



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGON

**“REDES ÓPTICAS PARA CABLEADO
SUBMARINO”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO
P R E S E N T A :

**JOSÉ RICARDO HERNÁNDEZ VARILLAS.
Y
RENE ALONSO VALLE VENCES.**

ASESOR: ING. BENITO BARRANCO CASTELLANOS



Estado de México

2008.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

| | |
|--|-----------|
| Indice | I |
| Introducción | II |
| Capitulo I Historia de las telecomunicaciones | 1 |
| 1.1 Historia de las telecomunicaciones | 1 |
| 1.2 La fibra óptica en México | 5 |
| 1.3 Sistema de transmisión por fibra óptica | 7 |
| 1.4 Ventajas de las comunicaciones por medio de fibras ópticas | 11 |
| 1.5 Teoría electromagnética y ondas | 13 |
| 1.6 Propagación de la luz y su naturaleza ondulatoria | 16 |
| 1.7 Leyes de la reflexión y la refracción | 17 |
| 1.8 Guías de onda | 19 |
| 1.9 Clasificación de las ondas electromagnéticas | 21 |
| 1.10 Índice de refracción absoluto | 22 |
| 1.11 Reflexión interna total | 23 |
| Capitulo II Empalmes de Fibras Ópticas | 24 |
| 2.1 Cables Ópticos | 24 |
| 2.2 Empalmes | 38 |
| 2.3 Conectores y distribuidor de Fibras Ópticas | 48 |
| Capitulo III Cables submarinos de fibra óptica | 58 |
| 3.1 Estructura | 58 |
| 3.2 Proveedores | 65 |
| 3.3 Diferentes cables submarinos en Latinoamérica | 66 |
| 3.4 Configuración del sistema de transmisión | 71 |
| 3.5 Configuración de la estación submarina | 73 |
| 3.6 Equipos | 74 |
| 3.7 Convertidor de potencia | 77 |
| 3.8 Gestión de los equipos | 80 |
| 3.9 Ventajas de WDM | 82 |
| Conclusiones | 84 |
| Glosario | 86 |
| Bibliografía | 91 |

INTRODUCCION

Paralelamente a la revolución de la informática, que, como hemos visto, impacto considerablemente a las telecomunicaciones, estas últimas tecnologías también han experimentado sus propias transformaciones a lo largo de las últimas tres décadas, en las que se desarrollaron nuevas tecnologías, como las fibras ópticas.

La comunicación por medio de fibras ópticas ha revolucionado hoy en día el concepto tradicional de las telecomunicaciones, porque a través de ellas es posible enviar señales luminosas en lugar de señales eléctricas con una alta capacidad de transmisión por ejemplo, en el ancho de banda infrarrojo y muy bajas atenuaciones.

El desarrollo de esta nueva tecnología ha logrado tal impacto, que en la actualidad se construyen redes de telecomunicación y de video utilizando cables de fibra óptica.

En medios de transmisión típicos como son los cables coaxiales, el par telefónico, las microondas, etc., se llegan a utilizar frecuencias de hasta 100 Ghz. Ahora bien mientras mayor sea el rango de frecuencia lograda, hablando en términos de comunicación, habrá mayor capacidad de canales, lo cual nos interesa.

Las radiaciones infrarroja y visible que oscilan en frecuencias de 100 Ghz y 10 Thz, son las óptimas para lograr tal propósito, debido a que podemos utilizar la misma luz para transmitir la información únicamente encontrando el medio adecuado, las fibras ópticas son este medio, ya que a través de ellas es posible transmitir la luz y establecer una calidad de comunicación excelente, confiando ampliamente en las múltiples ventajas que ofrecen.

El aspecto mas espectacular de la constitución de la red de telecomunicaciones internacionales es sin duda alguna el tendido de los primeros cables submarinos.

Se ha de reconocer a Gran Bretaña el papel dirigente en tal gigantesca aventura. De la Corona Británica depende en aquellos mediados del siglo XIX un imperio sobre el que, se dice, el sol no se pone nunca y protege a la marina más poderosa del mundo. La economía Inglesa, en lo que mas tiene de vital, se respalda por completo en el comercio que lleva a cabo con las distintas regiones del Imperio. Londres es la primera plaza bursátil del mundo.

Los requerimientos de la política, la necesidad de controlar el mercado de noticias, todo incita a Inglaterra para que se dote de una red de comunicación a escala de su inmenso Imperio.

Ambición a la que poco a poco se le unen competitivamente otros países. Los cables submarinos tardaron unos diez años en llegar a ser los soportes fiables de una gran red que rodea el mundo. Ciertamente nació la idea muy pronto en el preciso momento en que se estaban constituyendo las grandes redes terrestres. En 1850, un hombre de negocios inglés, Jacob Brett, decidió tender el primer cable bajo la Mancha.

Casi simultáneamente un cable cruza la desembocadura del río de la Plata entre Montevideo y Buenos Aires. Distancias cortas que no planteaban grandes problemas eléctricos, incluso si en aguas poco profundas a veces el cable estaba expuesto a muchos peligros: así el cable de 1850 a través de la Mancha fue cortado por unos marineros convencidos de que habían encontrado un alga con el corazón repleto de oro.

A medida que se van haciendo tentativas de tendidos, se van concretando los problemas técnicos **el aislamiento, La solidez, calidad "eléctrica" del cable.**

Una vez superados estos problemas es preciso, efectuar la operación del tendido y desafortunadamente, una vez tendido el cable sucede a menudo que se rompa y entonces hay que repararlo.

El tendido del cable trasatlántico de 1858 pone en evidencia los problemas: las señales Morse llegan a su destino sumamente atenuadas por otra parte, algunos fenómenos de retardo las hacen ilegibles.

A pesar de los problemas entre 1850 se realizan varios proyectos que contribuyen a edificar una gran red mundial, en 1870 todos los países mediterráneos quedan unidos entre sí, a través de la ruta Londres Bombay el nuevo reto es unir Estados Unidos con Europa y de esta manera unir las dos mitades divididas del mundo industrial.

Este proyecto que comienza en 1854 culmina en 1866 y puso a prueba el temple de los hombres de negocios. El cable se pierde dos veces y dos veces los promotores de esta empresa reúnen capitales, convencen al gobierno inglés y norteamericano para que les otorguen la garantía o presten sus buques.

Las Primeras Palabras A través del Océano

En miles y acaso centenares de miles de años, desde que el extraño ser llamado hombre pisa la tierra, no ha existido otra medida máxima de la traslación humana que el correr del caballo. El cable trasatlántico ha probado que son factibles largos enlaces submarinos. El interés se va despertando entre los grandes negociantes de las Antillas y Sudamérica, en Australia y en el pacífico. Se instala primero un enlace entre Cuba y Estados Unidos

instalándose después cables entre Norte y Sur América.

En 1860 Nueva Zelanda, a quedado unida al sistema australiano que por su parte esta conectado al Oeste con el gran cable de las Indias Vía Hong Kong y al este con Japón. La unión entre Australia con el resto del mundo solamente se logra en el año de 1872.

Durante el periodo comprendido entre 1870 y 1898, se fue modificando el equilibrio de la red mundial. El tendido del cable trasatlántico de 1866, y el desarrollo de la tecnología motivo a varios inversores privados a desarrollar proyectos de cables submarinos a pesar de los altos costos involucrados. Sin embargo, tales inversiones solo son rentables en algunas rutas: a través del Atlántico, hacia la India y a través del Mediterráneo.

Sin embargo, debido a la expansión del Occidente la red mundial crece con enlaces de carácter más estratégico que económico. Gran parte del tráfico es diplomático y militar.

Los cursos de introducción a Internet suelen explicar por qué la Red es tan maravillosa: los datos son inteligentes y viajan en forma de paquetes por una malla que no está centralizada. De este modo si una parte de la red falla, siempre se puede utilizar una ruta alternativa para llegar al destino.

Con esta idea se diseñó el proyecto militar que más tarde se convertiría en Internet. Una red casi invulnerable a los ataques, frente a las redes de telefonía que dependen de centrales de conmutación: si falla la central, millones de usuarios se quedan sin teléfono.

Pero esto es sólo una verdad a medias. En Estados Unidos, donde líneas de alta capacidad (los famosos backbones) atraviesan el país de parte a parte puede que el sistema funcione. Pero cuando Internet tiene que unir continentes sólo hay una vía posible: los cables submarinos.

Los cables submarinos son pocos, caros y con capacidad limitada. Lo que es peor, están bajo el control de unas pocas compañías. Las comunicaciones mundiales, incluida toda la Internet, están en sus manos.

Cables bajo el mar

Las comunicaciones vía satélite se han quedado atrás hace tiempo. Los proyectos de redes de gran capacidad con satélites de baja órbita, como Iridium o Teledesic no son viables por el momento. Los datos viajan a una velocidad mucho mayor por los cables submarinos de fibra óptica.

Hay algo más de 300 cables submarinos en el mundo.

Los antiguos cables coaxiales son progresivamente retirados y sustituidos por cables de fibra óptica, con una capacidad miles de veces superior.

Los cables de fibra óptica de tercera generación pueden alcanzar 5.3 Gpbs, equivalente a 60.000 conversaciones telefónicas simultáneas, es decir, 20.000 veces más que un cable coaxial.

Tender un cable submarino es casi tan complicado como poner un satélite en órbita. El cable y los repetidores son muy caros, el tendido lo realizan barcos especiales en una operación controlada al centímetro por computadora. Pocas compañías en el mundo, como por ejemplo Cable&Wireless Global Marine, son capaces de hacerlo.

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. Barcos de reparación están en constante estado de alerta en todo el mundo.

Es un escenario propicio para los monopolios, aunque las cosas están cambiando.

En las manos de unos pocos

Los cables submarinos siempre han sido propiedad de las operadoras dominantes, que hasta hace poco también eran monopolios, estatales o no, y que forman lo que en estos círculos se llama el *club*. No es de extrañar que el poder sobre las comunicaciones entre continentes estuviera en manos de la mayor de todas: AT&T.

El gigante de las comunicaciones en EEUU teóricamente negociaba con otras compañías telefónicas el tendido de cables.

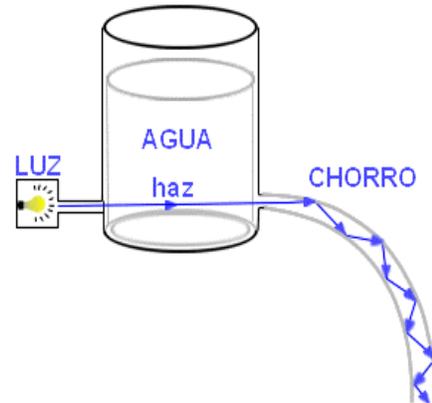
En realidad imponía su criterio sin oposición. Sólo hay que mirar la gran capacidad de comunicación entre Europa y EEUU y entre EEUU y Asia, mientras que unas pocas líneas con diez veces menos capacidad unen Asia y Europa. AT&T controlaba el paso.

Sin embargo ese vacío en la red mundial resultaba una oportunidad demasiado buena para ser pasada por alto.

1.1 HISTORIA DE LAS TELECOMUNICACIONES OPTICAS

Desde tiempos remotos en Grecia se sabía que la luz podía ser transmitida por varillas de vidrio, los primeros descubrimientos importantes que dan origen a la creación de la fibra óptica fueron realizados por el ingles John Tyndall en 1870, quien demostró que la luz podía ser guiada en un chorro de agua y observó que los rayos de la luz viajando a través del agua no salían hacia el exterior, a menos que excedieran un ángulo crítico, en esencia este es el principio de las guías de luz, figura 1.1.

La primera comunicación optoelectrónica que existió se debe a Alexander Graham Bell, que en 1880 demostró, mediante su "fotófono", que la luz blanca visible podía modularse y usarse como medio portador de información analógica en comunicaciones a distancia, usando como medio de transmisión el aire. El transmisor de este aparato usaba la luz del sol modulada por las vibraciones de un diafragma, con una superficie de acabado espejo, que a su vez era estimulado por el movimiento de las moléculas del aire originado por la voz. De esta forma se podían transmitir palabras a un receptor distante, ubicado a unos 200 m. Este receptor contenía una celda de silicio capaz de transformar las intensidades de la luz blanca recibidas a un voltaje proporcional, el cual excitaba la bobina de un altavoz.



Esta transmisión tenía sin embargo grandes problemas, ya que no se disponía de un emisor de luz con la capacidad de transmitir luz en una sola frecuencia y en una sola dirección (recordemos que la luz blanca se compone de todos los colores que vemos) El gran científico, llegó a considerar este aparato como su mejor invención (incluso mejor que el "teléfono" que el mismo invento) Su sueño de comunicación óptica se haría realidad hasta cien años después, exactamente, como veremos más adelante. La siguiente figura, 1.2; muestra el principio del fotófono de Graham Bell.

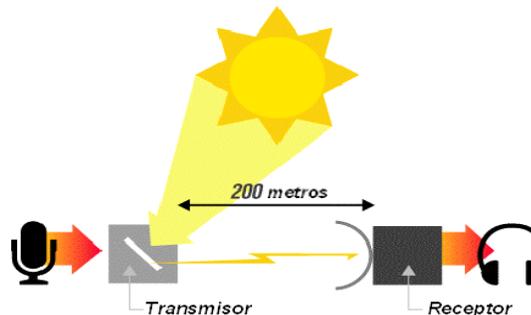


Fig. 1.2 Experimento de Graham Bell

En 1927, en Inglaterra J. L. Baird registro patentes que describían la utilización de bastones sólidos de vidrio en la transmisión de luz, para su empleo en un sistema primitivo de televisión a colores. El gran problema, sin embargo, es que los materiales y las técnicas usadas no permitían la transmisión de luz con buen rendimiento. Las pérdidas eran grandes y no había dispositivos de acoplamiento óptico.

