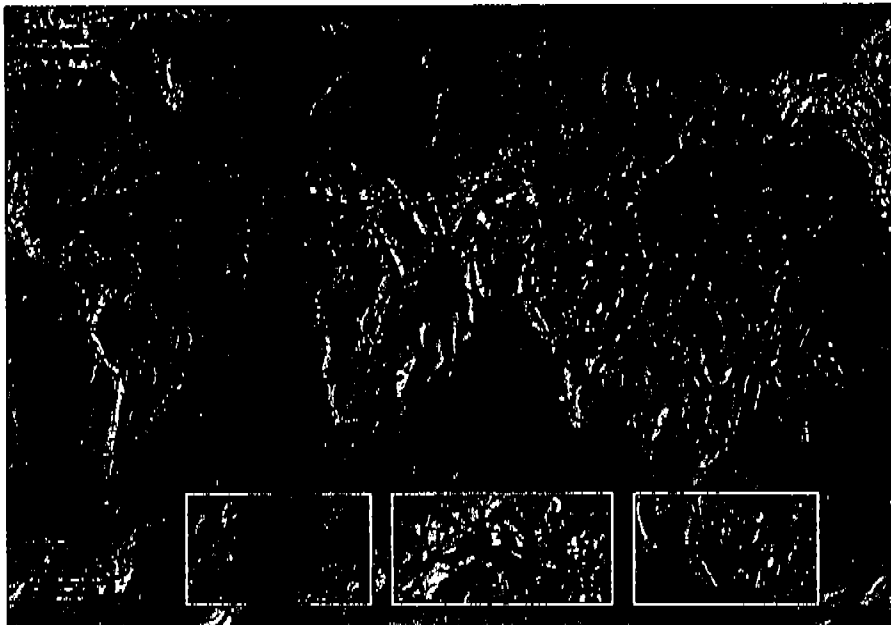


Figura 4.3 Cables Submarinos de Fibra Óptica en todo el Mundo

El sistema del cable submarino Maya 1 esta basado en la tecnología de Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM).

En la primer etapa de este proyecto cada par de fibras ópticas transportara 3 longitudes de onda (λ) a 2.5 Gbits/s, ya que esta contemplado transportar 8 longitudes de onda en un futuro.

El Equipo Terminal de Enlace Submarino (que es el equipo que realiza la WDM) multiplexa los 3 STM16 provenientes de los multiplexores ADM 1664SM.

Se instalaron Amplificadores Ópticos (O.A.) para compensar la atenuación debida a la longitud de las fibras ópticas. Los Amplificadores Ópticos están alojados en cada repetidor (2 subsistemas).

Tiene unidades de derivación ópticamente pasivas y provee la conexión de las fibras.

CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

La figura 4.4 muestra las conexiones de todas las estaciones así como las unidades de derivación y las estaciones derivadas del cable submarino Maya 1.

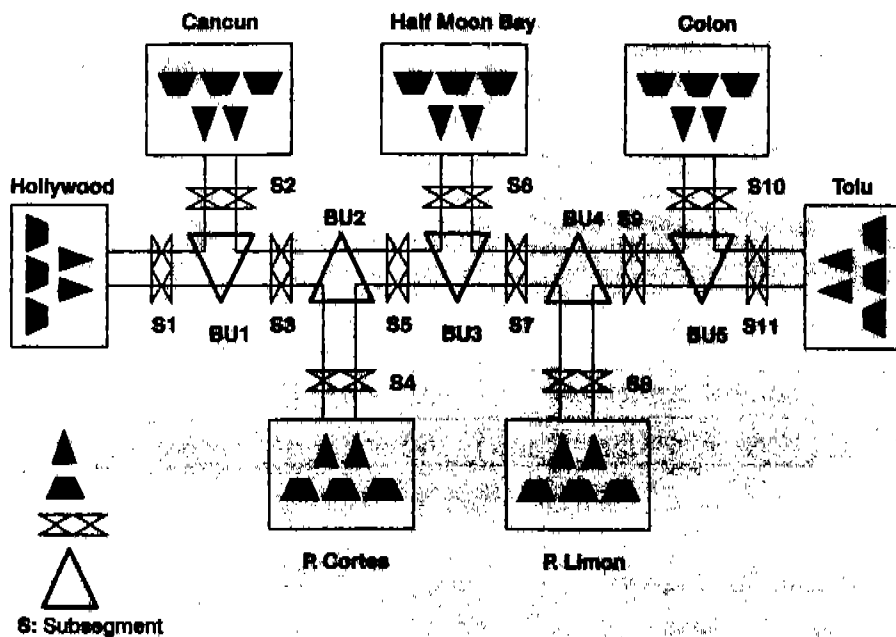


Figura 4.4 Configuración del Sistema de Transmisión

REPETIDORES

Número de Repetidores	48
Número de pares de OA	2
Intervalo de Medida Nominal	Alrededor de 90 km dependiendo del subsegmento
Potencia Nominal de Salida	+9.5 para 8 λ ; +6.5 para 3 o 4 λ
Potencia Nominal de Entrada	-10.5 para 8 λ ; -13.5 para 3 o 4 λ

CABLE

El cable submarino de fibras ópticas utilizado en el proyecto Maya 1 fue manufacturado por la empresa Tyco Submarine System Ltd. (TSSL) y se utilizaron tipo SA, DA, LWP Y LW, figura 4.5.



Figura 4.5 Diferentes tipos Cables Submarinos de Fibra Óptica

CARACTERÍSTICAS

Numero de pares de fibras ópticas	2
Atenuación de la fibra óptica	0.21 db/Km
Dispersión cromática	-1.85 ps/Km/nm a 1560 nm
Resistividad del tubo de cobre	1.0 Ohm/Km
Tipo de cable	DA, SA, LWP, LW
Manufacturado	TSSL

VOLTAJE DEL SISTEMA

- Voltaje nominal = $V_{\text{cable}} + V_{\text{rep}} + V_{\text{bu}} + V_{\text{return}}$
- Voltaje nominal del troncal = 4191 V
- Voltaje máximo del troncal = 4493 V (agregar tormentas magnéticas)

SLD (DIAGRAMA DE LÍNEA RECTA)

En la figura 4.6 se indican las longitudes acumulativas en metros, los repetidores y las estaciones troncales.

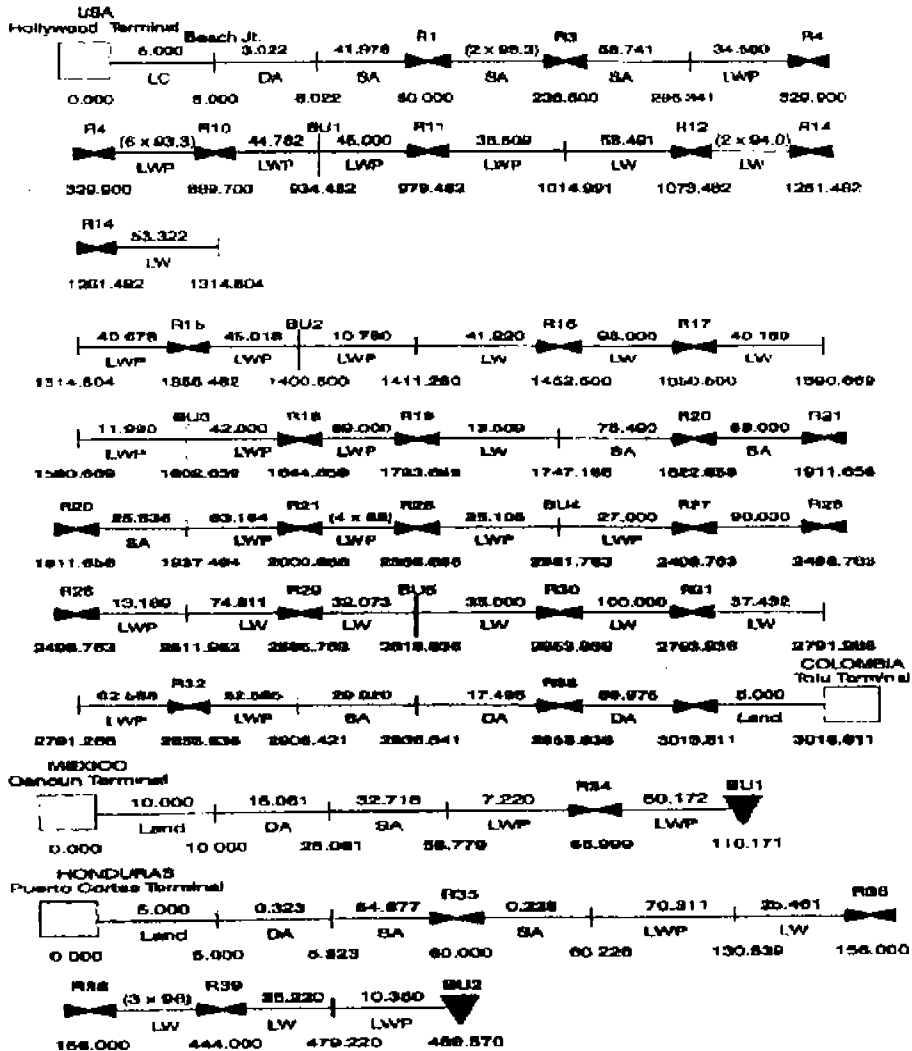


Figura 4.6 SLD ó Diagrama de Línea Recta

CONFIGURACIÓN DE LA ESTACIÓN SUBMARINA

La estación submarina aloja el equipo submarino SDH (1) y el equipo de gestión (2).

(1)

- SLTE : Equipo terminal de enlace submarino.
- PFE : Equipo de alimentación
- ECT : Terminal operativo de equipo 1320 NX
- 1664SM : Multiplexor ADM

(2)

- 1353SH : Manejador de elementos
- 1354RM : Manejador regional SDH (gestión circ.)
- 1354SN : Manejador de red submarina.

Todas las estaciones cuentan con los mismos equipos.

- Los SLTE están en configuración 1+0 (no protegida)

ESTACIONES TRONCALES

Las estaciones troncales de Hollywood y Tolú están equipadas con el Servidor de gestión (1353SM/S, 1354SN/S, 1354RM/S).

Las estaciones troncales de Hollywood y Tolú están equipadas con el equipo de alimentación no protegido (sólo una unidad de energía); los equipos de alimentación de las estaciones terminales se protegen entre sí.

TARIFAS

Tarifa mensual hacia el cable submarino desde la frontera de Guatemala y México, figura 4.7.

VELOCIDAD Kbps	TARIFA POR TRANSITO POR MÉXICO	TARIFA POR RESTAURACIÓN EN MÉXICO	TARIFA DE 1/2 DEL CIRCUITO DEL CABLE SUBMARINO	TARIFA POR RESTAURACIÓN DEL CABLE SUBMARINO	TARIFA TOTAL (US \$)
64	372.00	264.00	54.00	364.00	1,055.00
128	474.00	336.00	69.00	464.00	1,343.00
192	575.00	408.00	84.00	562.00	1,628.00
256	677.00	480.00	99.00	662.00	1,918.00
320	779.00	600.00	113.00	762.00	2,254.00
384	882.00	625.00	128.00	862.00	2,497.00
448	981.00	696.00	143.00	960.00	2,779.00
512	1,083.00	768.00	158.00	1,080.00	3,069.00
1024	1,625.00	1,152.00	237.00	1,590.00	4,603.00
2048	2,167.00	1,536.00	315.00	2,120.00	6,138.00

Figura 4.7 Tarifa mensual de la frontera de Guatemala y México

Costos y Restauración por tránsito en México y cable submarino, figura 4.8.

VELOCIDAD Kbps	COMPROMISO HASTA 4 AÑOS	COMPROMISO DE 5 A 9 AÑOS	COMPROMISO DE 10 AÑOS O MAS
64	370.00	503.00	380.00
128	853.00	640.00	483.00
192	1,035	776.00	586.00
256	1,219.00	914.00	691.00
320	1,402.00	1,051.00	794.00
384	1,587.00	1,190.00	899.00
448	1,766.00	1,324.00	1,001.00
512	1,950.00	1,463.00	1,105.00
1024	2,925.00	2,194.00	1,658.00
2048	3,900.00	2,925.00	2,210.00

Figura 4.8 Tarifa mensual por tránsito en México

EQUIPO

ADM ALCATEL 1664 SM

El multiplexor STM-16/STM-1 SDH Alcatel 1664SM puede multiplexar las señales STM-1 a señales STM-16 y viceversa, sin que se realice ajuste alguno mas abajo del nivel VC4.

- Soporta los tributarios de 140 Mbit/s y STM-1.
- Ventanas Ópticas de longitud de onda de 1310 y 1551nm
- Provee protecciones 1+1 y 1:1 para tributarias ópticas
- Total croconexión a nivel de VC4 (Protección de red SNCP).
- Total acceso a canales de Overhead
- Gestión de RED vía interfase QB3

MODO ADD AND DROP

En este modo el 1664 SM permite:

- Insertar, extraer o croconectar cargas AU-4 entre dos agregados STM-16 (llamadas Este y Oeste)
- En este modo el 1664SM se conecta a 2 SLTE

Con un 1664SM solo se pueden manejar 16 tributarias STM-1, para tener 32 tributarias, se pueden concatenar dos 1664SM

EQUIPO TERMINAL DE ENLACE SUBMARINO (SLTE)

El SLTE es la interfase entre el multiplexor SDH y la línea. Hay un SLTE por cada par de fibras, figura 4.9.

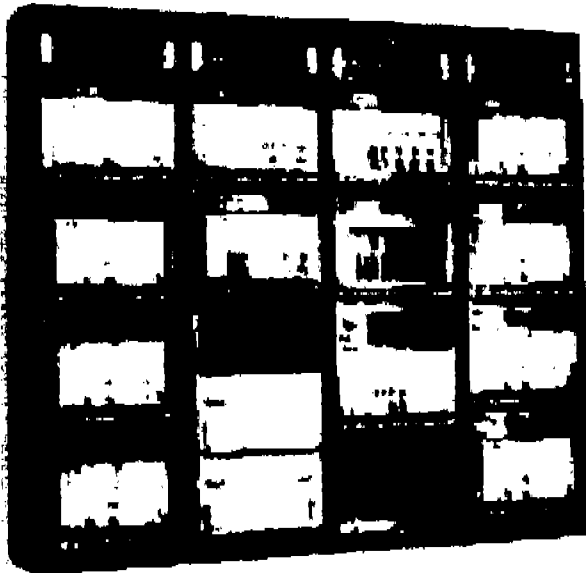


Figura 4.9 Equipo Terminal de Enlace Submarino (SLTE)

TRAYECTORIA DE TRANSMISIÓN

En la trayectoria de transmisión, el SLTE convierte cada STM16 entrante añadiéndole un código FEC (Corrector de Errores hacia Adelante) y fijando la I a un valor predeterminado. Los diferentes canales se mezclan ópticamente. La señal agregada resultante es amplificada antes de ser enviada a la línea.

TRAYECTORIA DE RECEPCIÓN

En la trayectoria de recepción se llevan a cabo las siguientes acciones:

- Pre-amplificación
- Compensación de dispersión cromática
- Demultiplexación óptica
- Compensación de ganancia y filtrado
- Conversión O/E (Óptica-Eléctrica)
- Corrección de Errores
- Conversión O/E en STM16

GESTIÓN

Cada subrack tiene una unidad de gestión (TMP) la cual:

- Colecta las alarmas
- Desempeña funciones locales (por ejemplo ALS - apagado automático del láser)

GESTIÓN DE LA CONFIGURACIÓN LOCAL

Cada SLTE tiene una unidad de gestión general (SPC) la cual:

- Colecta el estado de las alarmas de todos los subracks
- Comunica con el manejador de elementos vía Interface QB3*
- Desempeña funciones de supervisión de línea

CONFIGURACION DEL SLTE

La configuración del SLTE soporta los diseños de sistemas desde 1 hasta 8 (con terminal protegida o no protegida (por ejemplo de 1+0 hasta 8+8).

Los SLTE son instalados en configuración 3+0 (sin protección) actualizable a 8+0.

EQUIPO DE ALIMENTACIÓN (PFE)

La fuente de alimentación PFE (Power Feeding Equipament) (figura 4.10.) provee una corriente DC de 1.1 A hacia la planta sumergida, con objeto de energizar los repetidores.

APARIENCIA FÍSICA DE LA PFE

La apariencia física de la PFE consta de:

- 3 Racks utilizados para la PFE protegida de 2.5kv
- 1 rack para cada PU
- 1 rack aloja el CTC (cubículo de terminación de cable) y la Carga Ficticia

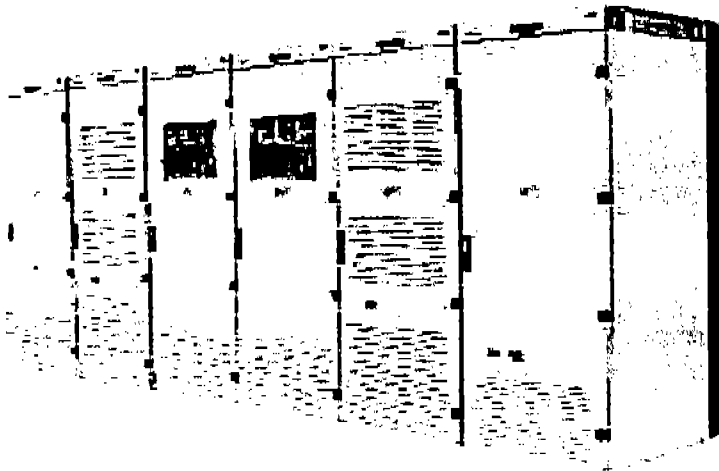


Figura 4.10 Equipo de Alimentación PFE

Todo el control se realiza del panel delantero.