Las primeras pruebas sobre la transmisión de la luz en fibras ópticas se pudieron realizar hasta 1930, en Alemania. En 1935 Inglaterra propuso que la luz se transmitiera por un núcleo de vidrio envuelto en otra capa de vidrio, ambos vidrios con diferente índice de refracción

Solamente en 1950 las fibras ópticas comenzaron a interesar a los investigadores, con muchas aplicaciones prácticas que estaban siendo desarrolladas, estas aplicaciones se referían, principalmente, a la iluminación remota o a la transmisión de imágenes a través de cables flexibles, para aplicaciones médicas (endoscopia).

N.S. Kapany inventó el término "fibra óptica" en 1956. Lo definió como: "El arte de la conducción activa y pasiva de la luz a lo largo de fibras transparentes en trayectorias predeterminadas".¹

En 1960, Japón empezó a transmitir imágenes de video a través de fibras de vidrio, pero las pérdidas fueron tan grandes en unos cuantos metros que por este momento se desistió de seguirlas usando como medio de transmisión de señales, Pero este mismo año se inventa en Estados Unidos el primer rayo láser de rubí (láser = amplificación de la luz por emisión estimulada de radiación) lo cual vino a dar un gran impulso a las transmisiones ópticas, por lo innovador de esta nueva fuente de luz, y por marcar la posibilidad de utilizar "luz coherente" para transmitir señales de comunicación. En las primeras pruebas hechas en el aire, las pérdidas de información eran muy grandes, debido las condiciones ambientales, principalmente. Esto hizo que se impulsara el desarrollo de las fibras ópticas más transparentes, para el transporte seguro de la información.

En 1966 se lanza un programa de investigación en diversos laboratorios orientados al desarrollo de la fibra óptica, y en un comunicado dirigido a la British Association for the Advancement of Science, los investigadores K. C. Kao y G. A. Hockman propusieron el uso de las fibras ópticas y la luz en lugar de los conductores metálicos y la electricidad, respectivamente, en la transmisión de mensajes telefónicos. La obtención de tales fibras exigió grandes esfuerzos con pérdidas muy grandes, del orden de 1000 dB/Km (comparadas con las pérdidas de los cables coaxiales, que se deseaban reemplazar, de solo 5 a 10 dB/Km). Además, presentaban una banda de paso estrecha, una enorme fragilidad mecánica, y serios problemas para unir las fibras ópticas de una manera satisfactoria (para lograr bajas pérdidas, y permitir que el proceso se realizara repetidas veces fácilmente).

En 1970, en Estados Unidos Robert Maurer de la Corning Glass Works realizó la primera fibra óptica unimodo con pérdidas ópticas inferiores a 20 dB y una banda pasante de 1 GHz/Km, con la perspectiva de sustituir los cables coaxiales. La utilización de fibras ópticas de 100 μm de diámetro, envueltas en nylon resistente, permitió dotar a las fibras de mayor resistencia a los esfuerzos mecánicos, para que ya no pudieran romperse fácilmente.

En 1971, se incrementó la eficiencia y la vida útil del láser semiconductor a temperatura ambiente, y se mejoraron los fotodetectores. De esta manera se contó con todos los elementos necesarios para realizar el primer sistema de transmisión a través de un medio óptico, en el ámbito comercial. 10 años más tarde, las pérdidas de las fibras óptica se redujeron a 5 dB/Km, y las técnicas de unión de baja pérdida se fueron perfeccionando. Así se continuó con la fabricación de fibras ópticas con pérdidas siempre más bajas, llegándose actualmente a obtener pérdidas inferiores a 0.1 dB/Km (lo que es mucho menos de lo que presentan los cables coaxiales), Las pérdidas de potencia óptica dependen del tipo de fibra óptica, pero en general actualmente todas las fibras ofrecen baja atenuación y gran ancho de banda, gracias a sus avanzados métodos de fabricación. Por lo anterior, este medio de enlace se ha hecho muy popular comercialmente y empieza a sustituir con éxito a otros medios de transmisión de señales, sobre todo en distancias grandes. Las fibras ópticas presentan ventajas económicas y técnicas, en redes de larga distancia.

A continuación se presenta, una breve cronología respecto a la evolución tecnológica en torno a las telecomunicaciones ópticas y sus principales participantes; (tabla 1.1).

Tabla 1.1. Cronología de la evolución de la fibra óptica en las comunicaciones²

| ANO | PAIS | AVANCE TECNOLÓGICO |
|-----------|----------------|---|
| ? | GRECIA | Observación de la propagación de la luz en el vidrio. |
| ? | VENECIA | Flores decorativas hechas con fibras de vidrio. |
| 1609 | ITALIA | Telescopio de Galileo G. |
| 1626 | HOLANDA | Ley de Snell. |
| 1668 | INGLATERRA | Newton crea el telescopio por reflexión óptica. |
| 1710 | FRANCIA | Rene de Reaumur hace vidrio hilado |
| 1790 | FRANCIA | Claude Chappe inventa 'telégrafo óptico' en Francia |
| 1841 | FRANCIA | Daniel Colladon demuestra luz guiando en chorro de Ginebra de agua. |
| 1842 | FRANCIA | Jacques Babinet luz guiada en chorros de agua y varas de vidrio curvado, París. |
| 1853 | FRANCIA | Paris Opera: usa chorro agua en la opera Faust |
| 1854 | INGLATERRA | John Tyndall demuestra luz guiando chorros de agua, duplicando pero no reconociendo a Colladon. |
| 1873 | INGLATERRA | Maxwell, Teoría electromagnética |
| 1897 | INGLATERRA | Rayleigh, estudios sobre guías de ondas. |
| 1880 | ESTADOS UNIDOS | Alexander Graham Bell, Timbre inventa teléfono, Washington |
| 1884 | INGLATERRA | Exposición de Salud Internacional en Sur Kensington distrito de Londres tiene las primeras fuentes que iluminaban los mismos chorros de agua, ideado por Segnor Francis Bolton. |
| 1888 | AUSTRIA | Dr. Roth y Prof. Reuss de Viena usar vidrio curvado (varas) para iluminar cavidades de cuerpo. |
| 1889 | FRANCIA | Exposición Universal en Paris muestra fuentes iluminadas redefinidas ideadas por G. Bechmann. |
| 1895 | FRANCIA | Henry C. Santo-Rene idea un sistema de varas de vidrio curvado para guiar luz en un proyecto de televisión temprana (Crezancy, Francia). |
| 1897 | INGLATERRA | Rayleigh realiza análisis de una guía de onda. |
| 1902 | ITALIA | Marconi inventa el radio detector. |
| 1910 | ALEMANIA | Hondros y Debye, elaboran análisis con una guía de onda dieléctrica. |
| 1920 | ESTADOS UNIDOS | Varas de vidrio curvado son usadas para la iluminación de microscopio. |
| 1930 | ALEMANIA | Lamb efectúa experimentos con una fibra de silicio. |
| 1936-1940 | ESTADOS UNIDOS | Primer comunicación usando guía de onda. |
| 1951 | INGLATERRA | Heel, Hopkins y Kapany transmiten una imagen por paquetes de fibra óptica. |
| 1956 | INGLATERRA | Kapany, inventa y define a la fibra óptica. |
| 1960 | ESTADOS UNIDOS | Maiman, inventa el rayo láser en Hughes Research Laboratory. |
| 1960 | ESTADOS UNIDOS | Javan inventa el rayo láser compuesto por He-Ne. |
| 1961 | INGLATERRA | Kapany y Snitzer realizar análisis del modo de una fibra óptica. |

| | | |
|------|----------------|--|
| 1962 | ESTADOS UNIDOS | Se desarrolla el diodo láser semiconductor. |
| 1964 | ESTADOS UNIDOS | Goubau y Christian experimentan la transmisión de un haz luminoso con lentes periódicas. |
| 1966 | INGLATERRA | Kao y Hockhan, de la Standar Telecommunication Laboratory, y por otro lado Werst, sugieren las fibras ópticas para usarse en telecomunicaciones. |
| 1969 | JAPÓN | Kawakami y Nishizawa descubre el índice gradual en una guía de ondas óptica. |
| 1970 | ESTADOS UNIDOS | Fibra unimodo de silicio dopado, de 20 (dB/Km), desarrolladas por R. Maurer (Corning Glass Works). |
| 1971 | ESTADOS UNIDOS | Burrus y Miller, obtienen el led AlGaAs (Emisión de Superficie) |
| 1971 | JAPÓN | Diodo Láser de inyección (ILD), operando a temperatura ambiente y de un modo continuo. |
| 1972 | ESTADOS UNIDOS | Fibra Multimodo |
| 1972 | AUSTRALIA | Ogilvie y Esdaile inventan fibra con centro líquido. |
| 1973 | ESTADOS UNIDOS | Corning Glass Works, con el método de fabricación OCVD logra fibras ópticas de AlGaAs con 4 (dB/Km), de 800 a 850 (nm). |
| 1973 | ESTADOS UNIDOS | La marina de guerra instala un teléfono con fibra óptica a bordo del USS "LITTLE ROCK". |
| 1974 | ESTADOS UNIDOS | Laboratorios BELL, método MCVD para fabricar fibras de 2 (dB/Km) y 1600 (nm) con fibras de SiO ₂ dopadas de Ge |
| 1975 | INGLATERRA | Payne y Gambling experimenta y descubren fibra óptica con una mínima dispersión a 1300 (nm) en fibras de SiO ₂ . |
| 1976 | JAPÓN | Transmisión con una atenuación de 0.4 (dB/Km) a 1200 (nm), y fibras de SiO ₂ -Geo ₂ con 0.5 (dB/Km) a 1300 y 1550 (nm). |
| 1976 | | Empalme de fibras mediante fusión de arco eléctrico |
| 1977 | JAPÓN | NTT, descubrimiento del método VAD para fabricar fibras ópticas. |
| 1977 | ESTADOS UNIDOS | Se instala el primer enlace de datos con fibra óptica de 2 Km a 20 Mbps conectando una estación terrena con un centro de procesamiento. |
| 1977 | ESTADOS UNIDOS | Instalación de una red local telefónica, para tráfico comercial (ATT y GTE). |
| 1977 | INGLATERRA | Oficina postal, enlace de 9 (Km) a 140 (Mbps). |
| 1978 | JAPÓN | NTT, diodo láser de inyección a 1270 (nm). |
| 1978 | INGLATERRA | Gambling y Matsumura descubren fibras de modo simple con dispersión cero de primer orden. |
| 1979 | JAPÓN | NTT, enlace con fibras unimodo a 1550 (nm) con 0.2 (dB/Km). |
| 1979 | JAPÓN | Shimada Co. Lleva a cabo transmisión por fibra por encima de los 100 km. |



| | | |
|------|----------------|--|
| 1980 | ESTADOS UNIDOS | Primera red de fibras ópticas de larga distancia entre Boston y Richmond (por la ATT). |
| 1981 | INGLATERRA | Beales, dispersión ≤ 4 (ps/nm·Km) en fibras unimodo. |
| 1982 | ESTADOS UNIDOS | Instalación de fibra óptica unimodo para un programa de evaluación, por Jets Propulsión Laboratories, en Pasadena, CA. |
| 1982 | JAPÓN | Fujitsu demostró la operación de un sistema de 405 Mbps de 30 Km, con fibra unimodo. |
| 1983 | ESTADOS UNIDOS | Primer enlace de larga distancia sin repetidores de 36.8 Km, por la Continental Telephone Co., NY. |
| 1985 | ESTADOS UNIDOS | Propagaciones de modo simple a través de América para llevar señales de teléfono de larga distancia en 400 bites de millón por segundo y arriba. |
| 1988 | ESTADOS UNIDOS | Empieza el primer servicio transatlántico por cable-óptico, usando 1.3 μ m -láser y sobre fibras monomodo. |
| 1996 | JAPÓN | Fujitsu, NTT Laboratory y Bell Laboratory todo mensaje es enviando a 1Gbit por segundo a través de fibra óptica monomodo en experimentos separados usando técnicas diferentes. |

1.2 LA FIBRA ÓPTICA EN MÉXICO

El desarrollo del capitalismo industrial en el siglo XIX trajo consigo no sólo una de las revoluciones tecnológicas más profundas en la historia de la humanidad sino el acortamiento cada vez más acelerado de los tiempos y las distancias. Tal como en el Porfiriato el desarrollo de los ferrocarriles contribuyó a la creación de un mercado nacional, las comunicaciones a nivel global conformaron la red del capitalismo en el mundo; se intensificó el flujo de mercancías y, lentamente, la cada vez más apremiante necesidad de información hizo de ésta un insumo más: "Las diferentes etapas de la historia suelen ser etiquetadas con nombre que pretenden capturar la característica que más las distingue; así, las edades del Cobre o del Hierro, el Renacimiento, la Reforma, la Ilustración o la misma Revolución Industrial. No es gratuito que a las sociedades más avanzadas de nuestro tiempo se les haya bautizado como 'sociedades de la información' o 'del conocimiento' y que se hable de que hoy vivimos la 'Revolución Electrónica'."³

Si bien en el siglo XIX ya existían el telégrafo y el servicio postal como medios relativamente eficaces de transmisión de información, poco a poco al teléfono se impuso, dada su confiabilidad, su característica bidireccional y la privacidad en la emisión y en la recepción del mensaje. La conversión de señales sonoras en eléctricas, médula técnica del sistema telefónico, hizo famoso y multimillonario a su inventor, Alexander Graham Bell. La patente del teléfono data de 1876 y el sistema de comunicación llega a México dos años después, durante el primer cuatrienio del gobierno del otrora caudillo del levantamiento de Tuxtepec.