Tiene un diseño compacto que ofrece alta exactitud, alta confiabilidad y rendimiento de procesamiento de la alta energía, existen modelos para 2,5 kilovoltios, 5 kilovoltios, 7,5 kilovoltios y 10 kilovoltios

ESPECIFICACIONES

Actual	Salida:	hasta 1.Á +-1%
	Resolución:	+/-0.1%
	Ajuste:	1-115%
Voltaje	Salida:	cero a 10 kilovoltios
Temperatura	Funcionamiento:	+5 °C a +40 °C
	Almacenaje:	-20 °C a +50 °C
Modos:	I constante o constante de V	
Fuente de la entrada:	42V - C.C. 60V	
Especificaciones	CEPT T/tr02-02	
	En50081-2, En50082-2	
Color estándar:	Gris-blanco	
Tamaño (cubículo):	605x670x2200	(WxDxH en el milímetro)

CONVERTIDOR DE POTENCIA

Un convertidor de potencia provee una potencia de 2.75Kw. El número de convertidores requeridos depende de la longitud del cable a ser alimentado.

Pueden trabajar 2 unidades de potencia en paralelo para propósitos de protección. Cada uno provee solo la mitad de la corriente, si una falla la otra dará la corriente normal automáticamente.

CUBÍCULO DE TERMINACIÓN DE CABLE Y CARGA FICTICIA

La PFE aloja una carga ficticia. Esta puede ser usada para propósitos de prueba del PFE.

En el mismo rack el cubículo de terminación de cable proporciona la interface entre el cable y el sistema (tubo de cobre, Fibras y conexiones a tierra).

MONITOREO Y CONTROL

Se puede realizar supervisión, monitoreo y control desde el panel del PFE. Contiene además una Interfaz QB3* hacia el SMS sólo para supervisión y monitoreo pero no se puede hacer control.

SISTEMA DE PROTECCIÓN

En la troncal se instalarán 2 PFE que trabajarán en serie en las estaciones extremo (Hollywood y Tolu) protegiéndose mutuamente.

Dichas estaciones cuentan con una sola unidad de alimentación cada una. El voltaje total en la línea es compartido entre 2 estaciones (double-end feeding).

Si una PFE se cae, la otra es capaz de dar potencia al cable. En las estaciones derivadas (o ramales) las PFE trabajan en Single-end feeding y están equipadas 2 PU (redundancia).

REPETIDOR

Los amplificadores ópticos proveen la amplificación bidireccional, en uno o varios canales por una fibra óptica single mode. El repetidor realiza la amplificación de un sistema de cables de hasta 4 pares de fibras (2 pares en el Cable Submarino Maya I).

Los repetidores son alimentados por las estaciones terminales con una corriente constante de cualquier polaridad (bipolar). La amplificación es proporcionada por una fibra óptica cuyo núcleo ha sido dopado de Erblio (ER3+). Esta fibra dopada se bombea con lasers que operan a 1475 nm. Los repetidores son monitoreados y controlados desde la terminal.

REPETIDOR R3

El repetidor R3 fue pensado para sistemas WDM. Está diseñado para transportar desde 1 hasta 8 canales ópticos en cada par de fibras, figura 4.11

A continuación se enlistan sus características:

- Potencia de salida < +9.5 dBm (8l) / +6.5 dBm (3 o 4 l)
- Ganancia < 30 dB
- Corriente de línea 1.1 A
- Control de potencia de salida 4 posibles niveles
- Facilidades de medición con OTDR
- Ancho de banda Óptico Plano



Figura 4.11 Repetidor R3 de Alcatel

El repetidor es muy compacto y es actualmente uno del más pequeña en el mercado, fabricado para soportar hasta 8000 metros de profundidad.

CAPACIDAD DEL REPETIDOR

- A partir de 2,5 Gbit/s o de 10 Gbit/s por fibra (un canal)
- Hasta 40 Gbit/s por el par de la fibra para 2,5 sistemas de Gbit/s (canales de los dieciséis)
- Hasta 1,05 Tbit/s por el par de la fibra para 10 sistemas de Gbit/s (105 canales)
- Hasta ocho pares de la fibra en 2,5 sistemas de Gbit/s (capacidad máxima 320 Gbit/s del cable)
- Hasta ocho pares de la fibra en 10 sistemas de Gbit/s (capacidad máxima 8,4 Tbit/s del cable)
- Un amplificador óptico sirve para un par de la fibra

UNIDAD DE DERIVACIÓN

El sistema Maya 1 tiene 5 unidades de derivación, figura 4.12. Estas BU son de tipo full fibre con conmutación simétrica de potencia. Las unidades full fibre no tienen unidades supervisoras ya que son completamente pasivas.

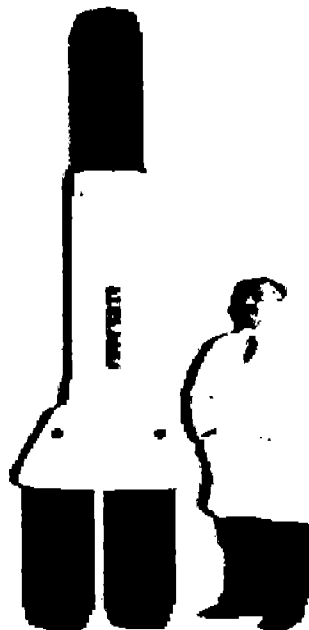


Figura 4.12 Branch Unit o Unidad de Derivación

GESTIÓN DE LOS EQUIPOS

La gestión de todos los equipos involucrados en el sistema de enlace submarino se lleva a cabo mediante una red de gestión de telecomunicaciones. Para ello, Alcatel cuenta con una arquitectura denominada "Alcatel 1300 TMN Architecture", figura 4.13 y 4.14.

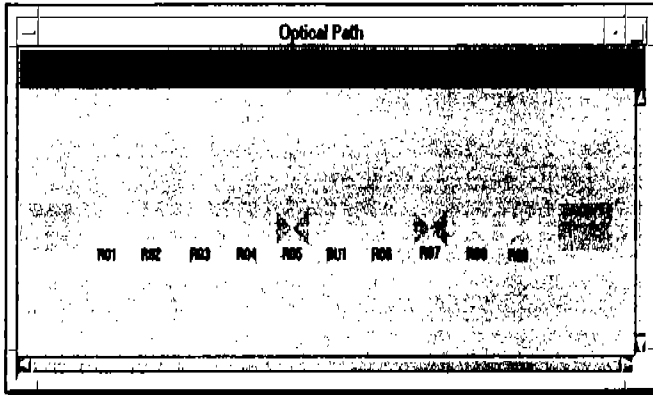


Figura 4.13 Equipo Alcatel 1300 TMN Architecture

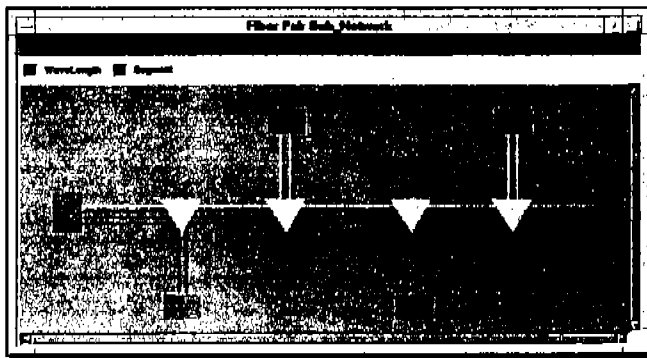


Figura 4.14 Equipo Alcatel 1300 TMN Architecture

EQUIPOS ALCATEL 1300

EQUIPO 1320 NX CRAFT TERMINAL

El 1320 NX ECT actúa como un Craft terminal para elementos de red en el ambiente de la estación y esta directamente conectado al elemento de red vía una interfaz F.

La aplicación ECT corre en una PC comercial y provee todas las funciones para operar y configurar localmente los siguientes equipos:

- 1664 SM
- SLTE
- PFE

GESTIONADOR DE ELEMENTOS 1353 SH

El manejador de elementos 1353 SH supervisa y controla los ADM de SDH, sistemas de línea, equipo de microondas y elementos de red submarina sin repetidor. Provee la configuración, monitoreo de fallas y desempeño así como funciones de mantenimiento.

MANEJADOR DE EQUIPO SUBMARINO 1354 SN (SMS)

El 1354 SN es un manejador de elementos para redes submarinas con repetidores. Supervisa los SLTE, repetidores sumergidos y unidades de derivación y monitorea los PFE. Controla la calidad de transmisión del enlace sumergido y maneja los algoritmos de localización de fallas.

Además, el 1354 SN permite al operador controlar cada longitud de onda del sistema proporcionando un mantenimiento global de las trayectorias ópticas en la red.

MANEJADOR REGIONAL 1354 RM

El 1354 RM es un manejador de red para el equipo SDH. Proporciona:

- Facilidades de tráfico End-to-end a nivel regional
- Facilidad centralizada para administración de tráfico y manejo en la (sub-)red SDH

El SN 1354 de Alcatel es la solución de la dirección de la red para los cables submarinos, responsable de la configuración end-to-end y de supervisar las trayectorias ópticas del WDM en el cable submarino.

La interfaz gráfica de uso fácil (GUI) proporciona la representación gráfica del sistema y de los elementos manejados, asiste al operador con procedimientos específicos para igualar la calidad de los canales del WDM.

El SN 1354 permite que se tomen medidas para prevenir problemas antes de que ocurran, proporciona las herramientas necesarias para diagnosticar y reparar los problemas que ocurren. El SN 1354 tiene la posibilidad de aumentar la red tanto de tamaño como de tecnología y la flexibilidad de poder ser modificado para requisitos particulares a la estructura de organización.

TECNOLOGÍA WDM / DWDM

WDM (Multiplexación por división de longitud de onda) es una tecnología óptica basada en la multiplexación de varias longitudes de onda generadas por diferentes emisores de luz dentro de una misma fibra óptica. De esta forma, se logra aumentar la capacidad de transmisión o ancho de banda de la fibra, ya que actualmente cada longitud de onda puede transportar cualquier velocidad entre 100 Mb/s y 20 Gb/s.

Los sistemas WDM se utilizarán primeramente en los enlaces de larga distancia donde las necesidades de ancho de banda se incrementan constantemente.

VENTAJAS DE WDM

En la figura 4.15 se observa la diferencia entre el sistema TDM tradicional, el cual utiliza un par de fibras para cada sistema y la tecnología DWDM que utiliza un par de fibras para transportar los mismos canales. Obsérvese que la cantidad de amplificadores ópticos es menor que la de los regeneradores ópticos del sistema TDM.

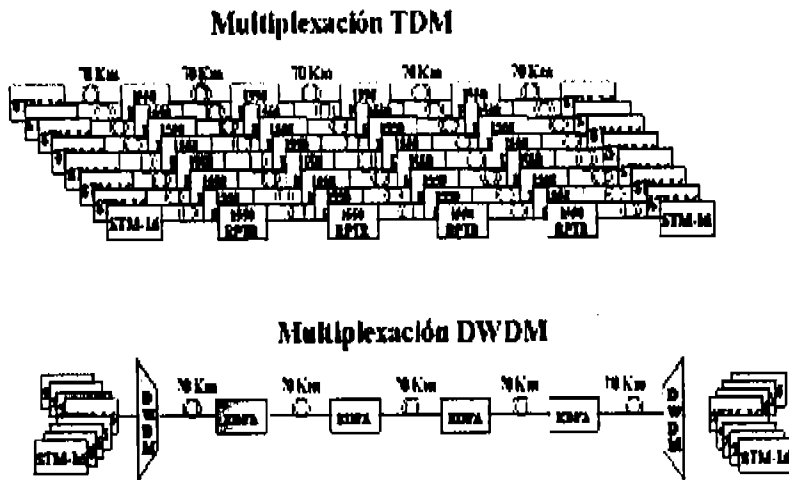


Figura 4.15 Multiplicación de la capacidad de transmisión de la fibra óptica utilizando DWDM.

TÉCNICA WDM

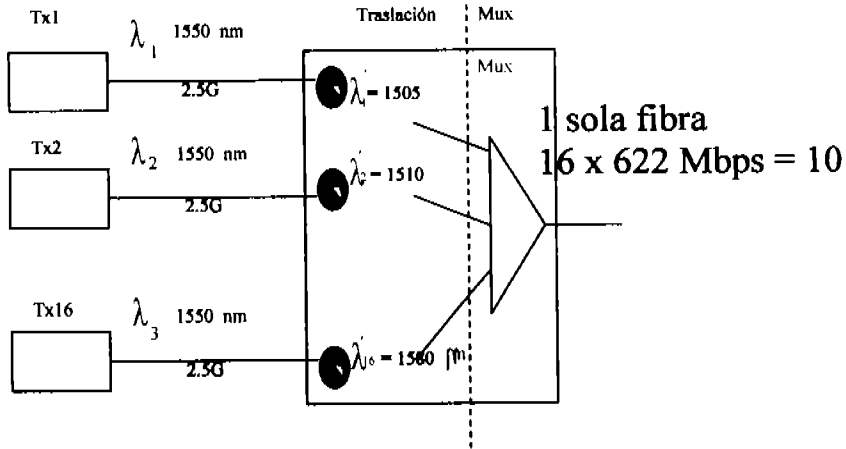


Figura 4.16 Multiplexación WDM.

CONCLUSIONES

El cable submarino Maya I es uno de los sistemas que encabezan la revolución tecnológica, ya que ha causado verdaderos cambios en las telecomunicaciones Internacionales.

Uno de los retos principales logrados, es conectar a los países involucrados en el proyecto con el resto del mundo, esto puede ser posible, ya que el Cable Submarino Maya I se interconecta con otros sistemas como son: el Panamericano, el Americas I y II, fortaleciendo las comunicaciones trasatlánticas.

El Proyecto del Cable Submarino Maya 1 logra satisfacer la creciente demanda de Internet para capacidades de transmisión ofreciendo una capacidad y una velocidad casi ilimitadas; esta es una ventaja que tienen los cables submarinos con respecto de los satélites, estos pueden estar en todas partes, llegar a cualquier lugar y alcanzar a cualquier usuario, pero la gran capacidad de las redes de cables submarinos las hace más eficiente y atractivas.

En una comunicación vía satélite, la señal se tiene que desplazar de ida y vuelta al satélite, lo que equivale a 72000 Km. que tiene que recorrer la información, esto produce un retardo que afecta la transmisión de cierto tipo de protocolos de comunicación, en cambio la transmisión en un cable submarino por ser un enlace sobre la superficie de la tierra el tiempo de propagación es mínimo.

Los cables submarinos funcionan bien independientemente del clima y disturbios magnéticos, mientras que los receptores y transmisores para comunicaciones vía satélite son afectados por el clima, lluvias, tormentas, etc.

Otra ventaja muy importante de los cables submarinos, es que tienen una vida útil de más de 25 años, mientras que los satélites tienen una vida de 10 años, esto hace que un proyecto de un Cable Submarino sea más económico y más rentable.

Desde el punto de vista de explotación, la configuración del cable ofrece las siguientes ventajas:

Conectividad directa: Si se cuenta con un punto de aterrizaje en el país, es posible conectarse en forma directa sin depender del uso de las redes de terceros países para el tránsito, lo que implica una mayor calidad y una mayor confiabilidad, así como una reducción en los costos de operación.

Enlaces con fibra óptica punto a punto: En este momento, la mayoría de los clientes empresariales están solicitando conectividad punto a punto con fibra óptica ya que necesitan los mejores niveles de calidad en sus comunicaciones para poder garantizar la competitividad de sus productos. Se puede ofrecer conectividad de fibra óptica punto a punto a los principales centros y regiones de negocios del mundo.

Acceso directo a Norteamérica: Esta es quizás una de las características más importantes de este cable, pues ofrece conexión directa a los Estados Unidos que, a excepción de los demás países centroamericanos, es el país donde tenemos un mayor interés de tráfico y de ahí la importancia de esta conectividad.

El Cable Submarino Maya 1 es y seguirá formando parte de una infraestructura de primer mundo y de alta confiabilidad por mucho tiempo, repercutiendo favorablemente en la economía de nuestro país.

Siendo uno de los proyectos más ambiciosos para Latinoamérica, el Cable Submarino Maya 1 compite tecnológicamente con todo el mundo, es por eso de la elección de este tema como proyecto de tesis, el cual espero y proporcione los elementos necesarios para estudios posteriores en el área de los cables submarinos de fibra óptica.

BIBLIOGRAFÍA

- **"INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA DE LA FIBRA ÓPTICA"**

Rubio Martínez Baltasar, Editorial Addison-Wesley Iberoamerica, Estados Unidos, 1994.

- **"TODO SOBRE LAS FIBRAS ÓPTICAS"**

Tur Juan y Martínez Jiménez María Rosario, Editorial Marcombo Boixareu Editores, Barcelona, México, 1989.

- **"CONDUCTORES DE FIBRAS ÓPTICAS"**

Günther Mahlke y Meter Gössing, Editorial Marcombo Boixareu Editores, Alemania, 2000.

- **"REDES DE COMPUTADORAS"**

Robledo Sosa Cornelio, Editorial Instituto Politécnico Nacional, México, 1999.

- **"THE ELEMENT OF FIBER OPTICS"**

S.L. Wymer Meardon, Editorial Prentice – Hall, USA, 1993.

- **"VOICE/DATA UNIT FIBER OPTICS APPLICATIONS"**

Wayne Tomasi y Vincent F. Alisouskas, Editorial Prentice – Hall, USA, 1988.

- **"FIBER OPTIC COMMUNICATIONS**

Joseph C. Palals, Editorial Prentice – Hall, USA, 1992.

- **"FIBER OPTIC COMMUNICATIONS**

Harold B. Killen, Editorial Prentice – Hall, USA, 1991.

- **"CALCULO DE LOS ENLACES ÓPTICOS"**

Ing. Roberto Ares. ENTEL Argentina.

- **"PRINCIPIOS GENERALES PARA EL CÁLCULO DE LOS ENLACES ÓPTICOS"**

Ing. Numa Mendoza.

- **"SISTEMA DE FIBRA ÓPTICA DE LINEA 565 Mbits-S"**

Ericsson Review N° 3-1987.

- **"PROYECTOS EN CONDUCTORES DE FIBRAS ÓPTICAS EN LOS EEUU"**

Telecom report. Siemens. Volumen 10-1987.

- **"CONDUCTORES DE FIBRAS ÓPTICAS"**

Marcombo 1987. Siemens Mahlke/Gossing.

- **EXFO**
Guide to WDM Technology & Testing
EXFO Electro-Optical Engineering Inc.

- **Alcatel**
Proyectos de enlaces submarinos:
360 Americas
Flag Atlantic
Tera 10

- **Alcatel**
Technical & Operator`s Handbooks:
SLTE OALW64
Alcatel 1686WM

- **Alcatel**
Optical cross-connects the newest element of the optical backbone Network. (white paper).

- **Acterna**
DWDM
<http://www.acterna.com>; Sección de recursos técnicos
Wavetek Wandel & Golterman

- **Acterna**
OSA-155
http:\\www.acterna.com; Sección de productos
Wavetek Wandel & Golterman

- **Nortel**
Folleto "OPTera Long Haul" de Nortel Networks
http:\\www.nortelnetworks.com

- **Ericsson**
Folleto "ERION" de Ericsson

- **Corning**
Advanced optical fiber for long distance telecommunication
networks
http:\\www.corning.com

- www.alcatel.com
- www.telmex.com
- www.pirelli.com
- www.corning.com
- www.el-mundo.es
- mensual.prensa.com
- www.cybergeography.org
- www.cioh.org.co
- www.racsa.co.cr
- www.cwpanama.net
- www.nwcable.com

CAPITULO 1

"NATURALEZA Y PROPIEDADES DE LA LUZ"

NATURALEZA

La naturaleza de la luz ha provocado diversos estudios debido a su importancia, ya que es un fenómeno fundamental para la vida en la tierra. La naturaleza y propiedades han causado gran interés y especulación desde hace mucho tiempo. Los griegos pensaban que la luz se componía de diminutas partículas emitidas por una fuente luminosa y estas a su vez estimulaban la percepción de la visión al incidir en el ojo del observador.

Isaac Newton expreso: "Conseguí un prisma de vidrio triangular para intentar observar con él, el famoso fenómeno de los colores... Coloqué mi prisma a su entrada (la luz del sol) de manera que pudiera ser refractada en el muro opuesto. Fue una diversión muy placentera observar los vivos e intensos colores producidos de ese modo... Con frecuencia contemplo con admiración que todos los colores del prisma se hacen converger, y que por ello vuelvan a mezclarse, como cuando estaban en la luz antes de incidir sobre el prisma reproduciendo luz completa y perfectamente blanca, y en nada sensiblemente diferente de la luz directa del sol...".¹

¹ Serway, Raymond A. "Física Tomo II", Editorial McGraw Hill, México, 1997, Pág. 1024

Isaac Newton fue el principal aportador de la teoría corpuscular de la luz, quien trato de demostrar algunos fenómenos relacionados con la naturaleza de la luz: la reflexión y la refracción.

El primero en demostrar claramente la naturaleza ondulatoria de la luz en el año de 1801 fue Thomas Young, quien demostró que los rayos luminosos interfieren entre si, en condiciones idóneas.

VELOCIDAD

Los primeros intentos para lograr medir la velocidad de la luz no tuvieron éxito. Galileo Galilei Intento medir la velocidad de la luz colocando a dos observadores a una distancia aproximadamente de 4 Km., cada uno de los observadores llevaría consigo una linterna tapada. El observador A destaparía primero su linterna y el observador B haría lo mismo en el instante en que observara la luz de la linterna del observador A. Galileo podría así obtener la velocidad conociendo el tiempo de transito de los haces luminosos entre las linternas.

El propio Galileo concluyo que: "Es imposible medir la velocidad de la luz de esa manera debido a que el tiempo de transito es muy pequeño a comparación del tiempo de reacción de los observadores".²

Para 1675 el astrónomo danés Ole Römer obtuvo el primer cálculo exitoso de la velocidad de la luz, realizo observaciones astronómicas en una de las lunas de Júpiter.

² Idem Pág. 1027

Este cálculo fue medido al observar el eclipse en el momento en que pasaba atrás de Júpiter. El periodo de los eclipses es aproximadamente 42.5 hrs., sin embargo cuando la tierra se aleja de Júpiter las medidas de tiempo son mayores para este periodo, estas variaciones de 15 segundos del valor medio eran difíciles de medir, por lo que Römer atribuyó estas diferencias al hecho de que la velocidad de la luz no es infinita.

PROPIEDADES ELEMENTALES

La propiedad fundamental de la luz, como lo define la Óptica Geométrica, es su propagación lineal, así como poder cambiar su dirección. Cuando hacemos que un rayo incida en un punto de diferente refracción se pueden observar dos fenómenos: el rayo se refleja y regresa al punto de partida en el cual existe un proceso de reflexión, donde el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia con relación a la superficie reflectante; o se origina refracción, debido a que el rayo se introduce en el medio refráctate.

TIPOS DE REFLEXIÓN

a) Reflexión de las ondas luminosas

La luz tiene la propiedad de que la totalidad de los cuerpos reflejan una parte de los rayos luminosos que inciden sobre ellos, esto es, que devuelve parte de la luz recibida al punto de partida.

Las leyes de la reflexión se pueden emplear tanto en una superficie plana como en una superficie curva, tal como lo indica la figura 1.1.

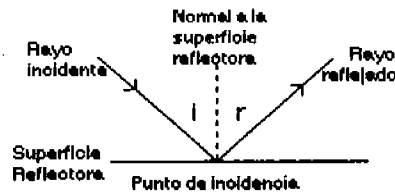


Figura 1. 1 Reflexión en superficies planas y curvas

b) Reflexión difusa

En el caso de la reflexión difusa los rayos son reflejados en distintas direcciones debido a la rugosidad de la superficie, figura 1.2.

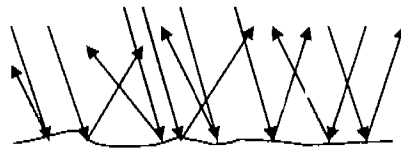


Figura 1. 2 Reflexión difusa de la luz

c) Reflexión total interna

Este efecto ocurre cuando la luz pasa de un medio que tiene un índice de refracción determinado a un medio con un índice de refracción menor, figura 1.3.

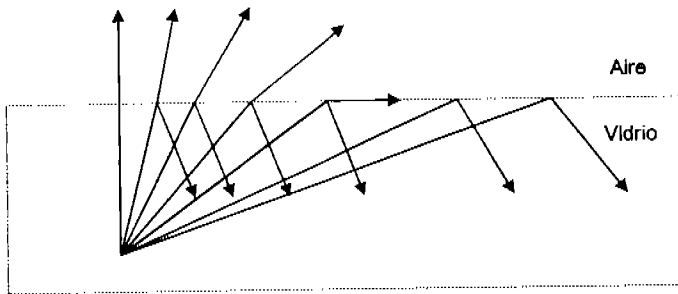


Figura 1.3 Reflexión total interna

REFRACCIÓN

La ley fundamental referente a la refracción, se le atribuye a W. Snell en la que establece una relación fija entre la desviación del haz refractado y la inclinación del haz incidente. El cambio de dirección que sufren los rayos luminosos al pasar de un medio a otro, donde su velocidad es distinta, da lugar a los fenómenos de refracción.

Así si un haz de rayos luminosos incide sobre la superficie de un cuerpo transparente, parte de ellos se reflejan mientras que otra parte se refracta, es decir penetran en el cuerpo transparente experimentando un cambio en su dirección de movimiento.

Esto es lo que sucede cuando la luz atraviesa los medios transparentes del ojo para llegar hasta la retina.

ÍNDICE DE REFRACCIÓN

El índice de refracción de un medio es el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío (3.108 m/s) y la velocidad de la luz en ese medio. No tiene unidades y siempre es mayor o igual que 1. Los índices de refracción y la velocidad de la luz conservan una relación inversamente proporcional.

$$n = \frac{\text{velocidad de la luz en el vacío}}{\text{velocidad de la luz en un medio}} = \frac{c}{v}$$

MATERIAL	ÍNDICE DE REFRACCIÓN
VACÍO	1.0000
AIRE	1.0003
AGUA	1.33
CUARZO FUNDIDO	1.46
ACRÍLICO	1.49
CROWN BOROSILICATO	1.51
CROWN ORDINARIO	1.52
BÁLSAMO DE CANADÁ	1.53
FLINT LIGERO	1.57
CROWN DE BARIO	1.62
FLINT EXTRA GRUESO	1.72
DIAMANTE	2.42

Figura 1. 4 Índices de refracción para varios materiales

DIFRACCIÓN

El principio de Huygens establece que "Cada punto de un frente de onda primario sirve como foco de ondas esféricas secundarias que avanza con una velocidad y frecuencia igual a las de la onda primaria.

El frente de onda primario al cabo de un cierto tiempo es la envolvente de estas ondas elementales"³

En otras palabras al colocar ante cualquier fuente de luz una pantalla que tenga un orificio, se impide el paso de la luz, excepto en el orificio de la pantalla y la luz se propaga en dirección rectilínea.

³ Tipler, Paul A. "Física para la ciencia y tecnología". Editorial Reverte S.A., México, 1999. Pág.1088

POLARIZACIÓN

Un haz de luz tiene diversas propiedades en cada una de las direcciones perpendiculares a su propagación correspondientes a una polarización rectilínea.

Existen cuatro fenómenos que generan ondas electromagnéticas polarizadas a partir de ondas no polarizadas: a) absorción, b) reflexión, c) dispersión ó scattering y d) birrefringencia ó doble difracción.

a) Polarización por Absorción

En la naturaleza se encuentra algunos cristales que si se cortan de una manera apropiada pueden absorber y transmitir luz de un modo diferente dependiendo de la polarización de la luz. Estos cristales se utilizan para obtener luz polarizada linealmente.

b) Polarización por Reflexión

Cuando la luz no polarizada se refleja en una superficie plana entre dos medios transparentes, la luz reflejada se encuentra parcialmente polarizada. El grado de polarización depende del ángulo de incidencia y de los índices de refracción de los dos medios. Si bien la luz reflejada esta totalmente polarizada cuando el ángulo es θ_p , la luz que se transmite esta solo parcialmente polarizada, esto se debe a que solo se refleja una pequeña parte de la luz incidente.

c) Polarización por Dispersión o Scattering

Un ejemplo común de este fenómeno es la dispersión de la luz solar mediante las moléculas de aire de la atmósfera de la tierra, y así se observa el cielo azul.

d) Polarización por birrefringencia

Es un fenómeno que se presenta en la calcita y algunos cristales no cúbicos y en algunos plásticos sometidos a alguna tensión. Estos materiales son isótropos, debido a su estructura atómica, los materiales birrefringentes son anisótropos, la velocidad de la luz depende de la dirección de propagación a través del material. Al incidir los rayos de luz en estos materiales, se separan en dos rayos, uno llamado rayo ordinario y el otro rayo extraordinario.

Estos rayos están polarizados en direcciones recíprocamente perpendiculares y se propagan en velocidades diferentes.

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Las ondas electromagnéticas se agrupan bajo distintas denominaciones según su frecuencia, aunque no existe un límite muy preciso para cada grupo. Además, una misma fuente de ondas electromagnéticas puede generar al mismo tiempo ondas de varios tipos.

- **Ondas de radio:** son las utilizadas en telecomunicaciones e incluyen las ondas de radio y televisión. Su frecuencia oscila desde unos pocos hercios hasta mil millones de hercios. Se originan en la oscilación de la carga eléctrica en las antenas emisoras (dipolo radiante).
-
- **Microondas:** Se utilizan en las comunicaciones del radar o la banda UHF (Ultra High Frequency) y en los hornos de las cocinas. Su frecuencia va desde los mil millones de hercios hasta casi el billón. Se producen en oscilaciones dentro de un aparato llamado magnetrón. El magnetrón es una cavidad resonante formada por dos imanes de disco en los extremos, donde los electrones emitidos por un cátodo son acelerados originando los campos electromagnéticos oscilantes de la frecuencia de microondas.
- **Infrarrojos:** Son emitidos por los cuerpos calientes. Los tránsitos energéticos implicados en rotaciones y vibraciones de las moléculas caen dentro de este rango de frecuencias. Los visores nocturnos detectan la radiación emitida por los cuerpos a una temperatura de 37° . Sus frecuencias van desde 10^{11}Hz a $4 \cdot 10^{14}\text{Hz}$. Nuestra piel también detecta el calor y por lo tanto las radiaciones Infrarrojas.

- **Luz visible:** Incluye una franja estrecha de frecuencias, los humanos tenemos unos sensores para detectarla (los ojos, retina, conos y bastones). Se originan en la aceleración de los electrones en los tránsitos energéticos entre órbitas permitidas. Entre $4 \cdot 10^{14}$ Hz y $8 \cdot 10^{14}$ Hz.
- **Ultravioleta:** Comprende de $8 \cdot 10^{14}$ Hz a $1 \cdot 10^{17}$ Hz. Son producidas por saltos de electrones en átomos y moléculas excitados. Tiene el rango de energía que interviene en las reacciones químicas. El sol es una fuente poderosa de UVA (rayos ultravioleta) los cuales al interactuar con la atmósfera exterior la ionizan creando la ionosfera. Los rayos ultravioleta pueden destruir la vida y se emplean para esterilizar. Nuestra piel detecta la radiación ultravioleta y nuestro organismo se pone a fabricar melanina para protegernos de la radiación. La capa de ozono nos protege de los UVA.
- **Rayos X:** Son producidos por electrones que saltan de órbitas internas en átomos pesados. Sus frecuencias van de $1 \cdot 10^{17}$ Hz a $1,1 \cdot 10^{19}$ Hz. Son peligrosos para la vida: una exposición prolongada produce cáncer.
- **Rayos gamma:** comprenden frecuencias mayores de $1 \cdot 10^{19}$ Hz. Se origina en los procesos de estabilización en el núcleo del átomo después de emisiones radiactivas. Su radiación es muy peligrosa para los seres vivos.

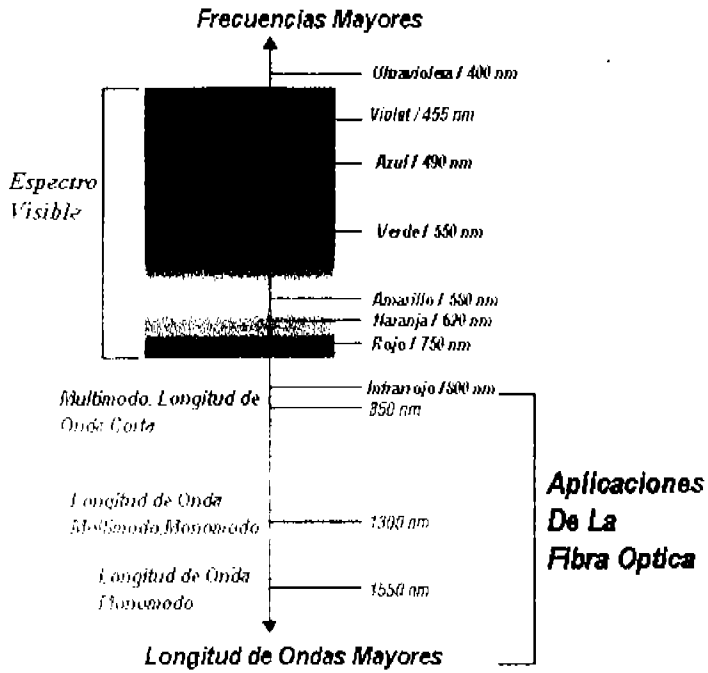


Figura 1. 5 Espectro Electromagnético

CAPITULO 2.

"FIBRA ÓPTICA Y ELEMENTOS OPTOELECTRÓNICOS"

CONDUCCIÓN DE LA LUZ

Cualquier fibra óptica esta integrada por dos capas, cada una con diferente índice de refracción, quien tiene el índice mas elevado es el núcleo y debido a esta diferencia la luz que viaja dentro de ella se mantiene y se propaga por el núcleo.

DEFINICIÓN

Las fibras ópticas son filamentos de vidrio o cuarzo, cuyas dimensiones son similares al cabello humano, su estructura esta formada por un "núcleo" rodeado por un material dieléctrico transparente llamado "revestimiento", figura 2.1.

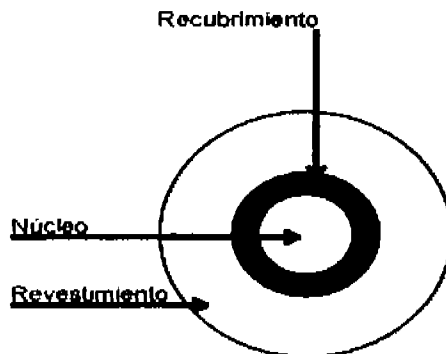


Figura 2.1 Estructura de una fibra óptica

Núcleo

Es la sección central por donde viaja la luz a través de la fibra óptica. Tiene un índice de refracción mayor que el revestimiento.

Revestimiento

Es la sección que rodea al núcleo y se encarga de guiar la luz que se propaga a través de este.

ATENUACIÓN

La atenuación es la pérdida de energía que sufre la luz al viajar en la fibra óptica y se mide en decibelio por kilómetro (dB/Km).

Al ir desarrollando las técnicas de fabricación de las fibras ópticas cada vez van siendo menores las atenuaciones que se obtienen, actualmente en fibras ópticas monomodo se obtiene una atenuación del orden de 0.4 dB/Km.

La absorción y la difusión son las dos principales causas de atenuación en una fibra óptica. Hay dos tipos de absorción: una llamada absorción intrínseca y la otra absorción extrínseca.

PERDIDAS INTRÍNSECAS

a) Absorción por Rayos Ultravioleta e Infrarrojos

Estas pérdidas son ocasionadas por la interacción que existe entre los fotones que viajan a través de la fibra óptica y las moléculas que componen el núcleo.

La absorción ocasionada por rayos ultravioleta es casi despreciable a partir de los 1000 nm y decrece con la longitud de onda, a su vez la absorción por rayos infrarrojos es originada por la vibración entre átomos de silicio y oxígeno, aumenta con la longitud de onda, pero se desprecia después de los 1400 nm.

b) Scattering Rayleigh

Este fenómeno se produce cuando la luz choca con partículas extrañas al viajar a través de la fibra óptica, el cual origina una difracción que absorbe parte del espectro de la señal y produce una pérdida de energía de la longitud de onda.

Este fenómeno es conocido como efecto Rayleigh y afecta a longitudes de onda comprendidas entre 400 y 1100 nm.

PERDIDAS EXTRÍNSECAS

Absorción por Impurezas

Las impurezas mas comunes en las fibras de silicio son las metálicas, como: hierro, cromo, cobalto y níquel. Las perdidas originadas por impurezas metálicas son de alrededor de 1 dB/Km., pero este tipo de perdidas se puede reducir al mínimo durante el proceso de fabricación.