En diciembre del mismo año (1878), la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas otorgó la primera concesión del servicio público telefónico a la Compañía Telefónica Mexicana (misma que cambió su razón social en 1905 por la de Compañía Telefónica y Telegráfica Mexicana), subvencionada por la Bell Telephone Company. La competencia de la Telefónica Mexicana, de tecnología estadounidense, eran diversas compañías del interior de la República, principalmente ubicadas en el norte del país, que contaban con tecnología alemana. En 1903 se otorgaba la concesión para la explotación del servicio a la Compañía Ericsson, S.A., de capital sueco.

A estas dos empresas correspondieron dos sindicatos: el Sindicato Nacional de Trabajadores de Ericsson, y el Sindicato Nacional de Telefonistas. Ambas empresas se enlazan en diciembre de 1947 para dar lugar a la Compañía Teléfonos de México, S.A. y lo mismo sucede con los sindicatos, que forman el Sindicato de Telefonistas de la República Mexicana (STRM) el 1o de agosto de 1950.

En términos de la cronología de las comunicaciones ya se superponían la edad del cable (1844-1900) y la edad de las transmisiones inalámbricas (1900-1980). La edad de las redes digitales integradas en servicios comenzaría en la década de los ochenta y perviviría junto con las anteriores.

Para 1958, un grupo de inversionistas mexicanos (Vallina, Trouyet, Suárez), compró la mayoría de las acciones de Teléfonos de México, lo que inició el proceso de mexicanización de la industria telefónica. En 1963, el Estado mexicano comienza su carrera como accionista de Telmex y para 1972 posee ya el 51% de las acciones, si bien muchas de éstas eran preferentes por lo que no tenían derecho a voto, situación que favorecía a los accionistas privados.

Las nuevas tecnologías

En lo que toca a las telecomunicaciones, la fibra óptica parece ser el desarrollo técnico más importante en las postrimerías del siglo XX. Gracias al desarrollo de materiales y al descenso de los costos de producción, la fibra óptica está destinada a sustituir a los cables convencionales ya que permite transmitir hasta treinta veces más información que un cable coaxial del mismo diámetro. El innovador material transmite luz en lugar de pulsos eléctricos y es capaz de difundir señales de voz, datos, textos y video.

Ahora bien, la tecnología de la fibra óptica encuentra mejor acogida en la telefonía de larga distancia, sobre todo en enlaces con un alto flujo de transmisiones punto a punto. Las satelitales, en cambio, se orientan a las transmisiones punto a multipunto o a las regiones escasamente pobladas o con geografía de difícil acceso. Otra diferencia entre la comunicación por fibra óptica y por satélite es la vulnerabilidad de las instalaciones a tormentas o desastres naturales: mientras la primera requiere del tendido de redes que en cierta medida quedan expuestas en su totalidad, el segundo requiere sólo de antenas cuyo daño individual no implica al conjunto de las instalaciones.

Hacia principios de los años ochenta, México estaba lejos de las grandes potencias en cuanto a la extensión y al alcance de su red telefónica. En 1981 México tenía ocho teléfonos por cada 100 habitantes. Superaba a países como la India (0.5/100 habitantes) o como Brasil (7.3/100 habitantes), pero naciones como Colombia (9.4), España (33.7), Hong Kong (36.4), Reino Unido (51.0), Japón (53.0), Estados Unidos (71.0) o Suecia (85.6) lo superaban significativamente.

En México, al igual que en muchas otras partes del orbe, el servicio de telefonía se ha ido automatizando. Es evidente que esta tendencia ha traído aparejadas distintas consecuencias. Entre ellas, cabe destacar la creciente eficiencia de las conexiones y de las transmisiones así como la reducción de la mano de obra necesaria para mantener el servicio. Por ejemplo, el número total de empleados de Telmex por cada mil líneas telefónicas se redujo de unos 20 en 1965 a poco más de 10 en 1982.

Para 1974 se inician los estudios para aplicar la fibra óptica en telefonía, por parte de los fabricantes de cable telefónico, así mismo este año se ofrecen al mercado nacional los primeros equipos de transmisión ópticos, pero es hasta 1978 que Teléfonos de México inicia los estudios formales de este nuevo medio de transmisión.

Hasta fines de los ochentas, los enlaces locales representaban para Telmex el 62% de los costos totales del servicio. El servicio de larga distancia era en realidad el que fluctuaba de manera más acentuada dependiendo de los vaivenes económicos. Recientemente esta situación se ha hecho

doblemente notable ante la entrada al mercado de compañías extranjeras, básicamente estadounidenses, como AT&T o Avantel.

En 1981, Teléfonos de México decide la instalación de fibras ópticas y equipos de transmisión en una prueba piloto entre las centrales de Victoria y Peralvillo, en la Ciudad de México, donde dicho tramo requirió 6 Km como parte de un enlace de 40 Km, el cual entro en operación en julio de 1982 con un tráfico telefónico de 34 y 140 Mbps.

En 1985, a raíz de la descentralización de las instalaciones de Teléfonos de México, en el área metropolitana, se completa la primera instalación de 40 Km de fibras ópticas más otros 20 Km de reserva, en las zonas Vallejo, Azcapotzalco, Roma, Morales y Estrella. Un segundo proyecto iniciado también este año incluyo la instalación de un enlace entre el centro telefónico San Juan y la Central Telefónica de Cuautitlán, con una longitud total de 40 Km sin repetidores. La utilización de fibras ópticas de este último enlace resolvió un viejo problema de alta inducción electromagnética que poseía parte de esta ruta.

A principios de la década de los noventa, Telmex comenzó el servicio de larga distancia con fibra óptica con una red de 13 mil 500 kilómetros que uniría a Toluca, al DF, a Celaya y a Guanajuato. La línea permite una difusión de 30 mil 720 conferencias simultáneas en un par de fibras del grosor de un cabello humano.

En 1991, Telmex, Alcatel e Indetel firmaron un convenio para la construcción de los primeros cinco mil 435 kilómetros del sistema nervioso central de las comunicaciones en México, cuyas 27 rutas enlazarían a 34 ciudades del país. El gasto programado ascendía a 274 mil millones de pesos.

Por otro lado, el TLC y la unificación de las economías dieron gran importancia a la modernización de los sistemas de comunicación, ya que la efectividad de los mercados ha pasado a depender en buena medida de los sistemas de enlace. La operación y el establecimiento de redes y servicios públicos es uno de los rubros que no forman parte del TLC.

Si el servicio y la tecnología telefónicos surgieron en el siglo pasado como una de las estructuras sobre las que se dio el proceso de expansión del capitalismo mundial, con la consecuente inserción de los países periféricos al mercado mundial y a la división internacional del trabajo, en la actualidad las telefonías de larga distancia representan la época de la división mundial en grandes bloques económicos. El teléfono se ha convertido en el soporte de otras tecnologías de intercambio y flujo de información que han revolucionado al mundo y a las conciencias de los seres humanos. El fax, Internet, la telefonía móvil, los teléfonos con pantalla, el correo electrónico, en fin, la socialización del individuo con otros por medio del teléfono ha sido un arma de doble filo: ha acortado las distancias pero, a la vez, ha alejado a los seres.

1.3 SISTEMA DE TRANSMISION POR FIBRA OPTICA

Como vemos el sistema es capaz de transportar señales analógicas o digitales de una determinada velocidad de transmisión. Para esta transmisión de señales lumínicas, las señales eléctricas deben ser convertidas en señales de luz, y estas nuevamente a eléctricas en el receptor.

Estas tareas son asumidas por componentes semiconductores como los convertidores optoelectrónicos, en ambos lados del tramo de transmisión; determinados cristales semiconductores (diodo láser y diodos emisores de luz) emiten luz durante el paso de la corriente eléctrica, cuya longitud de onda se encuentra apenas por encima del espectro visible para nuestro ojo. Una delgada fibra conduce esta luz con escasas pérdidas al receptor (fotodiodo en avalancha y diodo PIN) que reacciona en forma muy sensible a la luz aportada por la fibra entregando corriente eléctrica.

En la figura 1.3, la fibra óptica conecta al transmisor y al receptor ópticos mediante pigtails, que son fibras ópticas conectorizadas que se empalman al medio de transmisión, formado por fibras ópticas de gran longitud.

Cuando la distancia entre un centro originador de señales y un centro receptor de las mismas es grande, la señal transportada por la fibra se puede atenuar demasiado, por lo que es conveniente poner regeneradores de señal entre ambos centros (repetidores).

Los repetidores regeneran las señales ópticas y las acondicionan para volver a ser transmitidas a un buen nivel de potencia óptica.

Sus componentes principales son el transmisor, el receptor, el cable y los conectores, como se muestra en la figura 1.3.

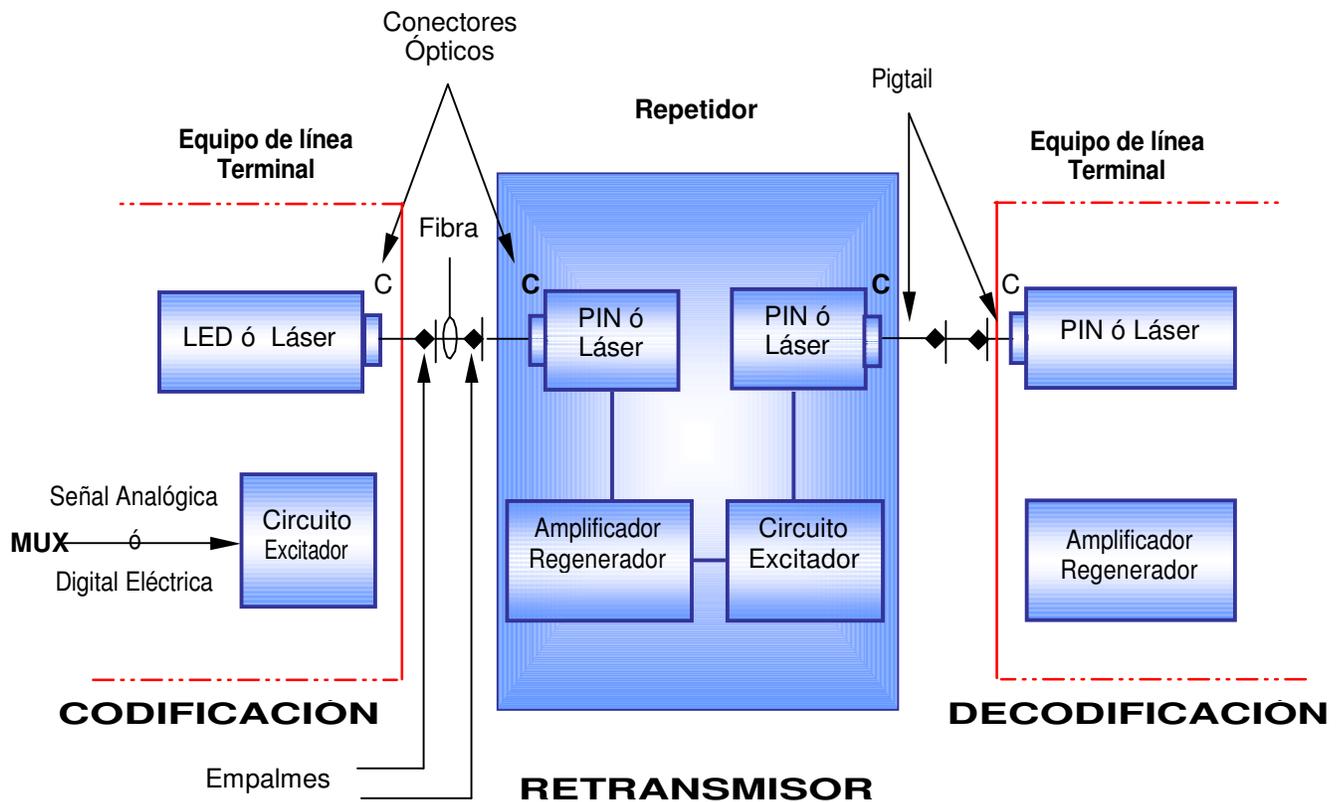


Fig. 1.3 Elementos de un sistema de comunicaciones por fibra óptica

Una onda eléctrica en movimiento oscilatorio, o incluso desplazándose de un punto a otro (como un cambio de nivel de energía de un electrón en un átomo) produce ondas electromagnéticas. Estas ondas se pueden propagar en el vacío a una velocidad de 300,000 Km/s y también a través de algunos medios materiales, con velocidad menor. Todas las frecuencias posibles de estas ondas se indican en “espectro electromagnético”, ilustrado en la figura 1.4 .

Al principio del espectro, correspondiendo a las longitudes de onda más altas, se tienen las ondas de radio, que van desde las usadas en radiocomunicaciones (como las ondas medias, cortas, VHF y UHF) hasta las más altas (como las usadas en el sistema radar).

A continuación se tienen las radiaciones infrarrojas, que son características, principalmente, de los cuerpos calientes, ya que la agitación térmica de las partículas de un cuerpo caliente, que esta por encima del cero absoluto de temperatura, provoca la emisión de radiaciones electromagnéticas concentradas en esta banda. Sigue la banda de las radiaciones cuyas longitudes de onda se sitúan entre 390 y 770 nm. Esta banda es importante porque la vista humana es capaz de percibirla y hasta distinguir su frecuencia. Estas radiaciones corresponden a la luz visible, donde el color de una emisión es dado por su frecuencia. La menor frecuencia de la luz visible da la sensación del rojo. A medida que aumenta la frecuencia la sensación de color pasara al naranja, amarillo, verde, azul, hasta alcanzar el violeta, con la mayor frecuencia visible.

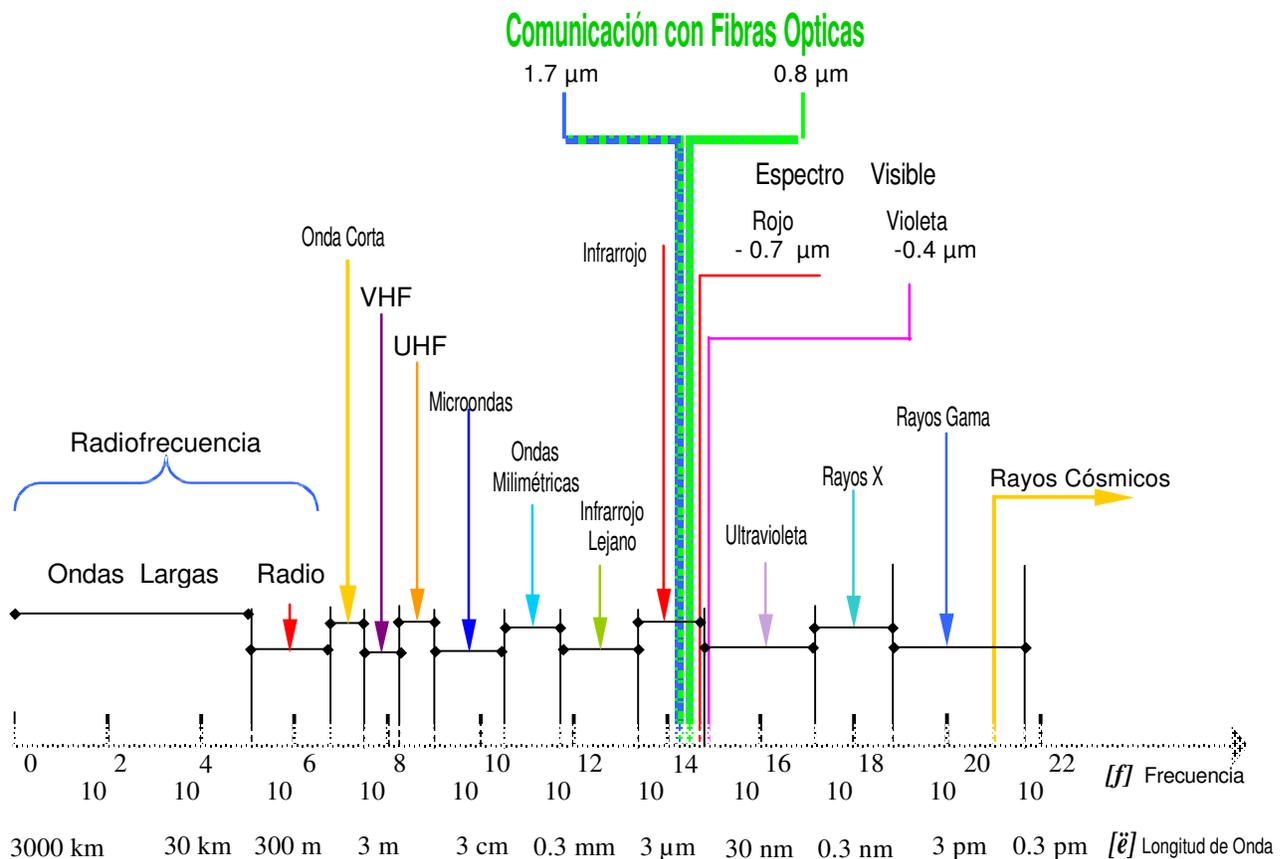


Fig.1.4 Espectro electromagnético

Arriba del espectro visible se tiene: la radiación ultravioleta (el sol emite grandes cantidades de radiación ultravioleta), con longitudes de onda entre aproximadamente 10 y 390 nm; los rayos “X”

(en medicina son utilizados en la obtención de radiografías); finalmente tenemos los rayos gamma (emitidos por núcleos inestables de los elementos radioactivos) y los rayos cósmicos, con longitudes de onda todavía menores (sin límite definido).

Para los fines de aplicación de las fibras ópticas, el espectro que se usa para las comunicaciones ópticas no corresponde exactamente al espectro de luz visible sino al infrarrojo. Así, con radiaciones infrarrojas, de frecuencias próximas al límite inferior visible, 7,700 [Å] (Ångstrom), hasta 17,000 [Å] o de 770 nm a 1,700 nm, es considerablemente más ventajosa (hay menos atenuación de los rayos al viajar por las fibras ópticas). Sin embargo, las fibras ópticas pueden trabajar también con radiación del espectro visible, habiendo dispositivos optoelectrónicos que generan y reciben estas radiaciones.

Las ondas electromagnéticas de radio y microondas, junto con la banda del infrarrojo, trabajan a menor frecuencia y mayor longitud de onda que los rayos de luz transmitidos por fibras ópticas. Para transferir información lo hacen por medio de portadoras adecuadas a la atmósfera, siendo poco afectadas por las condiciones atmosféricas (lluvia, nieve, polvo, neblina, etc.). Dependiendo de la longitud de onda, estas portadoras electromagnéticas pueden ser transmitidas distancias largas, pero limitan la cantidad de información que pueden transportar sus frecuencias (la capacidad de portar información es directamente proporcional al ancho de banda). En teoría, a más alta frecuencia portadora es más amplio el ancho de banda de transmisión disponible y, por tanto, el sistema de comunicaciones tiene más capacidad de transportar información. Por esta razón las comunicaciones de radio se han estado desarrollando para las altas frecuencias (por ejemplo, VHF y UHF), conduciendo primero a la introducción de las microondas de alta frecuencia y, últimamente, a la transmisión de ondas milimétricas. Un beneficio adicional del uso de portadoras de frecuencia alta es la habilidad general del sistema de comunicaciones para concentrar la potencia disponible dentro de la onda electromagnética transmitida, dándose así un mejoramiento de desempeño del sistema.

Bajo este concepto, la comunicación por fibras ópticas ofrece un incremento en el potencial del ancho de banda útil por un factor de alrededor de 10^4 respecto a la transmisión de microondas de alta frecuencia, y se obtiene una buena concentración de potencia bajando las pérdidas en este medio de transmisión.

La invención del diodo láser proporciona una fuente de luz de potencia aunada a la posibilidad de modulación en alta frecuencia. Además la baja divergencia del rayo de luz del láser hace mejor la transmisión óptica en el espacio libre. Sin embargo, la transmisión de luz directamente en la atmósfera tiende a restringir a estos sistemas para aplicaciones en distancias cortas.

Algunos enlaces de comunicación óptica en el espacio libre han sido implementados para aplicaciones tales como: el enlace de una cámara de televisión a un vehículo base, y para el enlace de datos entre edificios, separados unos cuantos cientos de metros. Hay también interés en la comunicación óptica entre satélites en el espacio exterior usando técnicas similares.

Las limitaciones del rayo láser en las comunicaciones ópticas en el espacio libre, llevaron a la investigación y desarrollo de medios de transmisión capaces de transferir información en un medio diferente al del espacio libre, usando una portadora de onda óptica. Hasta 1966, los ingleses Kao y Hockhan, hicieron la guía de onda dieléctrica llamada fibra óptica.

En paralelo con el desarrollo de la fibra óptica, se puso atención en otros componentes ópticos, los cuales son indispensables en un sistema de comunicaciones por fibra óptica.

Debido a que las frecuencias ópticas representan longitudes de onda extremadamente pequeñas, se requirió el desarrollo de nuevas tecnologías para los componentes ópticos. Así se diseñaron y fabricaron las fuentes ópticas semiconductoras (por ejemplo, los láser de inyección y los diodos emisores de luz), y los detectores (por ejemplo, los fotodiodos y los fototransistores) compatibles

con las fibras ópticas. Inicialmente los láseres semiconductores tenían muy corto período de vida, de unas cuantas horas, luego en 1973 de 1000 Hrs. Y en 1977 de 7000 Hrs.

Inicialmente los dispositivos fueron fabricados de arsenurio de galio (GaAs), con emisión en el rango de longitud de onda entre 800 – 900 nm. Recientemente este rango de longitud de onda se ido extendiendo hasta la región de 1100 – 1600 nm con el uso de otros semiconductores.

1.4 VENTAJAS DE LAS COMUNICACIONES POR MEDIO DE FIBRAS ÓPTICAS.

En comparación con los cables de cobre, los de fibras ópticas ofrecen múltiples ventajas en los sistemas de comunicación, tabla 1.2 .

Alta capacidad de transmisión de información.

Las fibras ópticas pueden transmitir grandes volúmenes de información a altas velocidades y permitir la conversación simultanea de un gran número de usuarios.

Tabla 1.2 Comparaciones técnico-prácticas

| Tipo de cable | Capacidad de transmisión de información | Conversaciones simultaneas teóricas |
|---------------|---|-------------------------------------|
| Par sencillo | 1 MHz – Km | 300 |
| Coaxial | 100 MHz – Km | 30,000 |
| Fibra óptica | 100 GHz – Km * | 30,000,000 |

* Esto ha sustituido al antiguo concepto del ancho de banda, porque en las fibras ópticas el ancho de banda es apropiadamente infinito y sólo se encuentra limitado por las capacidades del transmisor y el receptor.

Dimensiones

Un cable de 2400 pares (TAP), con diámetro externo de 80 mm, puede ser sustituido por un cable de una fibra óptica con diámetro externo de 3.5 mm. (aproximadamente el grueso de un cabello) Ver siguiente figura.

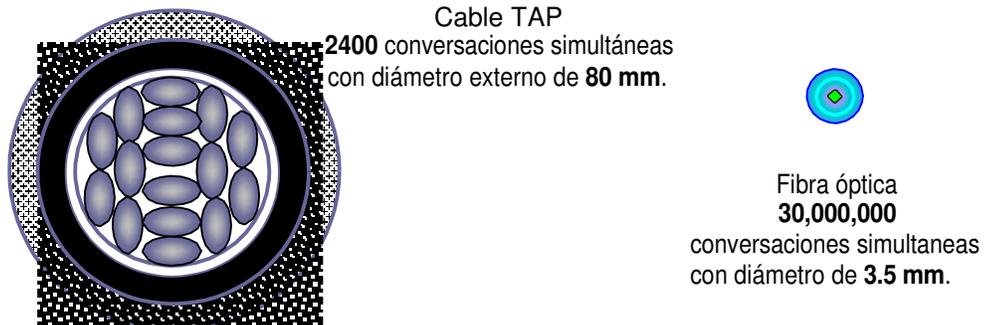


Fig.1.5 Dimensiones

Un cable multipar de 3.5 Km de largo pesa aproximadamente 20,650 Kg y requiere de 800 horas-hombre para instalarlo; un cable coaxial para la misma capacidad y longitud pesa aproximadamente 18,620 Kg. y requiere de 400 horas-hombre; en cambio, un cable de fibras ópticas pesa 3500 Kg, y necesita de tan sólo 88 horas-hombre.

Atenuación

Conforme se desarrolla la técnica de fabricación de fibras ópticas se obtienen atenuaciones cada vez más bajas, actualmente del orden de 0.4 dB/Km para fibras monomodo, con fibras ópticas de sílica, y se espera que con la fibra óptica a partir de fluoruros se logren atenuaciones aún menores; obsérvese en la siguiente figura, la gran diferencia con los cables coaxiales, en los que la atenuación es del orden de 33 dB/Km. La gráfica de la figura es representativa de las pérdidas (atenuación) Vs. Los rangos de longitud de onda de los diferentes componentes y dispositivos que son necesarios en un sistema de fibras ópticas, como son los transmisores, los receptores y la misma fibra óptica.

Atenuación

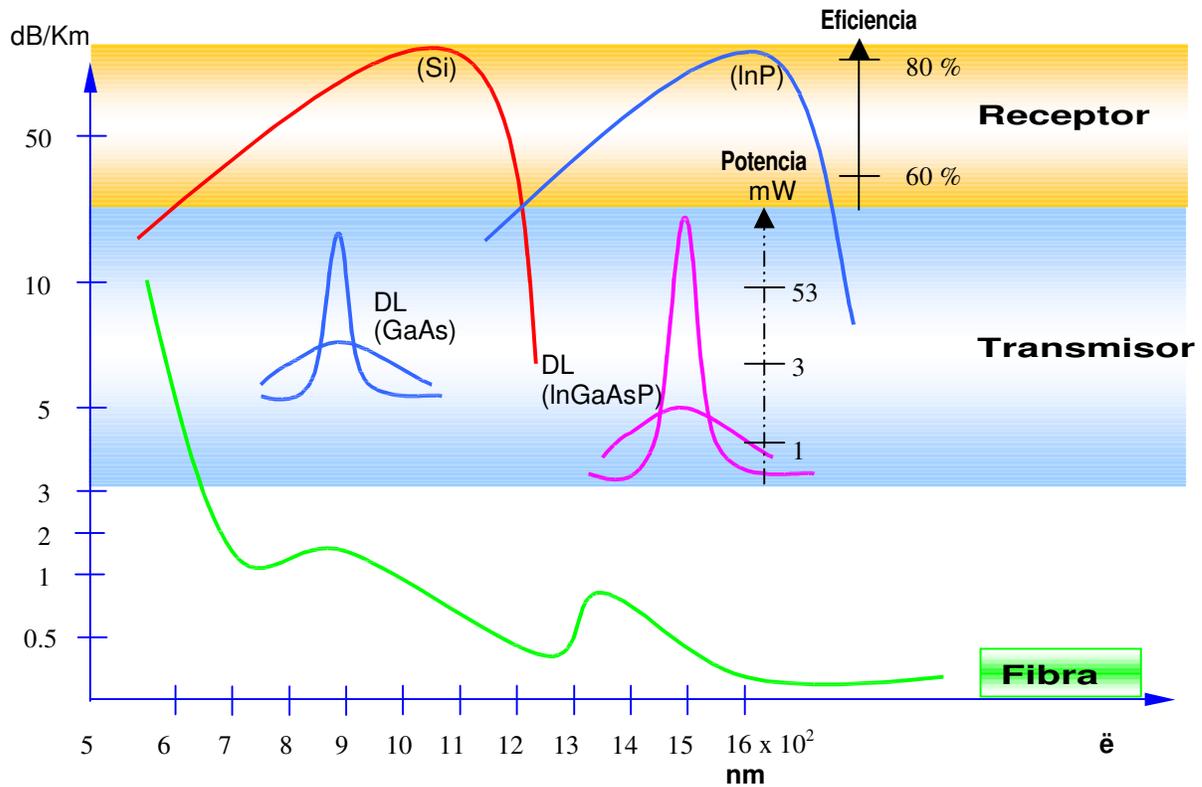


Fig.1.6 Atenuación

- En líneas de cable de fibras ópticas los repetidores se hacen menos frecuentes.
- En un par a la velocidad máxima de transmisión de 2 Mbits/seg se requieren repetidores cada 1.5 Km a 4 Km.
- Un coaxial a la velocidad de transmisión de 140 Mbits/seg requiere repetidores cada 4.65 Km.
- Una fibra óptica a la velocidad de transmisión de 2 Mbits/seg requiere repetidores cada 9 Km.
- Una fibra óptica a la velocidad de transmisión de 140 Mbits/seg requiere repetidores cada 25 Km.