PERDIDAS

a) Curvaturas de la Fibra Optica

Cada que la fibra óptica sufre alguna curvatura debido a diferentes factores durante su instalación, se origina una atenuación, ya que el núcleo como el revestimiento dejan de ser geoméricamente uniformes.

Estas pérdidas son inapreciables hasta que se sobrepasa la curvatura crítica, figura 2.2.

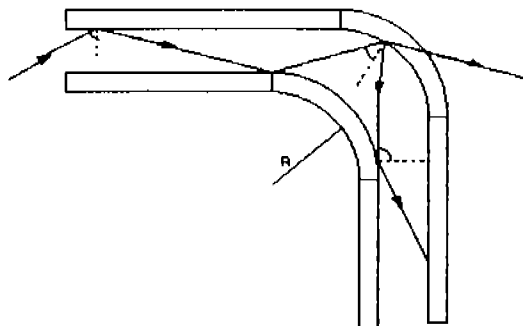


Figura 2.2 Perdidas por curvaturas de la Fibra Óptica

APERTURA NUMÉRICA

Este concepto es de mucha importancia, ya que es una propiedad de las fibras ópticas para reunir la luz y propagarla. La apertura numérica de una fibra va a depender del índice de refracción del núcleo y el índice de refracción del recubrimiento, sin tomar en consideración sus dimensiones.

Cualquier rayo luminoso que se acerque a la cara de entrada de la fibra se va a propagar, siempre y cuando el rayo luminoso pueda reflejarse totalmente en el ángulo máximo de entrada.

En las fibras comerciales las aperturas numéricas varían entre 0.1 y 0.6, y en cuanto más sea la diferencia entre el índice del núcleo y el índice del recubrimiento, mayor será la apertura numérica, y a su vez aumentará el número de ángulos de entradas que permiten la propagación de la luz.



Figura 2.4 Cono de Aceptancia

DISPERSIÓN

La dispersión es una propiedad que limita el ancho de banda en una fibra óptica, lo cual va a afectar la transmisión de la señal, y se debe a la duración del pulso que viaja por la fibra óptica.

TIPOS DE DISPERSIÓN

a) Dispersión Cromática

El índice de refracción del material con que esta fabricada la fibra óptica varía con la longitud de onda, y se refleja en la velocidad de propagación diferente para cada onda.

Al viajar la luz de diversas longitudes en una difracción dada o modo específico la luz se propaga a diferentes velocidades, dependiendo de la longitud de onda.

b) Dispersión Modal

En una fibra óptica todos los modos de propagación no siguen las mismas trayectorias. Los modos de menor orden viajan casi en línea recta, y a su vez los modos de mayor orden tienen un gran número de reflexiones totales, las cuales tienen trayectorias en zigzag.

c) Dispersión de Guía de Onda

Cuando una fibra óptica presenta diferentes índices de refracción en su núcleo, se presenta la dispersión de guía de onda debido a que la longitud o longitudes de onda del rayo de luz que ha de viajar por medio de la fibra óptica, sufre un cambio de velocidad dependiendo en que lugar de la fibra óptica viaje.

CLASIFICACIÓN

Las fibras ópticas pueden clasificarse de acuerdo a la cantidad de modos de propagación que se clasifican en:

- Monomodo
- Multimodo

Monomodo

Esta fibra óptica tiene una elevada eficiencia en las telecomunicaciones a grandes distancias. Se caracterizan por tener un núcleo con un diámetro muy pequeño alrededor de 6 a 8 μm , mientras que el revestimiento es de 125 μm .

Para este tipo de fibra óptica se tienen posibles bandas pasantes superiores a los 50 Ghz por kilómetro. Tiene un núcleo tan pequeño el cual solo permite una modalidad de transmisión, figura 2.5.

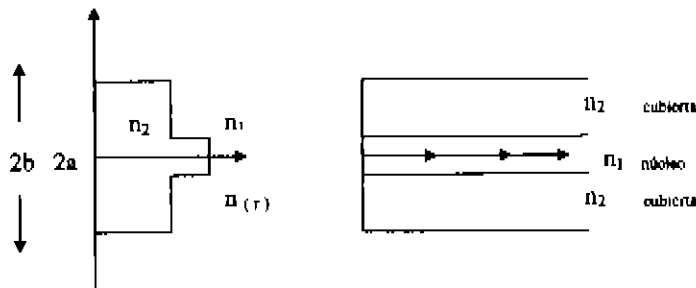


Figura 2.6 Fibra Monomodo

Multimodo

Esta fibra óptica tiene un diámetro en su núcleo de 50 a 200 μm y de 150 a 250 μm para el revestimiento primario.

- De Índice Gradual

Esta es una de las fibras ópticas más difíciles de fabricar y son utilizadas en los enlaces de más alta capacidad de información. El diámetro del núcleo $2a$ es comúnmente de 50 μm , y el de un revestimiento de 125 μm .

El retraso que presenta esta fibra, va a estar determinado por el perfil de índice del ancho de banda espectral y de la longitud de onda de la fuente luminosa empleada.

La figura 2.6 muestra las formas que tienen las trayectorias en una fibra de índice gradual.

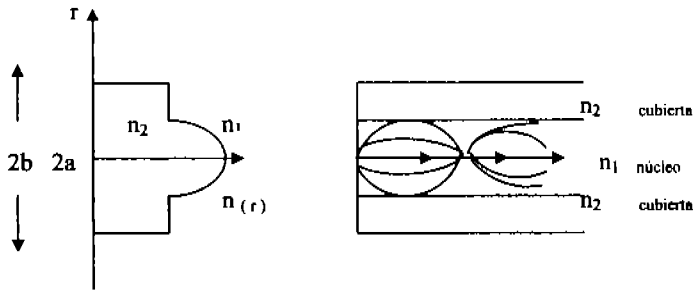


Figura 2. 6 Fibra de Índice Gradual

- De Salto de Índice

El núcleo de este tipo de fibra óptica tiene un índice de refracción constante, al llegar al revestimiento, el cambio es constante que el índice de refracción es menor y esto provoca que la luz tome trayectorias en forma de zigzag, provocados por la reflexión total que sufre la luz al chocar con un medio de diferente al núcleo; su diámetro del núcleo es de 50 a 200 μm , figura 2.7.

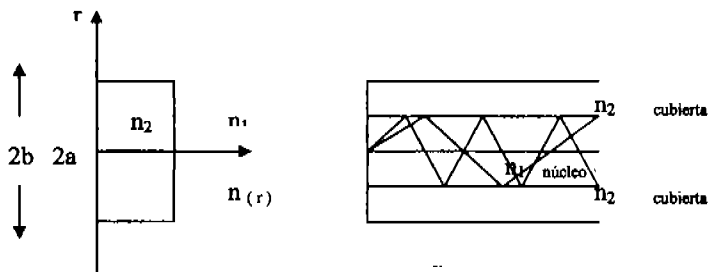


Figura 2. 7 Fibra de Salto de Índice

CLASES

a) Núcleo de Vidrio forrada con Plástico

En la fabricación de esta clase de fibra óptica puede obtenerse sin dificultades en diámetros de 50 μm hasta 1 mm en cualquier longitud, por lo que no van a ser necesarios empalmes.

b) Núcleo de Plástico forrada con Plástico

La utilización de silicio en su fabricación permite una importante apertura numérica, entre 0,33 y 0,58. Una de las principales aplicaciones de esta clase de fibras, es en las transmisiones de datos, ya que resiste a las radiaciones nucleares.

c) Núcleo de Vidrio forrada con Vidrio

Este es el tipo de fibra que se presenta las mejores cualidades ópticas, esta formada de dos partes: el núcleo de vidrio y el recubrimiento del mismo material. Es común que tanto el núcleo como el recubrimiento sean de la misma clase de vidrio, se utiliza una sustancia modificadora para aumentar el índice de refracción del núcleo o para disminuir el índice de refracción del recubrimiento.

En distancias de 50 a 100 kilómetros, es necesario utilizar para su fabricación un vidrio demasiado transparente. Para distancias mayores a 100 kilómetros se utiliza silicio, ya sea que pueda obtenerse de cristales naturales o sintéticos químicos.

ESTRUCTURA

a) Clásica

En la figura 2.8 se muestra una fibra óptica con dos guías ópticas y revestimiento secundario de resina fluorada, y en seguida parte de plástico producido por Du Pont de Nemours, al igual que la cubierta exterior a base de Hytrel o un componente de las mismas características.

En la estructura clásica como se muestra, la forma es cilíndrica, cada fibra esta protegida por un tubo de poliuretano. Todo se encuentra rodeado por una vaina de polietileno, una cinta de aluminio y un revestimiento de teflón.

Este tipo de fibra estructura de fibra óptica, se caracteriza por tener una protección efectiva y es muy apropiado para realizar conducciones subterráneas; tiene una elevada resistencia mecánica, tanto a la tracción como a la compresión.

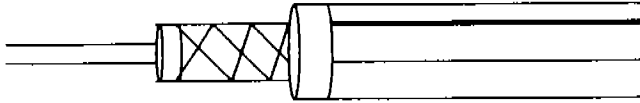


Figura 2..8 Fibra con dos guías ópticas

b) Estructura de Cinta

En este clase de estructura se encuentra el tipo 144, la cual cuenta con doce cintas, en cada cinta hay un numero definido de fibras (figura 9 y 10), su diámetro total es de 12 mm, el conjunto de estas fibras esta conformado por grupos de cinco, seis o doce fibras, revistiendo cada cinta con un material aislante de características adecuadas.

Las cintas se enrollan en forma helicoidal en un forro exterior de muy elevada rigidez. La principal ventaja de esta estructura es la posibilidad de realizar conexiones globales de un gran número de fibras al mismo tiempo.

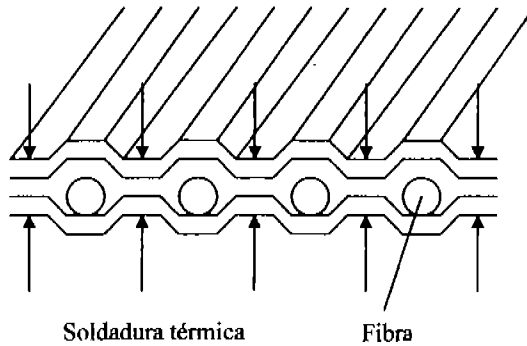


Figura 2.9 Preparación de la cinta

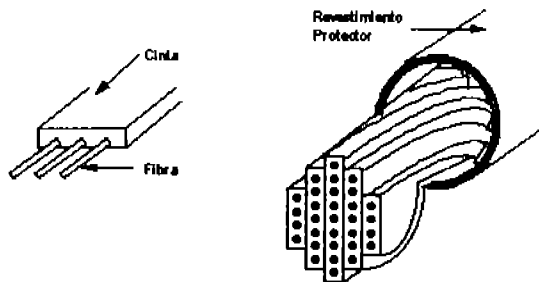


Figura 2. 10 Estructura de Cinta

c) Estructura Helicoidal Ranurada

La tracción aplicada al cable es soportada por este tipo de estructura, existe un portador cilíndrico con ranuras helicoidales, en el cual se colocan fibras ópticas de manera holgada, y están recubiertas con una capa de espuma de poliuretano. En la figura 2.11 la estructura esta rodeada por una cinta ligera, y el conjunto esta protegido por una valna que resiste la presión mecánica.

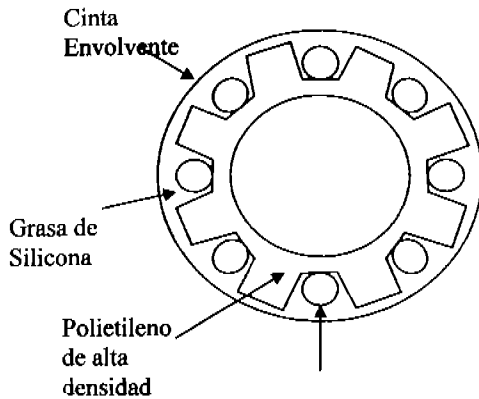


Figura 2. 11 Estructura Helicoidal Ranurada

CARACTERÍSTICAS

a) Esfuerzo

El esfuerzo en una fibra óptica es causado principalmente por la tensión o fuerza aplicada al momento de su instalación o durante su fabricación. Si se exceden estos esfuerzos pueden causar fracturas en la fibra óptica

b) Resistencia a la Tracción

La resistencia nominal a la tracción de una fibra óptica con diámetro de 0,01 mm es de 100 Kg. /mm², hay límites para el ángulo de curvatura, y debido al forro se impide que se sobrepase dicha

curvatura. Para una del diámetro mencionado, el radio de la curva nominal es de 0,07 mm.

Al someter a una fibra a demasiada flexión puede llegar a romperse el forro, lo que provocaría pérdidas que reducirían la calidad de la transmisión. Las fibras que resisten mayores encurvamientos, son las fibras sintéticas obtenidas por extrusión, este tipo de fibras tienen una resistencia elevada a la tracción.

c) Limitaciones Químicas

Las fibras ópticas poseen limitaciones químicas, las cuales se presentan en determinadas longitudes de onda. Los efectos causados por la irradiación del Laser de mucha potencia causan un deterioro en las fibras.

La irradiación produce un cambio en el color del material transparente de las fibras, provocando que se oscurezcan.

El material en estado de extrema pureza que es menos afectado por la irradiación, es el cuarzo, solo que es difícil fabricar fibras con este material.

d) Limitaciones Térmicas

Dependiendo del material en que estén fabricadas las fibras ópticas, ya sean vidrios o materiales sintéticos, las limitaciones térmicas tendrán diferencias.

El calor puede ser provocado por diversos factores, las fibras no son afectadas por temperaturas menores a 120° C.

e) Dimensiones y Formas

Son tres los factores que deben considerarse en los diferentes tipos de fibras ópticas: longitud, diámetro y acción de sus extremos.

Las fibras ópticas utilizadas en las telecomunicaciones tienen una gran longitud, así mismo en aplicaciones opto electrónicas la longitud es de 200 a 2000 metros aproximadamente.

Las fibras fabricadas con fosfosilicato utilizadas en telecomunicaciones, tienen diámetros totales que van desde 0,05 hasta 0,10 mm.

Los diámetros de la mayor parte de las fibras ópticas fabricadas en vidrio con forro, están especificadas en la siguiente tabla:

Diámetro nominal en milímetros	Micras
0,01	8 a 10
0,02	15 a 20
0,03	15 a 30
0,04	45
0,05	50
0,07	75
1	100
1,50	150
2,50	250

MÉTODOS DE FABRICACIÓN

a) Método de Doble Crisol

El método más básico en la fabricación de fibras ópticas con forro de vidrio, es el de doble crisol, como se observa en la figura 2.10, el cual consiste en un estiramiento a través de un mecanismo de hilatura, compuesto por dos crisoles. Uno de los materiales utilizados para la fabricación del núcleo es el silicio, se calienta en el depósito central y el forro en el exterior, hasta alcanzar el punto de fusión en que fluyan dentro de los crisoles.

Los crisoles son cilíndricos y rigurosamente concéntricos hechos de platino o silicio, es muy importante que la temperatura sea constante durante la proceso de fabricación de la fibra óptica.

Con este método se obtienen fibras de vidrio de índice escalonado, así como fibras de índice gradual, figura 2.12.

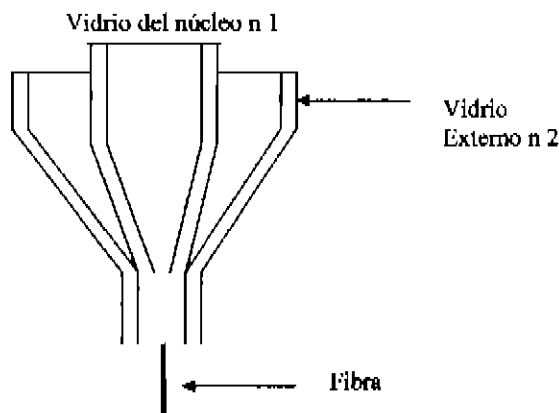


Figura 2.12 Hilatura mediante dos crisoles

b) Método de Preforma

Otro método de fabricación de fibras ópticas consiste en la elaboración de una preforma, la cual es una barra cilíndrica que tiene la prefigura de una fibra óptica,

La barra cilíndrica es de corta longitud, esta a su vez se estira inmediatamente para formar la fibra. El diámetro del núcleo y del forro así como su perfil de índice es el mismo al de la preforma, figura 2.13.

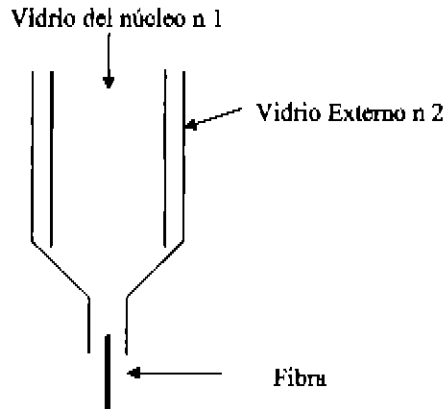


Figura 2. 13 Hlatura mediante preforma

FIBRAS SINTÉTICAS

Las fibras ópticas hechas con materiales sintéticos se obtienen mediante sistemas de extrusión.

El forro puede ser aplicado en forma de barniz, aunque es común que sea otro material sintético de características poliméricas, en estado de fusión.

Estas fibras ópticas fabricadas con silicio y forro de plástico, se conocen como PCS (Plastic Coatec Silica), en esta tipo de fibra óptica el núcleo tiene demasiada pureza.

FIBRAS DE FOSFOSILICATO

Estas fibras tienen doble revestimiento, son empleadas en telecomunicaciones, se fabrican haciendo pasar vapores de oxloruro de fosforo (POCl_3), tetracloruro de silicio (SiCl_4) y oxígeno, a través de un tubo de silicio de características que actúan en el revestimiento mecánico.

EMPALMES

Un empalme es una interconexión permanente de fibras ópticas, cuando se realiza la interconexión entre fibras ópticas es importante que los núcleos estén alineados entre sí para lograr un empalme que tenga pocas pérdidas.

Las uniones de fibras ópticas pueden ser fijas o temporales. En la unión fija se lleva a cabo con un empalme permanente y en las temporales se realizan utilizando conectores que son removibles.

Dependiendo de las necesidades de la instalación, será la elección del tipo de unión, ya que si se requiere una unión permanente de tramos largos de fibra óptica con bajas atenuaciones, se hará un empalme de fusión, y a su vez si se necesitan reparar algún corte de fibra óptica, es necesario utilizar los empalmes mecánicos.

EMPALME MECÁNICO

Este empalme es utilizado cuando se tiene un corte de fibra óptica y es necesario restablecer de inmediato el servicio, este empalme no debe ser permanente, ya que produce demasiadas pérdidas.

En los enlaces de corta distancia que se puedan tolerar pérdidas considerables se utilizan empalmes mecánicos con diferentes métodos de unión de fibras ópticas como:

- Varillas (de acero o vidrio)
- Elastomérico
- Ranurada en forma V
- Otros métodos

a) Método de Varillas

Este es el método principalmente utilizado en empalmes mecánicos, casi siempre se utilizan tres o mas varillas de acero o vidrio acomodadas como se aprecia en la figura 2.14 para lograr que en el orificio central se alinien las fibras que vamos a unir.

En este método se puede agregar una sustancia llamada "epóxica", la cual se utiliza para unir las fibras ópticas y al mismo tiempo funciona como acoplador óptico.

Las varillas que se utilizan en este método son de un diámetro mucho mayor que el de la fibra óptica y es importante que tengan dimensiones muy precisas con tolerancias menores a $0.04\mu\text{m}$.

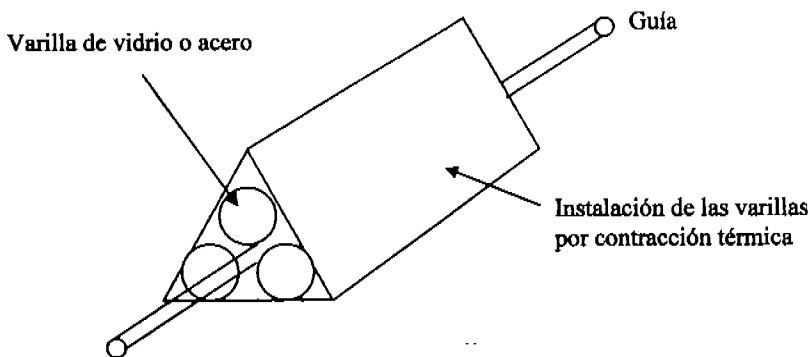


Figura 2.14 Empalme mecánico por método de varillas

b) Método de Ranura en V

Es uno de los métodos más utilizados en empalmes mecánicos; cuando las fibras ópticas están ya cortadas y preparadas, son colocadas en ambos extremos de una ranura acanalada en forma de V, así se alinean las fibras para la unión, se agrega un adhesivo el cual tiene un índice de refracción igual al del núcleo de la fibra óptica.

Esta unión se realiza utilizando una tapa, la cual sujeta las fibras ópticas, manteniéndolas en contacto.

Existen varios tipos de empalmes utilizando el método de ranura en V, el empalme mas sencillo es realizado con una tapa plana el cual se describe en la figura 2.15.

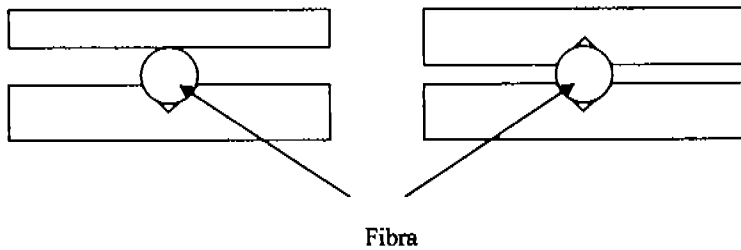


Figura 2. 15 Empalme mecánico por ranura en V

Este método tiene las ventajas de ser muy fácil así como rapidez en su elaboración.

c) Método Elastomérico

Este es otro de los métodos en empalmes mecánicos el cual consiste en dos tubos de materiales elásticos con un pequeño orificio en el centro y un diámetro un poco menor que el del revestimiento de la fibra óptica, tiene un pequeño ensanchamiento en ambos extremos del orificio para poder facilitar que las fibras se unan.

Al estar unidas las fibras ópticas, el diámetro del orificio se expande de cierta manera, que el material elástico ejerce una fuerza simétrica sobre la fibra óptica y así esta pureza hace que las fibras ópticas se

unan y queden automáticamente alineadas sin tomar en cuenta si son de diferentes diámetros.

EMPALME POR FUSIÓN

El empalme por fusión es el método mas utilizado el cual consiste en aplicar calor en la zona especifica donde se van a unir las fibras ópticas.

Las fibras ópticas deben de estar planas y perpendiculares al eje en sus extremos, y tienen que estar libres de grasa y polvo.

- Empalme por Fusión con Arco Eléctrico

En este método se utiliza un arco eléctrico, mas no es el único método ya que también existe fusión por gas o por Laser. Las fibras ópticas son sujetadas por un sistema de bloques movibles o por sujetadores mecánicos con el fin de evitar movimientos indeseables.

Se llegan a presentar burbujas de aire y deformaciones en el núcleo durante la elaboración de este empalme cuando existen imperfecciones en los extremos de las fibras ópticas, se puede evitar con una prefusión, al aplicar calor durante un tiempo muy pequeño, mucho menor que al aplicado en la fusión y así se redondean y suavizan los extremos en sus superficie, figura 2.16.

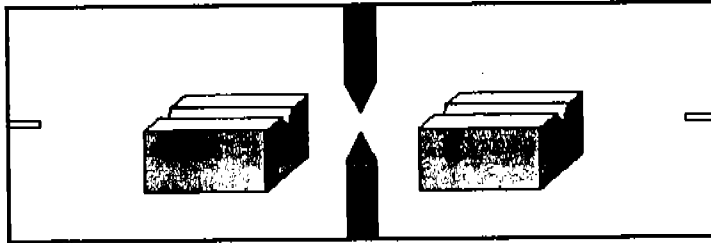


Figura 2.16 Empalme de fusión por arco eléctrico

EMPALME POR PEGAMENTO

El empalme por pegamento es un método muy rápido, la única desventaja que se tiene al utilizar este tipo de empalme, es que la resina epoxy óptica se desgasta con el tiempo.

PERDIDAS EN EMPALMES

PÉRDIDAS EXTRÍNSECAS

Las pérdidas extrínsecas son causadas cuando en la unión están desalineadas las fibras ópticas, este desalineamiento produce pérdidas de radiación debido a que el cono de radiación de la fibra emisora no compagina con el cono de aceptación de la fibra receptora.

Los tres tipos principales de desplazamiento son:

1. Separación Longitudinal, ocurre cuando las fibras ópticas a unirse están colocadas en el mismo eje, pero no hay un espacio entre las caras de sus extremos.
2. Falla Angular, se produce cuando los ejes de las fibras ópticas forman un ángulo y las caras de los extremos no se encuentran paralelas.
3. Falla Axial, cuando los ejes no están colineales y se encuentran separados paralelamente por una distancia determinada.

Las pérdidas que se producen por desplazamientos mecánicos en uniones de fibras ópticas, están determinadas por el método e instrumentos utilizados al unir las fibras.

CONECTORES ÓPTICOS

Se utilizan cuando se requiere unir dos fibras ópticas de una forma rápida y temporal y son divididos en dos tipos de conectores:

- De acercamiento mecánico de precisión de los extremos de la fibra óptica.
- De acercamiento óptico de los frentes de onda de las fibras ópticas a unir.

a) **De Acercamiento Mecánico de Precisión de los Extremos de la Fibra Óptica**

Son utilizados en estructuras que requieren de una precisión lateral, azimutal y longitudinal para lograr el alineamiento en las fibras ópticas al unirse.

b) **De Acercamiento Óptico de los Frentes de onda de las Fibras Ópticas a Unir**

Es este tipo de conectores se utilizan lentes para lograr el alineamiento de las fibras ópticas que se quieren unir y así conseguir mejores tolerancias angulares.

Los conectores de acercamiento mecánico de precisión de los extremos de la fibra óptica son los más utilizados, debido a su costo, a sus pérdidas ópticas y su durabilidad.

TIPOS DE CONECTORES ÓPTICOS

Los tipos más comunes de conectores ópticos son:

- Conector de Férula o Casquillo
- Conector Bicónicos
- Conector de Excentricidad Ajustable

a) Conector de Férula o Casquillo

La fibra óptica es colocada en este conector dentro de un casquillo protector de precisión, aquí se deben de alinear los casquillos y los extremos del conector deben de estar pulidos.

Para que no halla perdidas en el conector, se debe conservar la concentricidad entre la fibra óptica y el casquillo.

El casquillo esta fabricado de un material de cerámica, generalmente con una cubierta de acero, presenta en su interior una capilaridad concéntrica, la cual centra y fija la fibra óptica, aquí se le prepara con resina epóxica dentro de la cavidad para lograr la fijación adecuada.

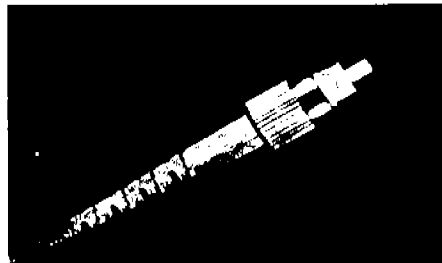


Figura 2.17 Conector de Férula o Casquillo FC

b) Conector Bicónico

Este tipo de conector es muy utilizado en la fibra Multimodo en la transmisión de datos. Esta formado por dos conos concéntricos, estos alinean la fibra óptica en el casquillo, se pueden obtener perdidas menores a 1 Db.

El casquillo de este tipo de conector óptico esta hecho de cerámica encapsulado en metal y tiene una cubierta de cuarzo combinado con metal epóxico, se ajuste mediante un resorte en el punto de contacto, figura 2.18.

c) Conector D4

Este conector óptico es muy similar al conector de Férula o Casquillo, se obtienen perdidas aproximadamente de 0.7 dB, con una durabilidad de 1000 inserciones y se utiliza en equipos de comunicaciones, figura 2.18.

d) Conector de Excentricidad Ajustable

En este tipo de conectores se consigue el alineamiento cuando se rotar una fibra óptica con respecto a la otra, una vez que la fibra óptica esta ajusta en el conector, se fija para evitar movimientos, sin importar si es necesario hacer otro ajuste.

- Bajo costo
- Bajo consumo
- Tamaño pequeño
- Alta potencia de salida
- Compatible con las dimensiones de las fibras ópticas

Los emisores utilizados en un sistema de comunicación por fibras ópticas son:

- Diodo electroluminiscente (LED)
- Diodos Laser (LD)

DIODO ELECTROLUMINISCENTE (LED)

Es un diodo que emite luz por emisión espontánea, es decir no coherente.

Para el funcionamiento de este tipo de diodo es muy importante la longitud de onda de luz emitida así como el tiempo de conmutación el cual va a determinar el tiempo de reacción del diodo. Los tiempos mínimos se encuentran alrededor de algunos nanosegundos.

Los diodos electroluminiscentes más utilizados son del tipo SLED y ELED.

DIODO SLED

Este diodo es construido con una corrosión en el sustrato, lo que evita que los fotones puedan escapar, así una fibra óptica es insertada dentro de la hueco del sustrato, figura 2.19.

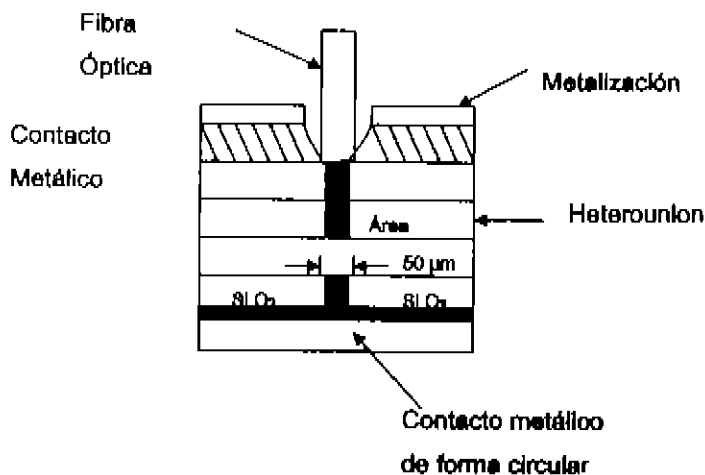


Figura 2.19 Estructura de un LED de Superficie

DIODO ELED

Este diodo emisor de luz obliga a que la luz salga a través de la cara coaxial del sustrato y debido a esto la fibra óptica se conecta en la parte lateral.

Las pérdidas de acoplamiento son menores que en el diodo SLED.

CARACTERÍSTICAS	LED	ELED
Longitud de onda (nm)	850 - 1300	850 - 1300
Ancho Espectral (nm)	30-110	10-50
Corriente de excitación (mA)	20-300	20-300
Potencia media de salida (mW)	1	<3
Ancho de Banda (Mhz. Km)	10-50	50-200
Temperatura máxima admisible	60°C	60°C
Vida media (hrs)	10 ⁷	10 ⁷

DIODO LASER

Los diodos Laser son fuentes de emisión estimulada, en su interior se localizan dos espejos semirreflejantes para formar una cavidad resonante y las dimensiones de esta determinan la longitud de onda de la luz que será emitida.

La amplificación de la luz mediante emisión estimulada ofrece una mayor potencia de salida óptica al mismo tiempo un mejor enfoque de la luz que emite.

Este tipo de fuentes son ideales para una transmisión a largas distancias ya que su ancho de banda espectral es mínimo y esto provoca una menor dispersión.

DETECTORES ÓPTICOS

En un sistema de comunicación por fibras ópticas, el detector óptico es un elemento muy importante y esencial; se emplean como fotodetectores fotodiodos semiconductores conectado junto a un amplificador de bajo ruido, ya que la señal que proporciona el fotodetector es muy débil

Su función del fotodetector es convertir la potencia óptica incidente en corriente eléctrica.

Las características más importantes con las que debe de cumplir un fotodetector son:

- Sensibilidad elevada a la longitud de onda
- Ruido mínimo
- Un ancho de banda grande
- No ser susceptible al medio ambiente
- Compatibilidad con las fibras ópticas

Los fotodetectores más usados son:

- Fotodetector PIN
- Fotodetector de avalancha (APD)

FOTODETECTOR PIN

El fotodetector PIN, es uno de los detectores más comunes en los sistemas de transmisión por fibras ópticas y son empleados a bajas velocidad y distancias cortas.

Este fotodetector es construido con una capa de material semiconductor contaminado, llamada región intrínseca la cual es colocada entre dos regiones, tipo p y tipo n de ahí proviene su nombre de PIN.

El fotodetector PIN esta formado por tres capas y tiene polarización inversa, según la aplicación que tengan se fabrican de silicio, germanio o fosforo-arseniuro-gallo-Indio (InGaAsP), así como sus dimensiones coinciden aproximadamente con los diámetros de las fibras ópticas, figura 2.20.

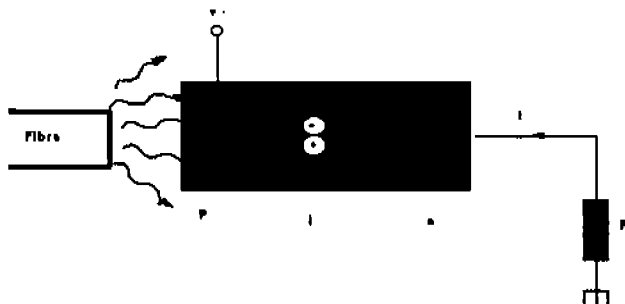


Figura 2.20 Fotodetector PIN

FOTODETECTOR DE AVALANCHA (APD)

Cuando se incrementa el voltaje de polarización en un fotodetector la corriente aumenta sin poder ser controlada, esto es debido al fenómeno avalancha. La región en donde aumenta la corriente se conoce como avalancha, es aquí en donde el fotodetector incrementa su sensibilidad.

Los fotodetectores de avalancha son usados en situaciones que se requiere de una gran sensibilidad para grandes distancias.

Tienen una estructura muy parecida a la del fotodetector tipo PIN al igual que su forma de operación, solo que debido a que el voltaje es elevado es necesario que el fotodetector de avalancha tenga una capa intrínseca más ancha, figura 2.21.

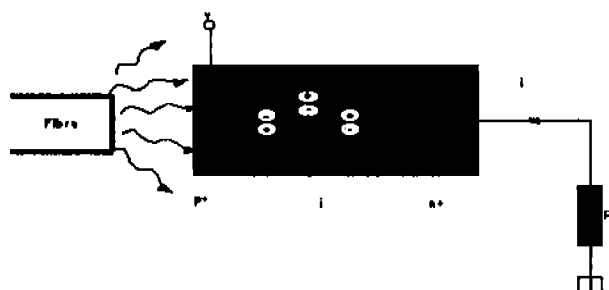


Figura 2. 21 Fotodetector de Avalancha (APD)

CAPITULO 3 "CABLE SUBMARINO DE FIBRA ÓPTICA"

ESTRUCTURA

El cable submarino esta formado de un núcleo donde se encuentran los pares de fibras ópticas, estas se encuentran cubiertas con una capa de polietileno la cual previene la abrasión y la penetración del agua o hidrógeno en las fibras.

Encima de la capa de polietileno tiene un tubo de cobre el cual sirve para conducir la corriente eléctrica que alimenta a los repetidores o para hacer circular corriente de bajo voltaje para monitorear el funcionamiento de los sistemas y localizar cables rotos.

Tiene una capa de alambre de acero, esta capa forma una especie de armazón que le da mayor resistencia a las quebraduras producidas por la pesca de arrastre así como la presión del agua y las mordidas de tiburones. Al final el cable presenta otra capa de polietileno impermeabilizante. El cable submarino presenta un diámetro aproximado de 5 centímetros, figura 3.1.