Costo

Mientras el costo de los cables se incrementa año con año (par, microcoaxial y coaxial), el costo de los cables de fibras ópticas disminuye, debido al perfeccionamiento de la técnica para producirlas. Si consideramos el costo total del sistema de comunicación, resultara siempre más económico usar fibras ópticas que cualquier otro tipo de cable cuando se necesita transmitir mucha información (número de canales) entre 2 puntos y se requiere hacer enlaces de larga distancia.

Mercado de las fibras ópticas

El mercado mundial de las fibras ópticas se encuentra dividido como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1.3 Mercado de la fibra óptica

| APLICACIÓN | PORCENTAJE |
|-----------------------------|-------------------|
| Telecomunicaciones | 66 % |
| Militar | 16 % |
| Computación y redes locales | 11 % |
| Industria | 5 % |
| Otros | 2 % |

1.5 TEORIA ELECTROMAGNETICA Y ONDAS

Leyes de la teoría electromagnética

El estudio de las ondas guiadas por fibras ópticas está basado en la teoría de campos electromagnéticos. Nuestro objetivo consiste ahora en analizar las fibras ópticas (como guías de onda dieléctricas) con un modelo basado en leyes físicas: para ello consideremos los campos eléctrico y magnético, como cantidades físicas dependientes del tiempo, definidas en una región del espacio.

Se dice que la luz tiene una naturaleza electromagnética porque esta constituida en si, por un campo eléctrico y un campo magnético mutuamente perpendiculares y puede ser representada vectorialmente en el espacio. Las ecuaciones que describen los vectores de campo, variando con respecto al tiempo, son las ecuaciones fundamentales del electromagnetismo, conocidas también como *ecuaciones de Maxwell*. Estas ecuaciones encierran en sí, el hecho de que el campo eléctrico **E** variable con el tiempo, induce un campo magnético **B** también variable con el tiempo, quien a su vez genera un campo **E**, y el proceso continúa con **E** y **B** acoplados uno a otro en forma de un pulso, y también por el hecho de que en el espacio libre la perturbación electromagnética se propaga en una dirección normal al plano formado por **E** y **B**.

Las ecuaciones de Maxwell que describen el comportamiento de una onda electromagnética son las siguientes:

Ley de Gauss de la electricidad $\oint E \cdot ds = \frac{1}{\epsilon_0} \int dv$ (1.1)

Ley de Gauss del magnetismo $\oint B \cdot ds = 0$ (1.2)

Ley de Ampere $\oint B \cdot dl = \mu_0 \int j \cdot ds$ (1.3)

Ley de Ampere Modificada $\oint B \cdot dl = \mu_0 \int i + \mu_0 \circ \frac{\nabla \times E}{\partial t}$ (1.3a)

Ley de Faraday $\oint E \cdot dl = - \frac{\partial \phi_E}{\partial t}$ (1.4)

donde:

La ley de Ampere modificada propone dos contribuciones a un campo magnético, es decir:

$(\mu_0 i)$ es debido a la corriente continua,
 $(\mu_0 \circ \phi_E / t)$ es debido a un campo eléctrico variable.

Las mismas ecuaciones desarrolladas en forma diferencial son:

$\nabla \cdot E = \rho / \epsilon_0$ (1.5)

$\nabla \cdot B = 0$ (1.6)

$\nabla \times H = J + \epsilon_0 \nabla \times E / t$ (1.7)

$\nabla \times E = - \nabla B / t$ (1.8)

donde:

- E= Campo eléctrico (Newtons/Coulombs)
- B= Campo magnético (Tesla)
- ϵ_0 = Permitividad eléctrica en el vacío (8.854×10^{-12} farads / m)
- ρ = Densidad de carga volumétrica (Coulombs / m³)
- μ = Permeabilidad magnética en el vacío ($4\pi \times 10^{-7}$ Henrys / m)
- H= B/ μ_0 Intensidad de campo magnético (Tesla-m / Henry)
- J= Densidad de corriente (Ampere / m²)

Estas ecuaciones pueden ser generalizadas en el espacio, simplemente tomando los vectores de campo y las derivadas parciales correspondientes en tres dimensiones. Las ecuaciones de Maxwell quedan definidas asumiendo matemáticamente que los campos son funciones continuas de posición y tiempo, con derivadas también continuas que deben ser evaluados considerando las condiciones de frontera del problema que se está tratando.

Ondas electromagnéticas

Cuando hay una carga en movimiento, la perturbación generada en el espacio forma un campo electromagnético. La manifestación del pulso tridimensional producido por los campos eléctrico y magnético es lo que conocemos como onda electromagnética. Las ecuaciones (1.5–1.8) pueden aún reducirse a dos expresiones vectoriales de la siguiente manera:

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \nabla \rho \quad (1.9)$$

$$\nabla^2 \mathbf{B} = \frac{1}{\mu_0} \nabla \times \mathbf{J} \quad (1.10)$$

Ya que \mathbf{E} y \mathbf{B} son campos en el espacio, entonces el Laplaciano ∇^2 esta operando sobre cada componente de \mathbf{E} y \mathbf{B} ; por lo tanto, las ecuaciones (1.9) y (1.10) hacen en realidad un total de seis ecuaciones en forma escalar; esto es:

$$\nabla^2 E_x - \frac{\partial^2 E_x}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 E_x}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho \quad (1.11)$$

Para E_x , y similarmente para E_y, E_z, B_x, B_y, B_z .

Cada uno de estos componentes obedece a la ecuación escalar de onda:

$$\nabla^2 \phi - \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = \frac{1}{V^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} \quad (1.12)$$

siempre que:

$$V = 1/(\epsilon_0 \mu_0)^{(1/2)} \quad (1.13)$$

Utilizando los resultados de Weber (1804-1891) y de Kohlrouch (1809-1858), Maxwell encontró que:

$$\epsilon_0 \mu_0 = 11.12 \times 10^{-18} \text{ s}^2/\text{m}^2$$

y por lo tanto, la velocidad de fase de la luz en el espacio libre está dada por:

$$V = 1/(\epsilon_0 \mu_0)^{(1/2)} = 3 \times 10^8 \text{ m/s.}$$

Valor que estaba totalmente de acuerdo con los resultados de Fizeau en 1849, y comprueba el carácter electromagnético de la luz.

En la actualidad, sabemos que la mejor medición para la velocidad de la luz en el vacío es:

$$C = 2.9979 \times 10^8 \text{ m/s.}$$

En la figura (1.7) se observa que el campo eléctrico es paralelo al eje Y, y su dirección de propagación está en X, por lo que:

$$\mathbf{E} = \mathbf{j} E_y(x,t) \quad (1.14)$$

De la misma manera, B tiene una componente en la dirección de Z, y se propaga en X, es decir:

$$\mathbf{B} = \mathbf{k} B_z(x,t) \quad (1.15)$$

Esto quiere decir que, en el espacio libre, las ondas electromagnéticas planas son transversales. Estas ondas se pueden tratar como funciones armónicas, y de acuerdo a las funciones de Fourier, escribirlas como:

$$E_y(x,t) = E_{0y} \text{Cos}[\omega(t-x/c) + \phi] \quad (1.16)$$

Para el campo eléctrico; y partiendo de que:

$$\frac{\partial E_y}{\partial t} = - \frac{\partial B_z}{\partial t} \quad (1.17)$$

el campo magnético se puede obtener integrando la ecuación (1.17) como sigue:

$$\mathbf{B}_z = \left[\frac{\partial E_y}{\partial x} \right] t$$

Realizando la integral y sustituyendo la ecuación (2.16) se encuentra que:

$$\mathbf{B}_z(x,t) = \frac{1}{c} \mathbf{E}_{0y} \text{Cos}\left[\omega\left(t - \frac{x}{c}\right) + \emptyset\right] \quad (1.18)$$

Esta ecuación muestra claramente que E y B están en fase en el espacio, tienen la misma dependencia del tiempo, y además, son mutuamente perpendiculares, debido a que su producto cruz ($\mathbf{E} \times \mathbf{B}$) apunta en la dirección $\hat{\mathbf{i}}$ de propagación de la onda.

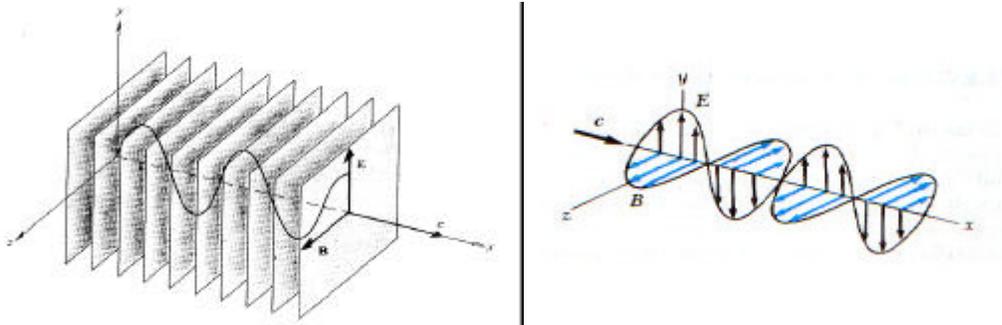


Fig.1.7 Onda plana electromagnética

1.6 PROPAGACIÓN DE LA LUZ Y SU NATURALEZA ONDULATORIA

La definición de la naturaleza de la luz siempre ha sido un problema fundamental de la física. El matemático y físico británico Isaac Newton describió la luz como una emisión de partículas, y el astrónomo, matemático y físico holandés Christian Huygens desarrolló la teoría de que la luz se desplaza con un movimiento ondulatorio.⁵

Antes de los principios del siglo XIX, se consideraba a la luz como una corriente de partículas que eran emitidas por la fuente de luz y estimulaban el sentido de la vista cuando entraban en el ojo.

Issac Newton el principal moderador de la teoría corpuscular de la luz, fue quien pudo dar una explicación simple de algunos de los fenómenos experimentales conocidos entonces relacionados con la naturaleza de la luz, principalmente las leyes de la reflexión y de la refracción. Sin embargo surgió otra teoría la cual argumentaba la existencia de que la luz podría ser algún tipo de movimiento ondulatorio. En 1687, el físico y astrónomo holandés, Christian Huygens , demostró que dicha teoría podría demostrar mejor aún las leyes de la reflexión y refracción, adempere a este argumento, no tuvo mayor fuerza para su aceptación. Aunado a esto se decía que si la luz fuera algún tipo de movimiento ondulatorio, las ondas serían capaces de desviarse (doblar)se alrededor de obstáculos siendo nosotros capaces de ver a la vuelta de las esquinas. No obstante, hoy en día conocemos estos fenómenos como difracción, el cual no esta tan fácil de observar pues la longitud de onda de las ondas de luz es muy pequeña. Para esto el físico francés , Augustin Fresnel, realizó un número finito de experimentos detallados referentes a los fenómenos de interferencia y difracción.

Más tarde, un suceso de gran importancia relacionado con la teoría ondulatoria, fue el trabajo realizado por Maxwell , quien en 1873 demostró que la luz era una forma de onda electromagnética de alta frecuencia; prediciendo en su teoría una rapidez de las ondas de aproximadamente 3×10^8 m/s. En la actualidad se cree que estas dos teorías son complementarias, y el desarrollo de la teoría cuántica ha llevado al reconocimiento de que en algunos experimentos la luz se comporta como una corriente de partículas y en otros como una onda. En las situaciones en que la luz presenta movimiento ondulatorio, la onda vibra perpendicular a la dirección de propagación; por eso, la luz puede polarizarse en dos ondas perpendiculares entre sí. Ahora bien, la teoría de Einstein utiliza el concepto de la cuantización desarrollado por Planck en 1900, modelo que presupone que la energía de una onda de luz se presenta en paquetes de energía llamados fotones; entonces se dice que la energía está cuantizada, y de acuerdo con la teoría de Einstein, la energía de un fotón es proporcional a la frecuencia de la onda electromagnética:

$$E = hf$$

donde: $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J*s (constante de Planck)

Es importante hacer notar que esta teoría, mantiene algunas características de la teoría ondulatoria y corpuscular de la luz. En vista de estos resultados, se debe considerar a la luz como una naturaleza dual; esto es, que en ocasiones la luz actúa como onda y en otras como una partícula.

El perfeccionamiento de las fibras ópticas ha añadido una nueva dimensión a la transmisión de la luz. Las señales eléctricas son convertidas en luz y transmitidas a través de una fibra óptica, regida por las leyes de la reflexión. La manera más fácil para estudiar la luz de las fibras ópticas es por la teoría del rayo, representado por una línea. Una flecha en la línea muestra la dirección de propagación. La propagación de la luz a través de un sistema de fibra óptica, puede así ser analizado con simple geometría, simplificando el análisis y haciendo más fácil entender la operación de una fibra óptica.