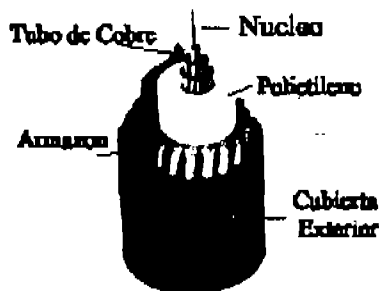


Figura 3.1 Estructura de un Cable Submarino de Fibras Ópticas

Se destacan dos tipos principales de cable submarino:

1. El cable armado que se usa para el cableado de poca profundidad (de 0 hasta 1500 metros) y tiene niveles altos de protección ya que a estas profundidades es donde están los principales factores de riesgo de los cables submarinos como lo son: la pesca de arrastre y los tiburones.
2. El cable ligero se usa para las grandes profundidades (0 a 7000 metros) y esta menos protegido que el cable armado.

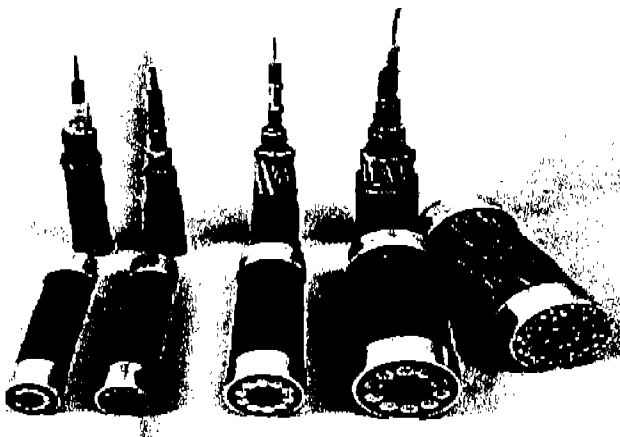


Figura 3. 2 Diferentes estructuras de un Cable Submarino de Fibras Ópticas

ELEMENTOS DE UN ENLACE

Para que un tramo de cable submarino lleve satisfactoriamente la información de un extremo a otro se necesitan de varios elementos distintos a los que se necesitan en las redes terrestres.

A continuación se presentan estos elementos, figura 3.3.

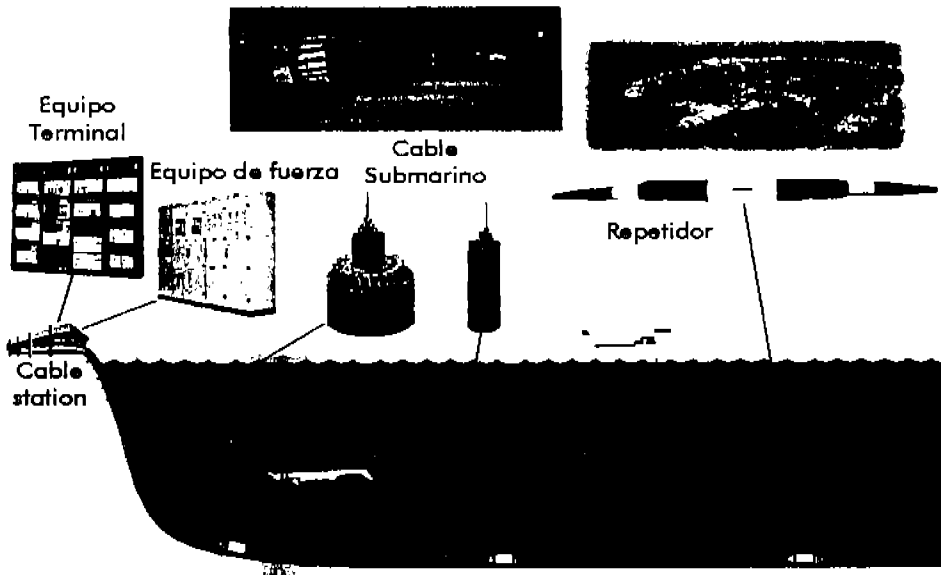


Figura 3. 3 Diferentes elementos de un enlace de Cable Submarino de Fibras Ópticas

REPETIDORES

Permiten la amplificación de la señal para evitar la atenuación de la misma. Son alimentados a través del tubo de cobre del cable y el circuito se cierra usando la tierra oceánica, figura 3.4

Características Mecánicas

- Aislamiento contra el agua de mar
- Protección contra golpes
- Protección contra la corrosión
- Aislamiento eléctrico

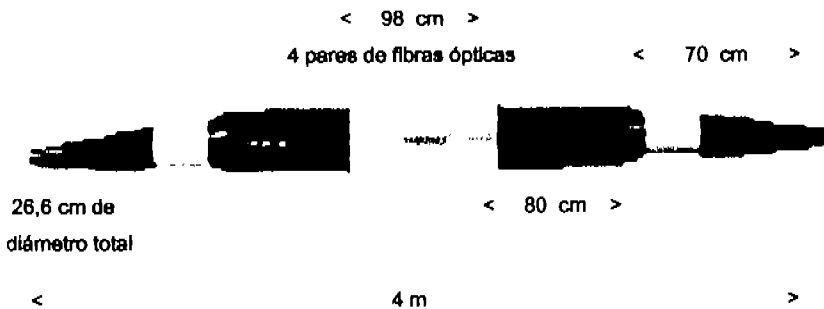


Figura 3. 4 Repetidor R3 Alcatel

BRANCH UNIT (UNIDAD DE DERIVACIÓN)

Su principal función es derivar el cable de fibra óptica desde el trunk o tramo principal hacia los branch o ramales, tiene un peso de 400 kilogramos y una altura de 3 a 4 metros, figura 3.5.



Figura 3. 5 Branch Unit ó Unidad de Derivación

Configuración Óptica

- BU Pasiva: algunos pares de fibras ópticas son enrutados dentro de la Branch Unit ó Unidad de Derivación dependiendo de la topología óptica de la red.
- BU Activa: algunas longitudes de onda son desviadas hacia la estación intermedia.

Configuración Eléctrica

- BU Permanentemente Conectada: BU pasiva eléctricamente
- BU Reconfigurable: BU conmutable eléctricamente; esta configuración permite reconfigurar el sistema de potencia cuando existe una falla en el cable.

CAJAS DE EMPALME

Permite unir diferentes cables de fibra (cables con diferentes protecciones) incluyendo el conductor de corriente y la protección.

Esto se debe a medida que van cambiando la profundidad y las condiciones ambientales a la que estará expuesto el cable es necesario distintos niveles de protección en el cable por lo cual la caja de empalme hace la transición entre un tipo de cable y otro. El cable puede ser de cobre o de fibra óptica.

INSTALACIÓN DEL CABLE SUBMARINO

Tender un cable submarino es tan complicado como poner un satélite en órbita ya que el cable y los repetidores son muy equipos caros, el tendido lo realizan barcos especiales en una operación controlada y realizada centímetro a centímetro por computadora.

El cable es almacenado y probado en grandes tanques cilíndricos situados en las fábricas, antes de ser cargado en el barco de tendido del cable submarino, figura 3.6 y 3.7.



Figura 3. 6 Barco encargado del tendido del cable submarino



Figura 3. 7 Dentro del barco del tendido del cable submarino

Es necesario tener una estación terminal la cual va a controlar las operaciones y en donde se encuentra el equipo alimentador.

También se construyen diferentes estaciones terrestres entre los lugares que se van a conectar, éstas se llaman estaciones de amarre, figura 3.8 y 3.9.



Figura 3.8 Instalación de la estación de amarre



Figura 3.9 Interior de la estación de amarre

La ruta definida se debe ejecutar con una precisión de alrededor de 100 metros, incluso cuando el cable se tiende a profundidades de hasta 8000 metros.

Es forzoso conectar la estación terminal con la playa, entonces existe una parte del cableado que va en forma terrestre, figuras 3.10 y 3.11.



Figura 3. 10 Trabajos de Instalación Terrestre



Figura 3. 11 Trabajos de Instalación Terrestre

Las operaciones marinas comienzan situando el cable a flote desde el barco de cableado hasta la posición en tierra.

Una vez que el extremo del cable está asegurado en la orilla, las bolsas de flotación se retiran permitiendo que el cable se asiente en el fondo del mar, figuras 3.12 y 3.13.



Figura 3. 12 Trabajos de Instalación del cable submarino



Figura 3. 13 Trabajos de Instalación del cable submarino a la orilla del mar



Figura 3. 14 Boyas utilizadas para la instalación del cable submarino

Los ajustes para tensar el cable y para posicionar el barco se hacen de forma continua con la ruta del cable. Cuando el cable llega a su punto de tierra de destino, un extremo del mismo ha sido previamente instalado y mantenido a flote, se lleva a bordo y se empalma al cable que está siendo tendido.

Los propietarios actuales de los cables submarinos buscan una instalación más rápida para poder recuperar su inversión tan pronto como sea posible. Los proyectos que habitualmente duraban cuatro a cinco años, ahora se terminan entre 18 meses y dos años.

Además los cables son frágiles. Un fallo en el aislamiento puede inutilizar los repetidores o deteriorar las fibras. Las corrientes submarinas, terremotos, anclas y las redes de arrastre son un peligro constante es por eso que barcos de reparación están en constante estado de alerta en todo el mundo.

PROVEEDORES

Entre los proveedores más importantes figuran los siguientes:

ALCATEL: líder mundial, con el 35% del mercado de redes submarinas, está involucrado en casi todos los grandes proyectos realizados bajo el mar. Hasta 1999, había suministrado más de 230.000 kilómetros de cable submarino.

Ofrece soluciones integradas que integran las redes terrestres con las submarinas y los sistemas de radio con los sistemas de satélite. Además fue el pionero en la tecnología WDM.

Entre los contratos relevantes se encuentran:

- 36000 kilómetros de cable SEA ME WE 3 que enlazan Europa, Asia y Australia.
- Atlantis2, un cable submarino de 12000 kilómetros que une Sudamérica, África y Europa.
- Gemini, un sistema de telecomunicaciones por fibra óptica entre Londres y Nueva York.
- Red de Cable China-US, un sistema transpacífico de 30000 kilómetros.

FLAG Atlantic: fue creada para construir y operar el primer sistema de cable dual transoceánico del mundo, diseñado para llevar tráfico de voz, datos y video a velocidades de hasta 1,28 Tbps. La construcción del cable tendrá un costo de alrededor de 1000 millones de dólares y Alcatel es el suministrador principal.

CANTV: uno de los proyectos más importantes que ha encarado es el de enlazar 46 ciudades de Venezuela, invirtiendo 300 millones de dólares. Esta red es una de las más amplias de Latinoamérica e incluye 1300 kilómetros de cable submarino (constituido por 24 fibras) y 3000 kilómetros de red terrestre (constituido por una fibra óptica de 36 filamentos). Esta red permite una velocidad de transmisión de 2,5 Gbps.

DIFERENTES CABLES SUBMARINOS EN LATINOAMÉRICA

CABLE PANAMERICANO

El Proyecto del Cable Submarino Panamericano se inició en mayo de 1994 con la suscripción de un Memorándum de Entendimiento (MOU) entre 15 empresas operadoras de servicios de telecomunicaciones internacionales, dentro de las cuales participaron las Empresas Miembros de ASETA de ese entonces: ENTEL S.A. de Bolivia, TELECOM de Colombia, EMETEL de Ecuador, TELEFONICA de Perú y CANTV de Venezuela.

La idea inicial del proyecto contemplaba un cable por el Océano Pacífico con estaciones terminales en Sudamérica, Centroamérica y Estados Unidos. Esta configuración tuvo que ser modificada para adaptarse a condiciones más favorables de costo y utilización de su capacidad.

La longitud del cable es aproximadamente 7.500 kilómetros y utiliza la más reciente tecnología para transmisión, que corresponde a la Jerarquía Digital Síncrona (SDH), con dos sistemas de 2.5 Gbps. y una vida útil de 25 años.

Los puntos terminales de la nueva configuración están ubicados en Chile, Perú, Ecuador, Colombia, Panamá, Venezuela, Aruba y Estados Unidos.

Las estaciones terminales del cable en los países del Grupo Andino se instalaron en Turín, Perú, Punta Camero, Ecuador, Barranquilla, Colombia y Punto Fijo, Venezuela. El cruce por Panamá incluye un tramo terrestre de 80 Kms. aproximadamente.

El costo del proyecto fue del orden de US\$300 millones. La Unidad Mínima de Inversión (MIU), referida a su capacidad de transmisión, es de 2 Mbps, que puede oscilar entre US\$50.000 y US\$900.000, dependiendo de la distancia.

Los países que no cuenten con estaciones terminales del Cable Panamericano, pueden acceder a éste por medio de Interconexiones digitales de otros sistemas. Por ejemplo, Bolivia puede acceder a través de las interconexiones digitales terrestres de fibra óptica con Perú y Chile; Argentina a través de su fibra óptica con Chile; Brasil por la interconexión con el cable submarino Américas I; los países Centroamericanos utilizando la red digital que los unirá con Panamá; México por la interconexión con el cable submarino Columbus II; los países Europeos y Asiáticos a través de los cables submarinos que unen a América con esos continentes.

CABLE SUBMARINO "MAYA 1"

Es un proyecto de tipo Consorcio que conecta a La Florida (EE.UU.) con Tolú (Colombia), pasando por Cancún (México), Puerto Cortés (Honduras), Gran Caymán (Islas Caymán), Puerto Limón (Costa Rica) y Colón (Panamá).

El ICE firmó en julio de 1997 el Memorándum de Entendimiento (MOU), conjuntamente con otras 10 compañías de telecomunicaciones Internacionales (AT&T, MCI, SPRINT, Trescom, Telmex, FranceTelecom, Hondutel, Cable & Wireless (Cayman Islands), Cable & Wireless (Panamá) y Telecom (Colombia), para así realizar la primera fase del proyecto (factibilidad, planificación y diseño del proyecto).

El ICE adquirió en este cable una capacidad inicial de 150 sistemas de 2 Mbps, sin embargo, esta capacidad puede incrementarse fácilmente en el futuro cercano mediante una ampliación de la capacidad instalada del cable. Para conectarse desde San José al punto de aterrizaje en Puerto Limón, se construyó un enlace de fibra óptica, el cual consiste en un anillo autoprotegido con una capacidad de 2.5 Gbps, lo cual permitirá ofrecer un acceso al de una alta calidad y confiabilidad.

CABLE DE EMERGI A

Es una red abierta y "seamless", que proporciona acceso de gran ancho de banda a las principales ciudades de las América a través de un sistema de cable submarino interconectado por dos segmentos terrestres de fibra óptica.

Se interconecta con todos los sistemas de cable existentes en la región (PanAm, Ameritas II, Atlantis II, Columbus III, etc.). Tiene 25.000 km de longitud, con capacidad desde 40 Gbps a 1.92 Tbps.

CABLE DE AMÉRICAS I Y AMÉRICAS II

El Américas I y el Américas II se encargan de la comunicación con Norteamérica y Centroamérica.

El Américas I es el primer cable submarino de fibra óptica que se tendió en Venezuela en el año de 1994. Tiene una extensión de 1519 Km y capacidad de transmisión de 560 Mbps en dos pares de fibras.

El Américas II tiene 9000 Km de extensión y cuatro pares de fibra de 2.5 Gbps. Su tecnología de transmisión es una de las más recientes y se basa en multiplexar la información por longitud de onda o WDM (wavelength division multiplexing).

CAPITULO 4 "CABLE SUBMARINO DE FIBRA ÓPTICA MAYA 1"

PANORAMA GENERAL

En julio de 1997, once empresas de telecomunicaciones Internacionales (AT&T, MCI, SPRINT, Trescom, Telmex, France Telecom, Hondutel, Cable & Wireless (Cayman Islands), ICE (Costa Rica), Cable & Wireless (Panamá) y Telecom (Colombia), firmaron el Memorándum de Entendimiento (MOU), para así realizar la primera fase del proyecto (factibilidad, planificación y diseño del proyecto).

38 compañías de telecomunicaciones Internacionales firmaron en septiembre de 1998, el Acuerdo de Construcción y Mantenimiento C&MA, y el inicio del proyecto, que duró 22 meses, hasta julio del 2000.

Esta diseñado para transportar en su etapa inicial 241,000 llamadas telefónicas de manera simultánea a una velocidad de 20 Gbps y puede ampliarse hasta 725,760 a una velocidad de 60 Gbps.

Tiene una configuración de anillo colapsado (autoprotegido), cada estación esta conectada a dos estaciones adyacentes con un par de fibras ópticas.

El tipo de configuración de anillo colapsado evita la interrupción del tráfico de información en caso de que el cable submarino sufra alguna falla en alguna parte del cable, con este tipo de configuración no se interrumpe la comunicación con otras troncales, figura 4.1.

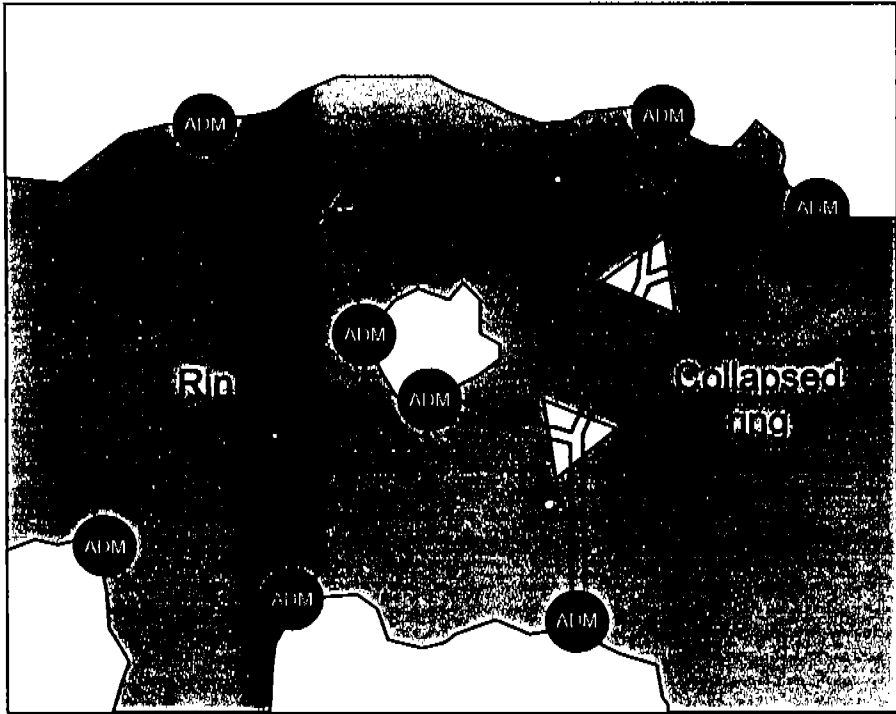


Figura 4.1 Configuración de Anillo Colapsado (autoprotegido)

El cable submarino Maya 1 se compone de 4,524 kilómetros de fibra óptica que interconectan 7 estaciones, con la posibilidad de aumentar una estación más. Las 7 estaciones se encuentran situadas en los siguientes lugares:

LUGAR	PAIS	OPERADOR
Hollywood, Miami	USA	AT&T
Cancún	México	TELMEX
Half Monn Bay	Grand Cayman	Cable & Wreless
Puerto Cortes	Honduras	Hondutel
Puerto Limón	Costa Rica	ICE
Colón	Panamá	Cable & Wreless
Tolú	Colombia	Telecom Colombia



Figura 4.2 Cables Submarinos de Fibra Óptica en Latinoamérica

Todo esto está finalmente recubierto de un plástico firme, capaz de permanecer en el fondo del mar sin sufrir daño alguno por un periodo aproximado de 25 años.

El cable submarino Maya 1 se interconecta con otros sistemas de cable submarino como son el Panamerican, Columbus II, Columbus III, Ameritas I y Ameritas II los cuales permiten extender servicios internacionales entre la región de la Latinoamérica y el resto del mundo, figura 4.3.

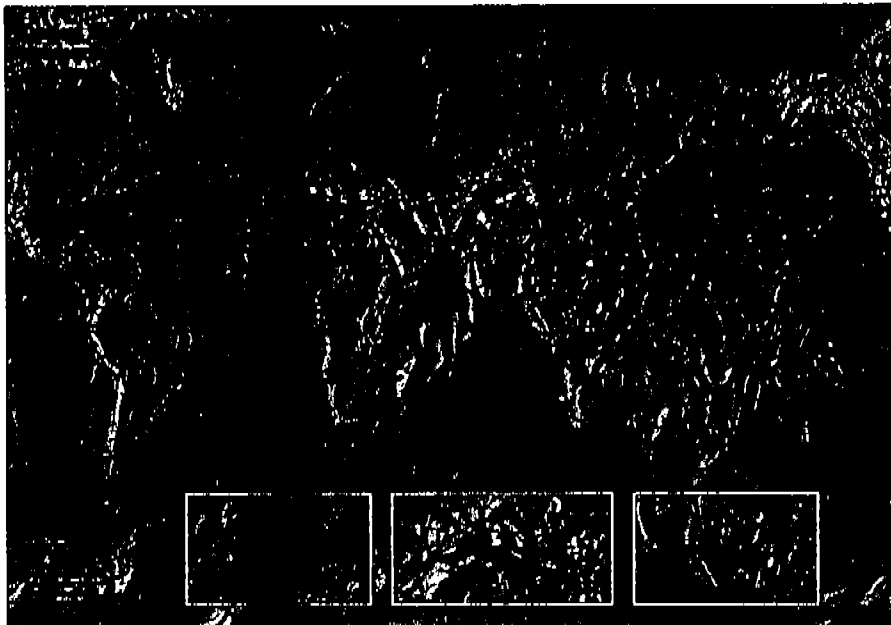


Figura 4.3 Cables Submarinos de Fibra Óptica en todo el Mundo

El sistema del cable submarino Maya 1 esta basado en la tecnología de Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM).

En la primer etapa de este proyecto cada par de fibras ópticas transportara 3 longitudes de onda (λ) a 2.5 Gbits/s, ya que esta contemplado transportar 8 longitudes de onda en un futuro.

El Equipo Terminal de Enlace Submarino (que es el equipo que realiza la WDM) multiplexa los 3 STM16 provenientes de los multiplexores ADM 1664SM.

Se instalaron Amplificadores Ópticos (O.A.) para compensar la atenuación debida a la longitud de las fibras ópticas. Los Amplificadores Ópticos están alojados en cada repetidor (2 subsistemas).

Tiene unidades de derivación ópticamente pasivas y provee la conexión de las fibras.

CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

La figura 4.4 muestra las conexiones de todas las estaciones así como las unidades de derivación y las estaciones derivadas del cable submarino Maya 1.

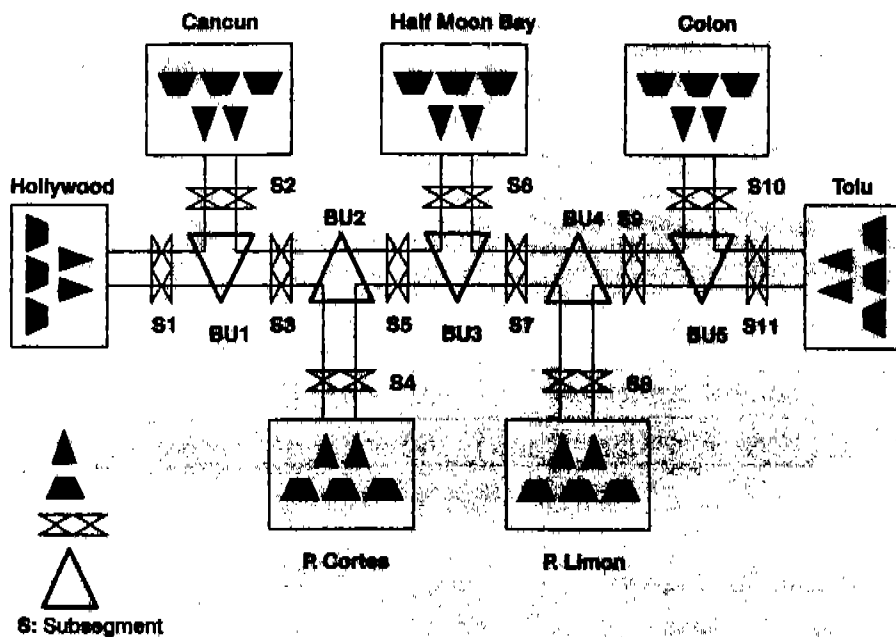


Figura 4.4 Configuración del Sistema de Transmisión

REPETIDORES

Número de Repetidores	48
Número de pares de OA	2
Intervalo de Medida Nominal	Alrededor de 90 km dependiendo del subsegmento
Potencia Nominal de Salida	+9.5 para 8 λ ; +6.5 para 3 o 4 λ
Potencia Nominal de Entrada	-10.5 para 8 λ ; -13.5 para 3 o 4 λ

CABLE

El cable submarino de fibras ópticas utilizado en el proyecto Maya 1 fue manufacturado por la empresa Tyco Submarine System Ltd. (TSSL) y se utilizaron tipo SA, DA, LWP Y LW, figura 4.5.



Figura 4.5 Diferentes tipos Cables Submarinos de Fibra Óptica

CARACTERÍSTICAS

Numero de pares de fibras ópticas	2
Atenuación de la fibra óptica	0.21 db/Km
Dispersión cromática	-1.85 ps/Km/nm a 1560 nm
Resistividad del tubo de cobre	1.0 Ohm/Km
Tipo de cable	DA, SA, LWP, LW
Manufacturado	TSSL

VOLTAJE DEL SISTEMA

- Voltaje nominal = $V_{\text{cable}} + V_{\text{rep}} + V_{\text{bu}} + V_{\text{return}}$
- Voltaje nominal del troncal = 4191 V
- Voltaje máximo del troncal = 4493 V (agregar tormentas magnéticas)

CONFIGURACIÓN DE LA ESTACIÓN SUBMARINA

La estación submarina aloja el equipo submarino SDH (1) y el equipo de gestión (2).

(1)

- SLTE : Equipo terminal de enlace submarino.
- PFE : Equipo de alimentación
- ECT : Terminal operativo de equipo 1320 NX
- 1664SM : Multiplexor ADM

(2)

- 1353SH : Manejador de elementos
- 1354RM : Manejador regional SDH (gestión circ.)
- 1354SN : Manejador de red submarina.

Todas las estaciones cuentan con los mismos equipos.

- Los SLTE están en configuración 1+0 (no protegida)

ESTACIONES TRONCALES

Las estaciones troncales de Hollywood y Tolú están equipadas con el Servidor de gestión (1353SM/S, 1354SN/S, 1354RM/S).

Las estaciones troncales de Hollywood y Tolú están equipadas con el equipo de alimentación no protegido (sólo una unidad de energía); los equipos de alimentación de las estaciones terminales se protegen entre sí.

TARIFAS

Tarifa mensual hacia el cable submarino desde la frontera de Guatemala y México, figura 4.7.

VELOCIDAD Kbps	TARIFA POR TRANSITO POR MÉXICO	TARIFA POR RESTAURACIÓN EN MÉXICO	TARIFA DE 1/2 DEL CIRCUITO DEL CABLE SUBMARINO	TARIFA POR RESTAURACIÓN DEL CABLE SUBMARINO	TARIFA TOTAL (US \$)
64	372.00	264.00	54.00	364.00	1,055.00
128	474.00	336.00	69.00	464.00	1,343.00
192	575.00	408.00	84.00	562.00	1,628.00
256	677.00	480.00	99.00	662.00	1,918.00
320	779.00	600.00	113.00	762.00	2,254.00
384	882.00	625.00	128.00	862.00	2,497.00
448	981.00	696.00	143.00	960.00	2,779.00
512	1,083.00	768.00	158.00	1,080.00	3,069.00
1024	1,625.00	1,152.00	237.00	1,590.00	4,603.00
2048	2,167.00	1,536.00	315.00	2,120.00	6,138.00

Figura 4.7 Tarifa mensual de la frontera de Guatemala y México

Costos y Restauración por tránsito en México y cable submarino, figura 4.8.

VELOCIDAD Kbps	COMPROMISO HASTA 4 AÑOS	COMPROMISO DE 5 A 9 AÑOS	COMPROMISO DE 10 AÑOS O MAS
64	370.00	503.00	380.00
128	853.00	640.00	483.00
192	1,035	776.00	586.00
256	1,219.00	914.00	691.00
320	1,402.00	1,051.00	794.00
384	1,587.00	1,190.00	899.00
448	1,766.00	1,324.00	1,001.00
512	1,950.00	1,463.00	1,105.00
1024	2,925.00	2,194.00	1,658.00
2048	3,900.00	2,925.00	2,210.00

Figura 4.8 Tarifa mensual por tránsito en México

EQUIPO

ADM ALCATEL 1664 SM

El multiplexor STM-16/STM-1 SDH Alcatel 1664SM puede multiplexar las señales STM-1 a señales STM-16 y viceversa, sin que se realice ajuste alguno mas abajo del nivel VC4.

- Soporta los tributarios de 140 Mbit/s y STM-1.
- Ventanas Ópticas de longitud de onda de 1310 y 1551nm
- Provee protecciones 1+1 y 1:1 para tributarias ópticas
- Total crosconexión a nivel de VC4 (Protección de red SNCP).
- Total acceso a canales de Overhead
- Gestión de RED vía interfase QB3

MODO ADD AND DROP

En este modo el 1664 SM permite:

- Insertar, extraer o crosconectar cargas AU-4 entre dos agregados STM-16 (llamadas Este y Oeste)
- En este modo el 1664SM se conecta a 2 SLTE

Con un 1664SM solo se pueden manejar 16 tributarias STM-1, para tener 32 tributarias, se pueden concatenar dos 1664SM

EQUIPO TERMINAL DE ENLACE SUBMARINO (SLTE)

El SLTE es la interfase entre el multiplexor SDH y la línea. Hay un SLTE por cada par de fibras, figura 4.9.

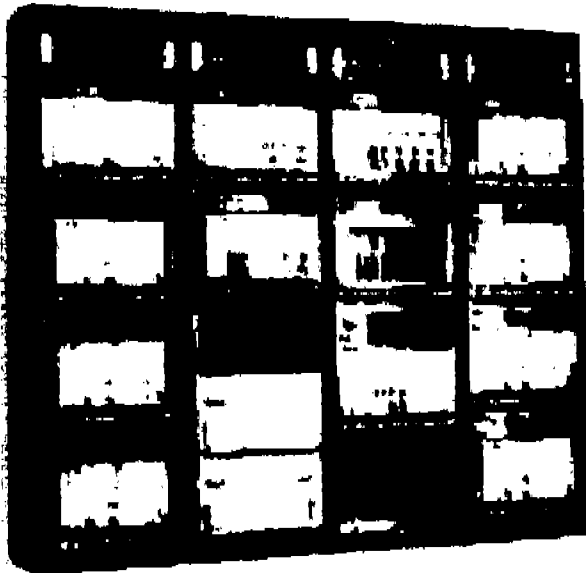


Figura 4.9 Equipo Terminal de Enlace Submarino (SLTE)

TRAYECTORIA DE TRANSMISIÓN

En la trayectoria de transmisión, el SLTE convierte cada STM16 entrante añadiéndole un código FEC (Corrector de Errores hacia Adelante) y fijando la I a un valor predeterminado. Los diferentes canales se mezclan ópticamente. La señal agregada resultante es amplificada antes de ser enviada a la línea.

TRAYECTORIA DE RECEPCIÓN

En la trayectoria de recepción se llevan a cabo las siguientes acciones:

- Pre-amplificación
- Compensación de dispersión cromática
- Demultiplexación óptica
- Compensación de ganancia y filtrado
- Conversión O/E (Óptica-Eléctrica)
- Corrección de Errores
- Conversión O/E en STM16

GESTIÓN

Cada subrack tiene una unidad de gestión (TMP) la cual:

- Colecta las alarmas
- Desempeña funciones locales (por ejemplo ALS - apagado automático del láser)

GESTIÓN DE LA CONFIGURACIÓN LOCAL

Cada SLTE tiene una unidad de gestión general (SPC) la cual:

- Colecta el estado de las alarmas de todos los subracks
- Comunica con el manejador de elementos vía Interface QB3*
- Desempeña funciones de supervisión de línea

CONFIGURACION DEL SLTE

La configuración del SLTE soporta los diseños de sistemas desde 1 hasta 8 (con terminal protegida o no protegida (por ejemplo de 1+0 hasta 8+8)).

Los SLTE son instalados en configuración 3+0 (sin protección) actualizable a 8+0.

EQUIPO DE ALIMENTACIÓN (PFE)

La fuente de alimentación PFE (Power Feeding Equipament) (figura 4.10.) provee una corriente DC de 1.1 A hacia la planta sumergida, con objeto de energizar los repetidores.

APARIENCIA FÍSICA DE LA PFE

La apariencia física de la PFE consta de:

- 3 Racks utilizados para la PFE protegida de 2.5kv
- 1 rack para cada PU
- 1 rack aloja el CTC (cubículo de terminación de cable) y la Carga Ficticia

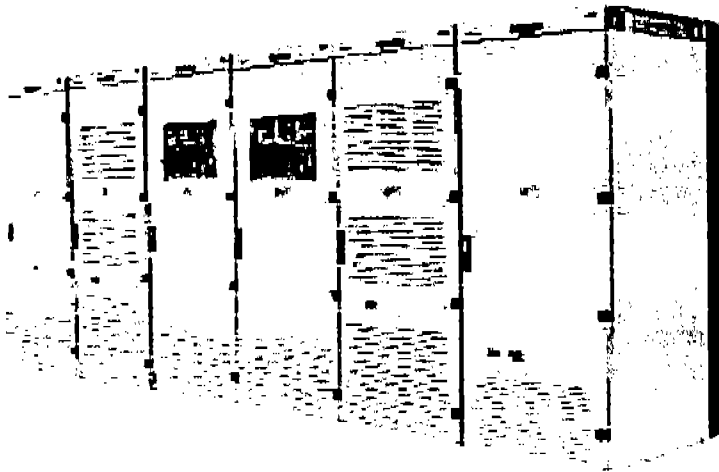


Figura 4.10 Equipo de Alimentación PFE

Todo el control se realiza del panel delantero.

Tiene un diseño compacto que ofrece alta exactitud, alta confiabilidad y rendimiento de procesamiento de la alta energía, existen modelos para 2,5 kilovoltios, 5 kilovoltios, 7,5 kilovoltios y 10 kilovoltios

ESPECIFICACIONES

Actual	Salida:	hasta 1.Á +-1%
	Resolución:	+/-0.1%
	Ajuste:	1-115%
Voltaje	Salida:	cero a 10 kilovoltios
Temperatura	Funcionamiento:	+5 °C a +40 °C
	Almacenaje:	-20 °C a +50 °C
Modos:	I constante o constante de V	
Fuente de la entrada:	42V - C.C. 60V	
Especificaciones	CEPT T/tr02-02	
	En50081-2, En50082-2	
Color estándar:	Gris-blanco	
Tamaño (cubículo):	605x670x2200	(WxDxH en el milímetro)

CONVERTIDOR DE POTENCIA

Un convertidor de potencia provee una potencia de 2.75Kw. El número de convertidores requeridos depende de la longitud del cable a ser alimentado.

Pueden trabajar 2 unidades de potencia en paralelo para propósitos de protección. Cada uno provee solo la mitad de la corriente, si una falla la otra dará la corriente normal automáticamente.

CUBÍCULO DE TERMINACIÓN DE CABLE Y CARGA FICTICIA

La PFE aloja una carga ficticia. Esta puede ser usada para propósitos de prueba del PFE.

En el mismo rack el cubículo de terminación de cable proporciona la interface entre el cable y el sistema (tubo de cobre, Fibras y conexiones a tierra).

MONITOREO Y CONTROL

Se puede realizar supervisión, monitoreo y control desde el panel del PFE. Contiene además una Interfaz QB3* hacia el SMS sólo para supervisión y monitoreo pero no se puede hacer control.

SISTEMA DE PROTECCIÓN

En la troncal se instalarán 2 PFE que trabajarán en serie en las estaciones extremo (Hollywood y Tolu) protegiéndose mutuamente.

Dichas estaciones cuentan con una sola unidad de alimentación cada una. El voltaje total en la línea es compartido entre 2 estaciones (double-end feeding).

Si una PFE se cae, la otra es capaz de dar potencia al cable. En las estaciones derivadas (o ramales) las PFE trabajan en Single-end feeding y están equipadas 2 PU (redundancia).