1.7 LEYES DE LA REFLEXION Y LA REFRACCION

Pensemos en una onda plana monocromática incidiendo en una interfase que separa dos medios transparentes diferentes, tal y como se muestra en la figura. Al chocar la onda con la interfase, parte de ella se refleja y parte se transmite.

La ley de la reflexión predice que $\theta_i = \theta_r$ debido al camino óptico recorrido por el frente de onda, con lo que se establece que:

$$n_i \text{ Sen } \theta_i = n_r \text{ Sen } \theta_r \tag{1.19}$$

y de la misma manera:

$$n_i \text{ Sen } \theta_i = n_t \text{ Sen } \theta_{ti} \tag{1.20}$$

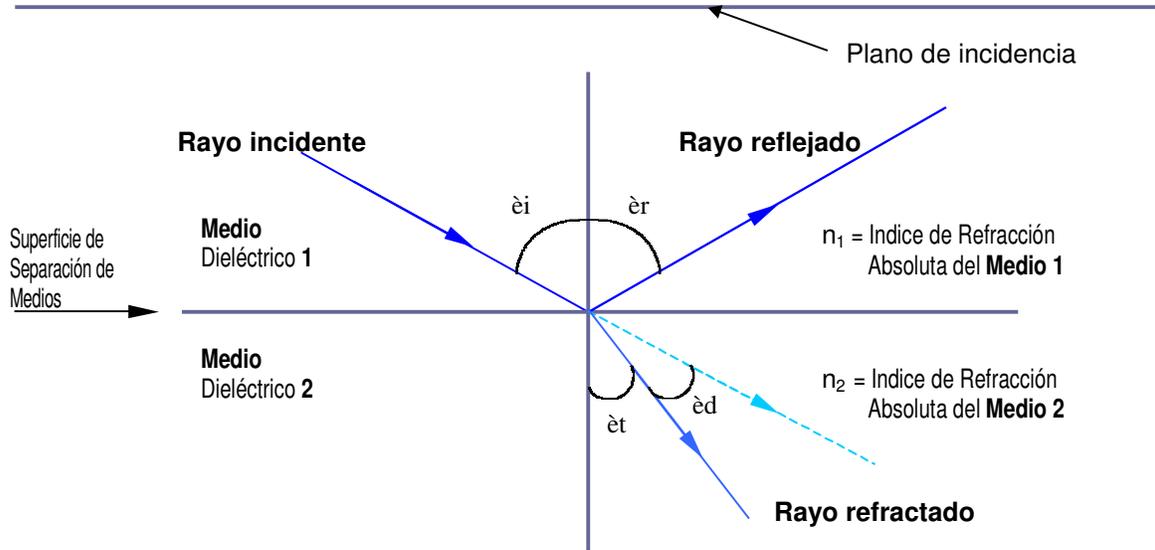


Fig.1.8 Rayos de luz incidente, reflejado y refractado

La ecuación (1.20) se conoce como la ley de refracción, o ley de Snell, la cual puede escribirse como :

$$\text{Sen } \theta_i / \text{Sen } \theta_t = n_{ti}$$

Donde $n_{ti} = n_t / n_i$ es la relación de los índices de refracción absolutos, o bien, el índice relativo de los medios. Así, si $n_{ti} > 1$, entonces $n_t > n_i$, y si $n_{ti} < 1$, entonces $n_t < n_i$.

Analizando estas dos situaciones a partir de la ley de Snell, obtenemos que si $n_t > n_i$, Entonces $\theta_i > \theta_t$; y si $n_t < n_i$, entonces $\theta_i < \theta_t$.

Un tercer caso sería cuando $\theta_t = 90^\circ$; entonces:

$$n_i \text{ Sen } \theta_i = n_t$$

Y se denomina a θ_i ángulo crítico θ_c , ya que precisamente a ese ángulo no existe el haz refractado y la reflexión que ocurre es total e interna.

1.8 GUIAS DE ONDA

Para continuar con el estudio de la propagación de la luz, es de nuestro interés ahora analizar el comportamiento de las ondas electromagnéticas propagándose a través de un medio con fronteras; por ejemplo, un cable. Estableceremos un sistema de coordenadas rectangulares para llegar a las ecuaciones que describen el comportamiento de una onda propagándose en una guía.

El objetivo principal de este texto es hacer un análisis para las fibras ópticas. Sin perder de vista tal propósito, por el momento se establecerá de una manera general la propagación en guías de onda. La energía se transmite por campos electromagnéticos.

Cuando la onda atraviesa el medio conductor o dieléctrico por el cual está siendo conducida, es necesario considerar su comportamiento electromagnético, su relación entre campos y corriente, cargas, y los efectos de reflexión en la frontera del medio. Este último punto es de importancia particular para determinar las características de la onda.

Para encontrar las soluciones de la ecuación de onda, es necesario realizar un análisis matemático en donde se cumplan los límites impuestos por las condiciones de frontera en guías conductoras y dieléctricas, analizando únicamente las ondas que representen transferencia de energía a lo largo de la guía, tal solución debe cumplir con las ecuaciones de Maxwell y con las condiciones de frontera.

Supongamos una onda propagándose en dirección del eje Z, con una variación sinusoidal del tiempo en un sistema tridimensional de coordenadas cartesianas.

Las ecuaciones de Maxwell aplicadas a un dieléctrico pueden ser representadas utilizando constantes conocidas de la onda viajera en el medio en que se propaga, tales como la permeabilidad (μ), permitividad (ϵ) y frecuencia (ω).

Así, las ecuaciones de Maxwell se pueden expresar de la siguiente manera:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -j\omega\mu\mathbf{H} \quad (1.21)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = j\omega\mu\mathbf{E} \quad (1.22)$$

Recordando el término de la intensidad de campo magnético $\mathbf{H} = \mathbf{B}/\mu_0$, el cual utilizamos ahora únicamente por simplificación en las ecuaciones, pueden ser ahora escritas las componentes de \mathbf{E} y \mathbf{H} como:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}(x,y) = E_x\mathbf{i} + E_y\mathbf{j} + E_z\mathbf{k}$$

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}(x,y) = H_x\mathbf{i} + H_y\mathbf{j} + H_z\mathbf{k}$$

Ahora bien, cuando se supone una onda viajera incidente en el medio, propagándose a lo largo del eje z, entonces las componentes de \mathbf{E} y \mathbf{H} únicamente serán funciones de x y y, si consideramos la función de z en el exponencial e^{jz} esto es:

$$\mathbf{E} = \mathbf{f}(x,y) e^{jz} \quad \text{y} \quad \mathbf{H} = \mathbf{f}(x,y) e^{jz}$$

Del sistema de ecuaciones (1.21) y (1.22) es posible resolver para E_x, E_y, H_x, H_y en términos de E_z y H_z , obteniendo las siguientes soluciones:

$$E_x = -(1 / (\beta_o^2 + \gamma^2)) (\gamma (E_z / x) + j\omega\mu (H_z / y)) \tag{1.23}$$

$$E_y = (1 / (\beta_o^2 + \gamma^2)) (-\gamma (E_z / y) + j\omega\mu (H_z / x)) \tag{1.24}$$

$$H_x = (1 / (\beta_o^2 + \gamma^2)) (j\omega\mu (E_z / y) - \gamma (H_z / x)) \tag{1.25}$$

$$H_y = (1 / (\beta_o^2 + \gamma^2)) (j\omega\mu (E_z / x) + \gamma (H_z / y)) \tag{1.26}$$

donde: $\beta_o = \omega (\mu\epsilon)^{1/2}$

Al considerar un dieléctrico real, es decir, imperfecto, se sustituye ϵ por $\epsilon - j\sigma/\omega$, donde σ/ω es el factor de pérdidas en el que se incluyen las corrientes de conducción. De esta manera, la constante β_o queda definida como:

$$\beta = \omega (\mu\epsilon)^{1/2} (1 - j\sigma\omega/\epsilon)^{1/2}$$

Así, para las regiones libres de carga, la intensidad total del campo eléctrico y magnético que existe entre las fronteras conductoras satisface las ecuaciones de onda:

$$\nabla^2 E = \beta_o^2 E \tag{1.27}$$

$$\nabla^2 H = \beta_o^2 H \tag{1.28}$$

también conocidas como las ecuaciones de *Helmholtz* donde:

$$\nabla^2 = \nabla_{xy}^2 + (\partial^2 / \partial z^2) \tag{1.29}$$

y $(\partial^2 / \partial z^2)$ representa la contribución del operador ∇^2 en la dirección axial, siendo ∇_{xy}^2 el Laplaciano bidimensional en el plano transversal. Como se ha asumido una dirección de propagación en el sentido del eje z, es decir, en la dirección axial positiva, entonces la función $e^{-\gamma z}$ es la función de propagación a partir de la cual es posible obtener la velocidad y el grado de la atenuación de la onda.

Sustituyendo la ecuación (1.29) en las ecuaciones (1.27) y (1.28) obtenemos:

$$\nabla_{xy}^2 E + (\partial^2 E / \partial z^2) = -\beta_o^2 E \tag{1.30}$$

$$\nabla_{xy}^2 H + (\partial^2 H / \partial z^2) = -\beta_o^2 H \tag{1.31}$$

donde: $(\partial^2 / \partial z^2) = \gamma^2$, con lo que se obtienen los operadores Laplacianos:

$$\nabla_{xy}^2 E = -(\beta_o^2 + \gamma^2) E \tag{1.32}$$

$$\nabla_{xy}^2 H = -(\beta_o^2 + \gamma^2) H \tag{1.33}$$

Estas dos ecuaciones, forma general de las ecuaciones de Helmholtz, son las que deben resolverse para encontrar la función de propagación en la guía de onda. Y por supuesto, al resolverse deben satisfacer las condiciones de frontera en las regiones dieléctricas de la guía.

1.9 CLASIFICACION DE ONDAS ELECTROMAGNETICAS

Las soluciones hasta ahora obtenidas para las ondas electromagnéticas (ecuaciones 1.23-1.26)(fig.1.9) se reducen a encontrar E_z y sustituirla después en las otras componentes. De acuerdo a estas soluciones, podemos clasificarlas de la siguiente forma:

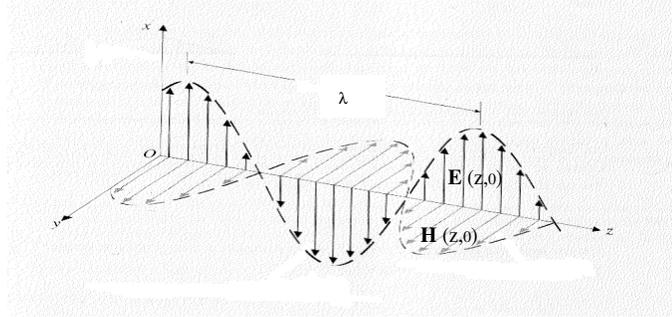
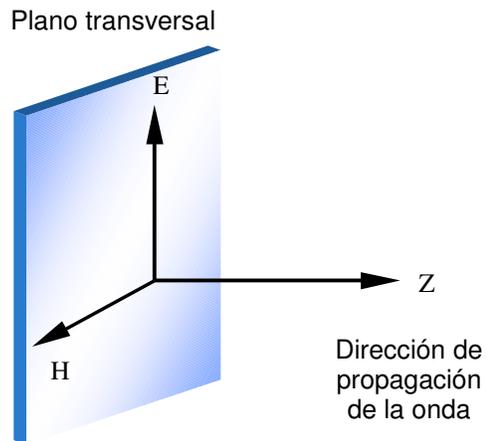


Fig. 1.9 Ondas electromagnéticas $-E(z,0), H(z,0)-$



Ondas electromagnéticas transversales

En las ondas electromagnéticas transversales (EMT), los campos E y H están en un plano perpendicular o transversal a la dirección de propagación (ver figura 1.10).

Fig. 1.10

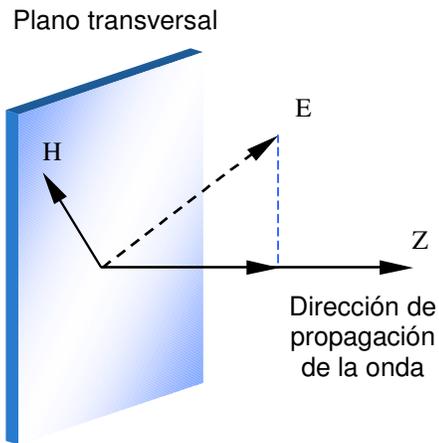


Fig. 1.11

Ondas magnéticamente transversales

En este caso, una componente del campo eléctrico se encuentra en la dirección de propagación, mientras que el vector de intensidad de campo magnético se localiza en el plano transversal; Ondas MT (ver figura 1.11).

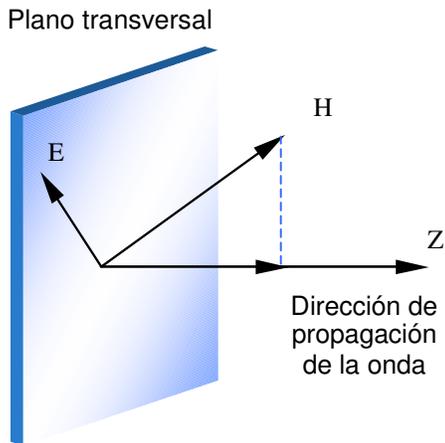


Fig. 1.12

Ondas eléctricamente transversales

Las ondas eléctricamente transversales (ET), son las que, sólo el campo eléctrico es perpendicular a la dirección de propagación. (ver figura 1.12).

1.10 INDICE DE REFRACCION ABSOLUTO

Se define como el cociente de la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en un material "x".

$$n_x = C/V$$

donde c es la rapidez de la luz en el vacío y ves la rapidez de la luz en el medio. En general, n varía con la longitud de onda y está dado por:

$$n = \tilde{\epsilon}_0 / \tilde{\epsilon}_n$$

donde $\tilde{\epsilon}_0$ es la longitud de onda en el vacío y $\tilde{\epsilon}_n$ es la longitud de onda en el medio. El principio de Huyges establece que todos los puntos en un frente de onda se pueden considerar como fuentes puntuales que generan “onditas” secundarias. Para un tiempo posterior, la nueva posición del frente de onda es la superficie tangente a estas “onditas” secundarias.