REPETIDOR

Los amplificadores ópticos proveen la amplificación bidireccional, en uno o varios canales por una fibra óptica single mode. El repetidor realiza la amplificación de un sistema de cables de hasta 4 pares de fibras (2 pares en el Cable Submarino Maya I).

Los repetidores son alimentados por las estaciones terminales con una corriente constante de cualquier polaridad (bipolar). La amplificación es proporcionada por una fibra óptica cuyo núcleo ha sido dopado de Erblio (ER3+). Esta fibra dopada se bombea con lasers que operan a 1475 nm. Los repetidores son monitoreados y controlados desde la terminal.

REPETIDOR R3

El repetidor R3 fue pensado para sistemas WDM. Está diseñado para transportar desde 1 hasta 8 canales ópticos en cada par de fibras, figura 4.11

A continuación se enlistan sus características:

- Potencia de salida < +9.5 dBm (8l) / +6.5 dBm (3 o 4 l)
- Ganancia < 30 dB
- Corriente de línea 1.1 A
- Control de potencia de salida 4 posibles niveles
- Facilidades de medición con OTDR
- Ancho de banda Óptico Plano



Figura 4.11 Repetidor R3 de Alcatel

El repetidor es muy compacto y es actualmente uno del más pequeña en el mercado, fabricado para soportar hasta 8000 metros de profundidad.

CAPACIDAD DEL REPETIDOR

- A partir de 2,5 Gbit/s o de 10 Gbit/s por fibra (un canal)
- Hasta 40 Gbit/s por el par de la fibra para 2,5 sistemas de Gbit/s (canales de los dieciséis)
- Hasta 1,05 Tbit/s por el par de la fibra para 10 sistemas de Gbit/s (105 canales)
- Hasta ocho pares de la fibra en 2,5 sistemas de Gbit/s (capacidad máxima 320 Gbit/s del cable)
- Hasta ocho pares de la fibra en 10 sistemas de Gbit/s (capacidad máxima 8,4 Tbit/s del cable)
- Un amplificador óptico sirve para un par de la fibra

UNIDAD DE DERIVACIÓN

El sistema Maya 1 tiene 5 unidades de derivación, figura 4.12. Estas BU son de tipo full fibre con conmutación simétrica de potencia. Las unidades full fibre no tienen unidades supervisoras ya que son completamente pasivas.

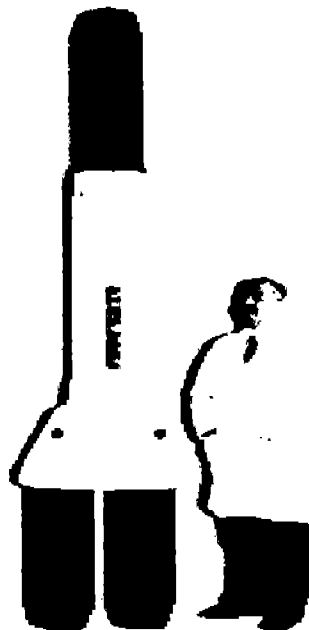


Figura 4.12 Branch Unit o Unidad de Derivación

GESTIÓN DE LOS EQUIPOS

La gestión de todos los equipos involucrados en el sistema de enlace submarino se lleva a cabo mediante una red de gestión de telecomunicaciones. Para ello, Alcatel cuenta con una arquitectura denominada "Alcatel 1300 TMN Architecture", figura 4.13 y 4.14.

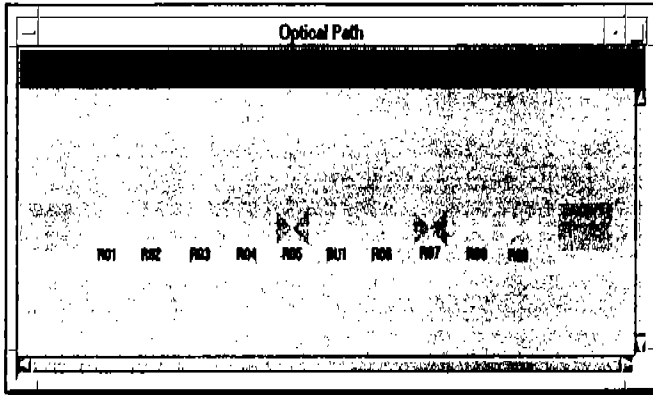


Figura 4.13 Equipo Alcatel 1300 TMN Architecture

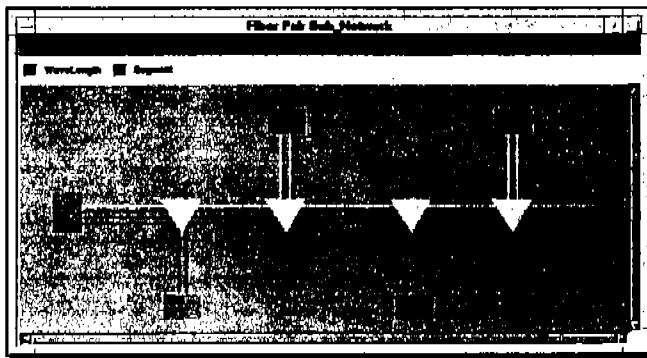


Figura 4.14 Equipo Alcatel 1300 TMN Architecture

EQUIPOS ALCATEL 1300

EQUIPO 1320 NX CRAFT TERMINAL

El 1320 NX ECT actúa como un Craft terminal para elementos de red en el ambiente de la estación y esta directamente conectado al elemento de red vía una interfaz F.

La aplicación ECT corre en una PC comercial y provee todas las funciones para operar y configurar localmente los siguientes equipos:

- 1664 SM
- SLTE
- PFE

GESTIONADOR DE ELEMENTOS 1353 SH

El manejador de elementos 1353 SH supervisa y controla los ADM de SDH, sistemas de línea, equipo de microondas y elementos de red submarina sin repetidor. Provee la configuración, monitoreo de fallas y desempeño así como funciones de mantenimiento.

MANEJADOR DE EQUIPO SUBMARINO 1354 SN (SMS)

El 1354 SN es un manejador de elementos para redes submarinas con repetidores. Supervisa los SLTE, repetidores sumergidos y unidades de derivación y monitorea los PFE. Controla la calidad de transmisión del enlace sumergido y maneja los algoritmos de localización de fallas.

Además, el 1354 SN permite al operador controlar cada longitud de onda del sistema proporcionando un mantenimiento global de las trayectorias ópticas en la red.

MANEJADOR REGIONAL 1354 RM

El 1354 RM es un manejador de red para el equipo SDH. Proporciona:

- Facilidades de tráfico End-to-end a nivel regional
- Facilidad centralizada para administración de tráfico y manejo en la (sub-)red SDH

El SN 1354 de Alcatel es la solución de la dirección de la red para los cables submarinos, responsable de la configuración end-to-end y de supervisar las trayectorias ópticas del WDM en el cable submarino.

La interfaz gráfica de uso fácil (GUI) proporciona la representación gráfica del sistema y de los elementos manejados, asiste al operador con procedimientos específicos para igualar la calidad de los canales del WDM.

El SN 1354 permite que se tomen medidas para prevenir problemas antes de que ocurran, proporciona las herramientas necesarias para diagnosticar y reparar los problemas que ocurren. El SN 1354 tiene la posibilidad de aumentar la red tanto de tamaño como de tecnología y la flexibilidad de poder ser modificado para requisitos particulares a la estructura de organización.

TECNOLOGÍA WDM / DWDM

WDM (Multiplexación por división de longitud de onda) es una tecnología óptica basada en la multiplexación de varias longitudes de onda generadas por diferentes emisores de luz dentro de una misma fibra óptica. De esta forma, se logra aumentar la capacidad de transmisión o ancho de banda de la fibra, ya que actualmente cada longitud de onda puede transportar cualquier velocidad entre 100 Mb/s y 20 Gb/s.

Los sistemas WDM se utilizarán primeramente en los enlaces de larga distancia donde las necesidades de ancho de banda se incrementan constantemente.

Sin embargo en transmisión local es necesario implementar soluciones de WDM para aliviar la congestión en porciones de la red con alta densidad de tráfico en particular para los enlaces entre centrales telefónicas de alta importancia.

DWDM es actualmente el medio de transporte de más alta capacidad, y es la mejor solución para la actualización de las redes de transporte de Telmex.

Actualmente la demanda de transporte de información se ha incrementado notablemente, Internet en la década pasada y actualmente es uno de los principales demandantes de anchos de banda inmensos para satisfacer sus requerimientos principalmente de soporte de multimedia.

Telmex como proveedor de redes de transporte de alta capacidad ha proporcionado soluciones incrementando la capacidad de fibra instalada y utilizando la multiplexación por división de tiempo (TDM) de esta manera se ha podido soportar el gran volumen de tráfico demandado. Sin embargo el uso de TDM ha incrementado la complejidad de los equipos de multiplexación y modulación a velocidades superiores a 2.5 Gb/s. (10 y 40 Gb/s).

VENTAJAS DE WDM

En la figura 4.15 se observa la diferencia entre el sistema TDM tradicional, el cual utiliza un par de fibras para cada sistema y la tecnología DWDM que utiliza un par de fibras para transportar los mismos canales. Obsérvese que la cantidad de amplificadores ópticos es menor que la de los regeneradores ópticos del sistema TDM.

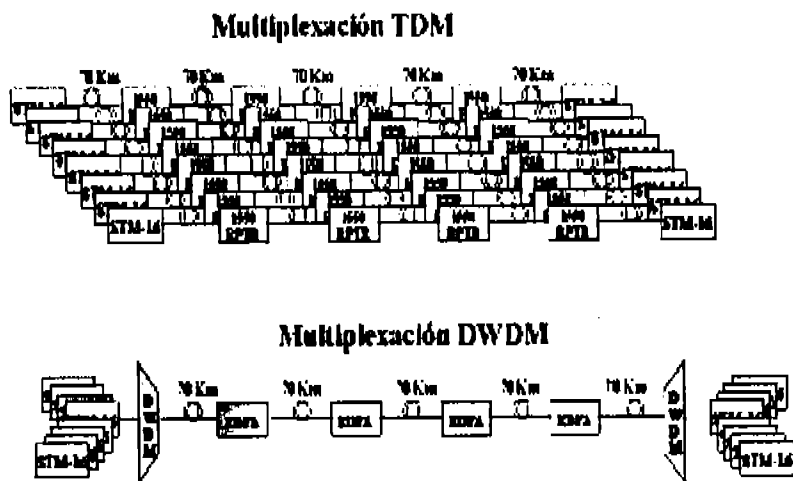


Figura 4.15 Multiplicación de la capacidad de transmisión de la fibra óptica utilizando DWDM.

TÉCNICA WDM

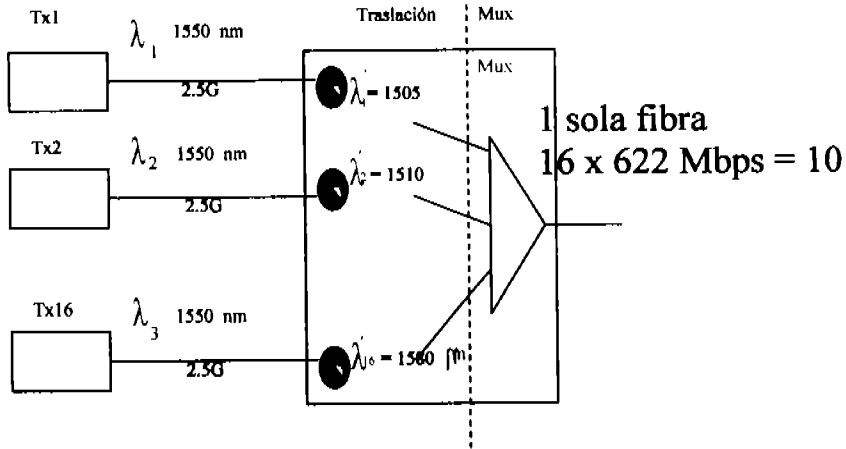


Figura 4.16 Multiplexación WDM.

CONCLUSIONES

El cable submarino Maya I es uno de los sistemas que encabezan la revolución tecnológica, ya que ha causado verdaderos cambios en las telecomunicaciones Internacionales.

Uno de los retos principales logrados, es conectar a los países involucrados en el proyecto con el resto del mundo, esto puede ser posible, ya que el Cable Submarino Maya I se interconecta con otros sistemas como son: el Panamericano, el Americas I y II, fortaleciendo las comunicaciones trasatlánticas.

El Proyecto del Cable Submarino Maya 1 logra satisfacer la creciente demanda de Internet para capacidades de transmisión ofreciendo una capacidad y una velocidad casi ilimitadas; esta es una ventaja que tienen los cables submarinos con respecto de los satélites, estos pueden estar en todas partes, llegar a cualquier lugar y alcanzar a cualquier usuario, pero la gran capacidad de las redes de cables submarinos las hace más eficiente y atractivas.

En una comunicación vía satélite, la señal se tiene que desplazar de ida y vuelta al satélite, lo que equivale a 72000 Km. que tiene que recorrer la información, esto produce un retardo que afecta la transmisión de cierto tipo de protocolos de comunicación, en cambio la transmisión en un cable submarino por ser un enlace sobre la superficie de la tierra el tiempo de propagación es mínimo.

Los cables submarinos funcionan bien independientemente del clima y disturbios magnéticos, mientras que los receptores y transmisores para comunicaciones vía satélite son afectados por el clima, lluvias, tormentas, etc.

Otra ventaja muy importante de los cables submarinos, es que tienen una vida útil de más de 25 años, mientras que los satélites tienen una vida de 10 años, esto hace que un proyecto de un Cable Submarino sea más económico y más rentable.

Desde el punto de vista de explotación, la configuración del cable ofrece las siguientes ventajas:

Conectividad directa: Si se cuenta con un punto de aterrizaje en el país, es posible conectarse en forma directa sin depender del uso de las redes de terceros países para el tránsito, lo que implica una mayor calidad y una mayor confiabilidad, así como una reducción en los costos de operación.

Enlaces con fibra óptica punto a punto: En este momento, la mayoría de los clientes empresariales están solicitando conectividad punto a punto con fibra óptica ya que necesitan los mejores niveles de calidad en sus comunicaciones para poder garantizar la competitividad de sus productos. Se puede ofrecer conectividad de fibra óptica punto a punto a los principales centros y regiones de negocios del mundo.

Acceso directo a Norteamérica: Esta es quizás una de las características más importantes de este cable, pues ofrece conexión directa a los Estados Unidos que, a excepción de los demás países centroamericanos, es el país donde tenemos un mayor interés de tráfico y de ahí la importancia de esta conectividad.

El Cable Submarino Maya 1 es y seguirá formando parte de una infraestructura de primer mundo y de alta confiabilidad por mucho tiempo, repercutiendo favorablemente en la economía de nuestro país.

Siendo uno de los proyectos más ambiciosos para Latinoamérica, el Cable Submarino Maya 1 compite tecnológicamente con todo el mundo, es por eso de la elección de este tema como proyecto de tesis, el cual espero y proporcione los elementos necesarios para estudios posteriores en el área de los cables submarinos de fibra óptica.

BIBLIOGRAFÍA

- **"INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA DE LA FIBRA ÓPTICA"**

Rubio Martínez Baltasar, Editorial Addison-Wesley Iberoamerica, Estados Unidos, 1994.

- **"TODO SOBRE LAS FIBRAS ÓPTICAS"**

Tur Juan y Martínez Jiménez María Rosario, Editorial Marcombo Boixareu Editores, Barcelona, México, 1989.

- **"CONDUCTORES DE FIBRAS ÓPTICAS"**

Günther Mahlke y Meter Gössing, Editorial Marcombo Boixareu Editores, Alemania, 2000.

- **"REDES DE COMPUTADORAS"**

Robledo Sosa Cornelio, Editorial Instituto Politécnico Nacional, México, 1999.

- **"THE ELEMENT OF FIBER OPTICS"**

S.L. Wymer Meardon, Editorial Prentice – Hall, USA, 1993.

- **"VOICE/DATA UNIT FIBER OPTICS APPLICATIONS"**

Wayne Tomasi y Vincent F. Alisouskas, Editorial Prentice – Hall, USA, 1988.

- **"FIBER OPTIC COMMUNICATIONS**

Joseph C. Palals, Editorial Prentice – Hall, USA, 1992.

- **"FIBER OPTIC COMMUNICATIONS**

Harold B. Killen, Editorial Prentice – Hall, USA, 1991.

- **"CALCULO DE LOS ENLACES ÓPTICOS"**

Ing. Roberto Ares. ENTEL Argentina.

- **"PRINCIPIOS GENERALES PARA EL CÁLCULO DE LOS ENLACES ÓPTICOS"**

Ing. Numa Mendoza.

- **"SISTEMA DE FIBRA ÓPTICA DE LINEA 565 Mbits-S"**

Ericsson Review N° 3-1987.

- **"PROYECTOS EN CONDUCTORES DE FIBRAS ÓPTICAS EN LOS EEUU"**

Telecom report. Siemens. Volumen 10-1987.

- **"CONDUCTORES DE FIBRAS ÓPTICAS"**

Marcombo 1987. Siemens Mahlke/Gossing.

- **EXFO**
Guide to WDM Technology & Testing
EXFO Electro-Optical Engineering Inc.

- **Alcatel**
Proyectos de enlaces submarinos:
360 Americas
Flag Atlantic
Tera 10

- **Alcatel**
Technical & Operator`s Handbooks:
SLTE OALW64
Alcatel 1686WM

- **Alcatel**
Optical cross-connects the newest element of the optical backbone Network. (white paper).

- **Acterna**
DWDM
<http://www.acterna.com>; Sección de recursos técnicos
Wavetek Wandel & Golterman

- **Acterna**
OSA-155
http:\\www.acterna.com; Sección de productos
Wavetek Wandel & Golterman

- **Nortel**
Folleto "OPTera Long Haul" de Nortel Networks
http:\\www.nortelnetworks.com

- **Ericsson**
Folleto "ERION" de Ericsson

- **Corning**
Advanced optical fiber for long distance telecommunication
networks
http:\\www.corning.com

- www.alcatel.com
- www.telmex.com
- www.pirelli.com
- www.corning.com
- www.el-mundo.es
- mensual.prensa.com
- www.cybergeography.org
- www.cioh.org.co
- www.racsa.co.cr
- www.cwpanama.net
- www.nwcable.com