La luz es transmitida a través de cualquier material transparente con una velocidad menor que la velocidad de la luz en el vacío.

El grado de disminución de la velocidad de la luz en un material, con respecto a la velocidad de la luz en el aire (300, 000 Km/s), es una propiedad característica de ese material, y es precisamente el “Índice de Refracción Absoluto” (Tabla 1.4). Por ejemplo, el vidrio contiene $n = 1.52$.

Tabla 1.4 Índice de refracción absoluto y velocidad de la luz para algunos materiales⁶

| MATERIAL | n | VELOCIDAD DE LA LUZ (Km/s) |
|------------------------------------|---------|----------------------------|
| VACIO | 1.0 | 300,000 |
| AGUA (H ₂ O) | 1.33 | 225,000 |
| CUARZO FUNDIDO (SiO ₂) | 1.46 | 205,000 |
| VIDRIO CROWN | 1.52 | 200,000 |
| DIAMANTE (C) | 2.0 | 150,000 |
| SILICIO (S) | 3.4 | 88,000 |
| ARSENIURO DE GALIO (ArGA) | 3.6 | 83,000 |
| FLUORINA (CaF ₂) | 1.434 | 209,205 |
| VIDRIO FLINT | 1.66 | 180,722 |
| HIELO (H ₂ O) | 1.309 | 229,182 |
| POLIESTIRENO | 1.49 | 201,342 |
| CLORURO DE SODIO (NaCl) | 1.544 | 194,300 |
| CIRCON | 1.923 | 156,006 |
| BENCENO | 1.501 | 200,000 |
| DISULFURO DE CARBONO | 1.628 | 184,275 |
| TETRACLORURO DE CARBONO | 1.461 | 205,339 |
| GLICERINA | 1.473 | 203,666 |
| ALCOHOL ETILICO | 1.361 | 220,426 |
| GASES A 0° C, 1 atm | | |
| AIRE | 1.0003 | 300,000 |
| DIÓXIDO DE CARBONO | 1.00045 | 300,000 |

1.11 REFLEXION INTERNA TOTAL

La reflexión interna total puede ocurrir cuando la luz viaja de un medio de índice de refracción grande a un punto de menor índice de refracción. El ángulo mínimo de incidencia, $\tilde{\epsilon}_c$, para el cual ocurre la reflexión interna en una interfase es:

$$\text{Sen } \tilde{\epsilon}_c = n^2 / n^1$$

donde: $n_1 > n_2$.

El principio de Fermat dice que cuando un rayo de luz viaja entre dos puntos, su trayectoria será la que requiere el menor tiempo, esto nos recuerda a que en un medio eléctrico también se aplica la este mismo principio

Capítulo II EMPALMES DE FIBRAS OPTICAS

La interconexión y acoplamiento de fibras ópticas con diferentes dispositivos, tales como fuentes de luz y detectores, requieren de especial cuidado, ya que en una instalación se deben reducir al mínimo las pérdidas causadas por uniones de fibras ópticas necesarias en el sistema.

El incremento en las pérdidas de un enlace es el factor más importante que introduce cualquier unión de fibras ópticas, por lo cual, deben considerarse sus causas y la magnitud de sus efectos.

En este capítulo mostramos las características propias de los dispositivos de interconexión, utilizados en un Sistema de Transmisión por Fibra Óptica.

2.1 Cables ópticos

Una fibra óptica, resultado del proceso de formación de fibras, se asemeja a un cabello largo; su diámetro exterior puede ser pequeño (de 100 a 150 μm) y puede utilizarse comercialmente en telecomunicaciones. Aunque teóricamente una fibra óptica tiene gran resistencia, sus propiedades ópticas y mecánicas se ven muy afectadas por el medio ambiente, de modo que, es necesario cablear la fibra para mantener estables sus características de transmisión y facilitar la instalación del enlace óptico. Un cable de fibras ópticas o cable óptico puede contener una sola o muchas fibras. El cable óptico debe asegurar un medio ambiente adecuado para las fibras y facilitar su manejo; por lo menos, de manera tan fácil como la de los cables metálicos clásicos.

Diseño de cables

Con el propósito de proteger, a las fibras ópticas, del manejo, uso y efectos del medio ambiente, las fibras se arman en cables. El diseño básico del cable óptico se muestra en la siguiente figura.

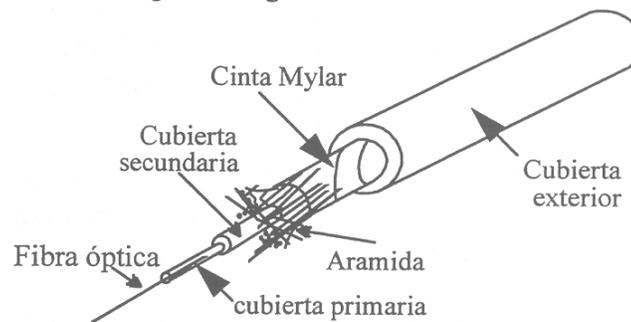


Fig. 2.1

El propósito es proteger la fibra óptica contra:

1. Abuso mecánico por impacto, aplastamiento, presión, flexión o tensión, los cuales provienen de la instalación y del mantenimiento.
2. Temperaturas extremas.
3. Entrada de agua, que puede producir efectos de corrosión o tensiones debido a la congelación.
4. Deterioro químico de los materiales de la camisa del cable.
5. Humo o gases venenosos que se generan en las aplicaciones plenas.
6. Deterioro y atenuación provocada por la radiación.
7. Daños producidos por los roedores en los cables enterrados y por los tiburones en los cables submarinos.

Las fibras ópticas deben disponerse en cables sin que sus características de transmisión se vean degradadas y se mantengan estables por toda la vida de diseño del cable, o sea, por 30 años.

Todas las fuerzas, ya sea radiales y axiales, actúan sobre la fibra óptica y por supuesto, cualquier momento de doblez provocará que las características de la fibra se desvíen. Para prevenir estos efectos, el diseño del cable debe ya sea aislar sustancialmente, las fibras de las fuerzas externas que actúan sobre los cables, o al menos, acojinar las fibras, de manera que estas fuerzas no se conviertan en serias deformaciones.

La segunda consideración de importancia es la probabilidad de ruptura de la fibra.

Revestimiento para los cable de fibra óptica

Existen cuatro tipos de revestimiento, los cuales son básicamente resinas epoxicas:

- 1) Termo fraguado (tipo plástico) preparado para UV
- 2) Termoplástico (resina sintética que al calentarse se ablanda y al enfriarse recobra su forma original) preparado con calor.
- 3) Termo fraguado preparado con color
- 4) Combinaciones de los tres

Estos revestimientos están disponibles en dos tamaños 250 y 500 μm . El revestimiento de 250 μm se utiliza generalmente para construir un separador en tubo holgado (de 1 a 3mm), y el de 500 μm para cables con separado apretado (de 0.5 a 1mm). El revestimiento más delgado mejora la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción y la resistencia a las pérdidas por dobleces.

Estructuras separadoras de tubo

En el proceso de fabricación, hay dos posibilidades para el tipo de construcción de la estructura separadora de tubo.

- 1) Amortiguador apretado, que es comúnmente un plástico duro o semiduro, que se encuentra en íntimo contacto con la fibra recubierta.
- 2) Amortiguador de relleno, en el cual la capacidad sobredimensionada (vacía) del tubo extruido o ranura del cable se rellena con un compuesto resistente a la humedad para excluir la presencia de agua.

La estructura de tubo ajustado proporciona una mayor resistencia a la compresión y a la tensión. Sin embargo, aumenta la sensibilidad del cable a los efectos de las temperaturas extremas.

La configuración de tubo holgado (reellenos) se utiliza principalmente en cables de fibra monomodo para minimizar las tensiones axial y longitudinal en la fibra durante la instalación o por la contracción térmica (o expansión). La estructura de tubo holgado también permite una mayor densidad de empaque de las fibras. En un mismo tubo pueden acomodarse típicamente de 6 a 12 fibras.

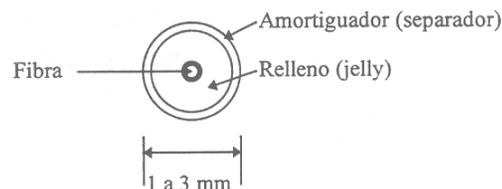


Fig. 2.2

Elementos de refuerzo

Para minimizar las características de elongación y contracción del cable, se le agregan elementos de refuerzo.

Las propiedades de estos se indican en la siguiente tabla:

Características selectas de los elementos tensores de los cables ópticos

| Tipo | Carga de ruptura lb | Diámetro, pulg | Elongación de ruptura, % | Peso, lb/100pie |
|-----------------|---------------------|----------------|--------------------------|-----------------|
| Fibra de vidrio | 480 | 0.045 | 3.5 | 1.4 |
| Kevlar | 944 | 0.093 | 2.4 | 1.8 |
| Acero | 480 | 0.062 | 0.7 | 7.5 |

Para aplicaciones interiores por lo general se acostumbra una capa de Kevlar que rodea el tubo primario que contiene la fibra. Para aplicaciones exteriores, aéreas o de enterramiento directo, el elemento estructural central es normalmente una combinación de acero, fibra de vidrio epóxica o Kevlar. Sirve como corazón alrededor del cual se trenzan las fibras amortiguadas.

Carga de tracción sobre el cable

Para prevenir la generación de efectos permanentes en las propiedades de la fibra durante la instalación, la máxima fuerza de tracción debe limitarse alrededor de 182 Kgf (400 lb). Esto debe ser adecuado para el cable y la mayor parte de las instalaciones en ductos. Por ejemplo, una carga de tracción de 13 Kgf (29 lb) es la que se requiere normalmente para tirar de 1 km de cable de 1.6 cm de diámetro a través de un conducto de múltiples curvas. Pueden utilizarse tubos de polietileno o lubricante para reducir la fricción entre la camisa del cable y las superficies interiores del ducto.

Por lo general, la carga en el extremo del cable del que se tira se hace cada vez mayor durante la instalación.

Tipos de cables ópticos

Tipos de cables

Los cables ópticos se dividen por su uso en:

- Cables para interiores.
- Cables para exteriores.
- Cables especiales.

A continuación se describe cada uno de ellos.

Cables para Interiores

Los cables para interiores son los que se usan dentro de los edificios, o de la llamada planta interna, estos cables en general deben tener buena flexibilidad y ser no propagadores de la flama, por lo regular son totalmente dieléctricos y contienen una sola fibra.

Los cables monofibra nos sirven para interconectar equipo óptico (jumper óptico) ó bien los utilizamos para rematar las fibras del cable que llega del exterior (pig-tail) en un distribuidor de fibras ópticas.

La construcción típica de este tipo de cables monofibra es como se muestra en la siguiente figura.

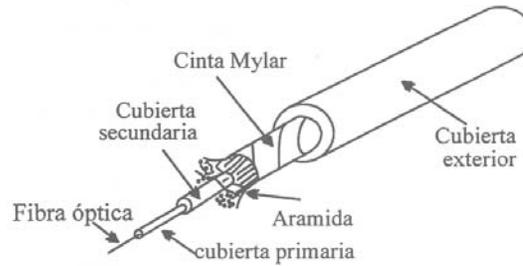


Fig. 2.3

La siguiente tabla describe los componentes del cable monofibra para interiores.

| Componente | Descripción |
|---------------------|---|
| Cubierta exterior | Esta cubierta es de PVC o de polietileno |
| Cinta mylar | Se usa como barrera térmica |
| Aramida | Sirve como elemento de tensión transversal y longitudinal totalmente dieléctrico |
| Cubierta secundaria | Mide aproximadamente 1mm de diámetro |
| Gel de petrolato | Se usa como elemento inundante dentro de la protección secundaria para bloqueo de humedad |
| Cubierta primaria | Mide aproximadamente de 250 μm de diámetro |
| Fibra Óptica | Mide aproximadamente 125 μm de diámetro |

Cuando lleva dos fibras (dúplex) su construcción es la de dos cables monofibras unidos por medio de una lengüeta en la cubierta externa.

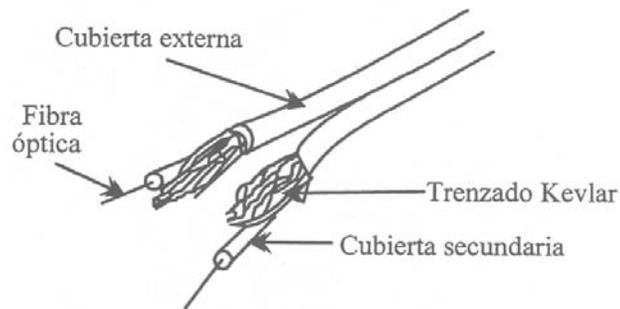


Fig. 2.4 Estructura de cables para interiores.

En los cables multifibra se da una infinidad de diseños caracterizándose todos ellos en tener la cubierta externa de PVC antifuego, y en no llevar armaduras.

Cables ópticos para exteriores

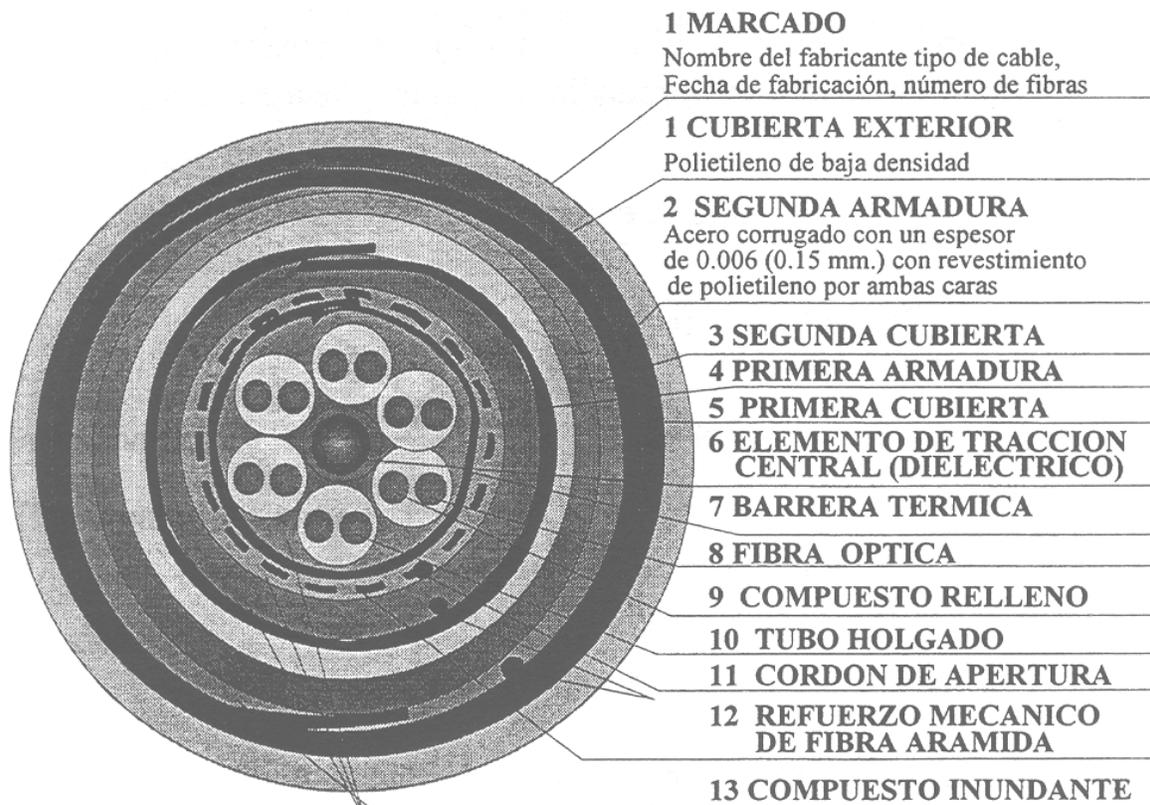
Los cables para exteriores son por lo regular cables multifibra en diferentes capacidades (6, 12, 24, 36, 48, 72, o más fibras ópticas)

Son diseñados para ser instalados en diferentes lugares como:

- En el aire
- Enterrado
- Conducido por ducto
- Bajo el agua

Algunas consideraciones importantes para la instalación y el mantenimiento son: la facilidad de manejo, tiempo de empalme, operaciones de terminación, tiempo de reparación y estabilidad en las características de transmisión.

Los cables ópticos para exteriores tienen básicamente la siguiente construcción.



Estructura de los cables ópticos para exteriores

Fig. 2.5

Cables especiales

Este tipo de cables se fabrican especialmente para satisfacer alguna demanda específica, con diferentes tipos de estructuras de acuerdo a su uso y condiciones de operación, por ejemplo:

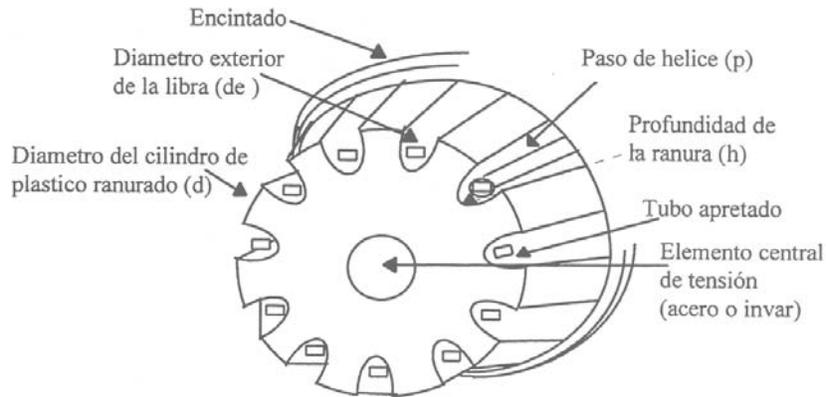
- Cable de núcleo ranurado
- Cable con elemento de tensión exterior.

A continuación se describe cada uno de ellos.

Cable de núcleo ranurado

Este diseño incorpora al miembro central de tensión una cubierta plástica de gran espesor con ranuras en la periferia (de 6 a 12 ranuras) que van en forma Helicoidal. En estas ranuras se alojan las fibras, estas fibras pueden ir con cubierta secundaria de tubo apretado, o bien, únicamente con cubierta primaria, pudiendo ir en cada ranura más de una fibra dependiendo de la densidad de fibras que requieren en el cable. Los espacios libres que no son ocupados por la fibra son llenados con jelly, y posteriormente encintados con mylar, formándose así el núcleo del cable.

La desventaja principal de esta estructura es que se obtienen cables con dimensiones mayores que con la de elemento central, ocasionando que su radio mínimo de curvatura sea más grande y el cable en general es un poco más difícil de preparar para labores de empalme y terminación.



Núcleo ranurado

Fig. 2.6

Cable con elemento de tensión exterior

Este diseño emplea un elemento de tensión externo, el cual envuelve a las fibras, estas fibras pueden encontrarse reunidas por medio de una espiral de plástico, o bien unidas a una cinta plástica formando una estructura rectangular compacta.

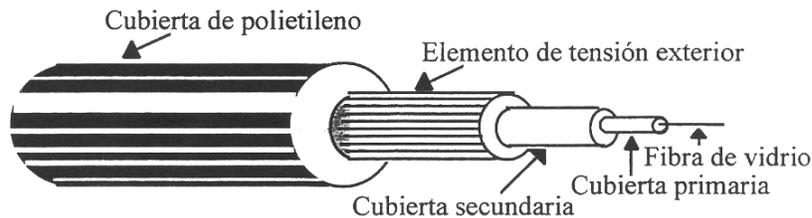


Fig. 2.7 Estructura de un cable con elemento de tensión exterior

Las fibras ópticas pueden ir únicamente con cubierta primaria o con cubierta secundaria de tubo apretado. En general este tipo de diseño se emplea cuando se requiere una muy alta densidad de fibras con dimensiones muy reducidas, o bien cuando requerimos una muy alta resistencia a la tensión.

Sin embargo, este tipo de estructura se emplea frecuentemente en los cables monofibra y dúplex que se usan para la interconexión a los equipos (pig tails y jumpers)

Sobre el miembro de tensión externo se colocan los demás elementos que conforman el cable (cubiertas, armaduras, barreras contra la humedad, etc.)

Cables de fibra óptica usados en TELMEX

| Identificación TELMEX | Características principales | No de Fibras |
|-----------------------|---|--------------|
| TM1 | <ul style="list-style-type: none"> • Núcleo de Tracción (Metálico o Dieléctrico) • Armadura sencilla • Fibra óptica de Dispersión normal | 6 |
| | | 12 |
| | | 18 |
| | | 24 |
| | | 36 |
| 72 | | |
| TM4 | <ul style="list-style-type: none"> • Núcleo de Tracción (Dieléctrico) • Refuerzo de fibra Aramida • Con doble armadura • Fibra Óptica Dispersión Normal | 6 |
| | | 12 |
| | | 18 |
| | | 24 |
| | | 36 |
| 72 | | |
| TM7 | <ul style="list-style-type: none"> • Núcleo de Tracción Metálico o no Metálico • Armadura sencilla • Fibra Óptica de Dispersión Corrida | 6 |
| | | 12 |
| | | 18 |
| | | 24 |
| | | 36 |
| 72 | | |
| TM8 | <ul style="list-style-type: none"> • Núcleo de Tracción no Metálico • Refuerzo de fibra Aramida • Con doble armadura • Fibra Óptica • Dispersión Corrida | 6 |
| | | 12 |
| | | 18 |
| | | 24 |
| | | 36 |
| 72 | | |

- Los cables TM1 y TM4, contienen fibras ópticas monomodo de dispersión normal.
- Los cables TM7 y TM8, contienen fibras monomodo de dispersión corrida.

Los cables a utilizar, contienen tubos holgados con diferente capacidad de fibras ópticas en su interior. A continuación se detalla la forma en que se distribuyen las fibras, dependiendo del año de fabricación y cantidad.

TM1

Las características de cables de fibra óptica tipo TM1 son los siguientes:

| Numero de fibras | Numero de fibras por tubo | Diámetro del cable (mm) | Peso aprox. (kg/km) | Longitud del cable en carrete (m) |
|------------------|------------------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| 6 | 6 fibras/tubo y 5 de relleno | 13.2 | 170 | |
| 12 | 2 fibras/tubo | 13.2 | 170 | |
| 18 | 3 fibras/tubo y 3 tubos de relleno | | | |
| 24 | 4 fibras/tubo y 6 fibras/tubo | 14.9 | 220 | |
| 36 | 6 fibras/tubo | 14.9 | 220 | |
| 72 | 12 fibras/tubo | 17.7 | 330 | |

TM4

Las características de cables de fibra óptica tipo TM4 son los siguientes:

| Numero de fibras | Numero de fibras por tubo | Diámetro del cable (mm) | Peso aprox. (kg/km) | Longitud del cable en carrete (m) |
|------------------|--|-------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| 6 | 2 fibras/tubo y 3 de relleno 6 fibras/tubo y 5 de relleno | | | |
| 12 | 2 fibras/tubo | 16.2 | 290 | |
| 18 | 6 fibras/tubo y 3 tubos de relleno | 17.3 | 310 | |
| 24 | 4 fibras/tubo y 6 fibras/tubo | | | |
| 36 | 6 fibras/tubo | | | |
| 72 | 12 fibras/tubo | | | |

TM7

Las características de cables de fibra óptica tipo TM7 son los siguientes:

| Numero de fibras | Numero de fibras por tubo | Diámetro del cable (mm) | Peso aprox. (kg/km) | Longitud del cable en carrete (m) |
|------------------|--|-------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| 6 | 2 fibras/tubo y 3 de relleno 6 fibras/tubo y 5 de relleno | 11.5 | 250 | 4,200 |
| 12 | 2 fibras/tubo | 13.0 | 2.70 | 4,200 |
| 18 | 6 fibras/tubo y 3 tubos de relleno | 13.0 | 2.70 | 4,200 |
| 24 | 4 fibras/tubo y 6 fibras/tubo | | | |
| 36 | 6 fibras/tubo | | | |
| 72 | 12 fibras/tubo | | | |

TM8

Las características de fibra óptica tipo TM8 son los siguientes:

| Numero de fibras | Numero de fibras por tubo | Diámetro del cable (mm) | Peso aprox. (kg/km) | Longitud del cable en carrete (m) |
|-------------------------|------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|--|
| | 2 fibras/tubo y 3 de relleno | 13.5 | 330 | 4,200 |
| | 2 fibras/tubo | 15.5 | 350 | 4,200 |
| | 6 fibras/tubo y 3 tubos de relleno | 18.0 | 370 | 4,200 |
| 24 | 4 fibras/tubo y 6 fibras/tubo | | | |
| 36 | 6 fibras/tubo | | | |
| 72 | 12 fibras/tubo | | | |

Características de las fibras ópticas

Como se vio en el capítulo 1, existen varios tipos de fibras ópticas, cada una con características específicas para utilizarse en diferentes sistemas.

Los cables de fibras ópticas que se utilizan en TELMEX contienen fibras monomodo de dispersión normal y de dispersión corrida, como se muestra en las tablas anteriores.

A continuación tenemos las características de cada una de ellas.

Fibra óptica monomodo de dispersión normal

Las características más importantes de la fibra óptica monomodo, de dispersión normal, que se encuentran en los cables ópticos TM1 y TM4, se muestran en la siguiente tabla.

| Características | Rango o medida |
|---------------------------------------|---|
| Atenuación | <dB/km @ 1300-1310nm <dB/km @ 1550nm |
| Longitud de onda de corte de fibra | 1190 nm $<\lambda_c < 1330$ nm |
| Diámetro del modo propagación | 9.30 \pm 0.5 μ m @ 1300nm |
| Longitud de onda de dispersión cero | 1301.5 nm $<\lambda_o < 1321.5$ nm |
| Diámetro del núcleo | 8.3 μ m |
| Diámetro del revestimiento | 125.0 \pm 2.0 μ m |
| No circularidad del revestimiento | <2% |
| Diámetro de protección primaria | 250 \pm 15 μ m |
| Concentricidad de protección primaria | >0.70 |
| Índice de refracción | 1.470 @ 1300nm |

Fibra óptica monomodo con técnica de dispersión corrida

Las características más importantes de la fibra óptica monomodo de dispersión corrida, en los cables ópticos identificados como TM7 y TM8, tiene las siguientes características.

| Características | Rango o medida |
|---------------------------------------|---|
| Atenuación | 0.25 dB/km @ 1550nm |
| Longitud de onda de corte de fibra | 1200nm \pm 100nm |
| Diámetro del modo propagación | 8.10 \pm 0.65 μ m @ 1500nm |
| Longitud de onda de dispersión cero | ≤ 2.7 ps (nm•km) rango de 1525 a 1575 nm |
| Diámetro del revestimiento | 125.0 \pm 2 μ m |
| No circularidad del revestimiento | <2% |
| Diámetro de protección primaria | 250 \pm 15 μ m |
| Concentricidad de protección primaria | \geq 0.70 |
| Índice de refracción | 1.476 @ 1550nm |

Código de colores

Descripción

En TELMEX encontramos, cables para exteriores con la siguiente estructura.

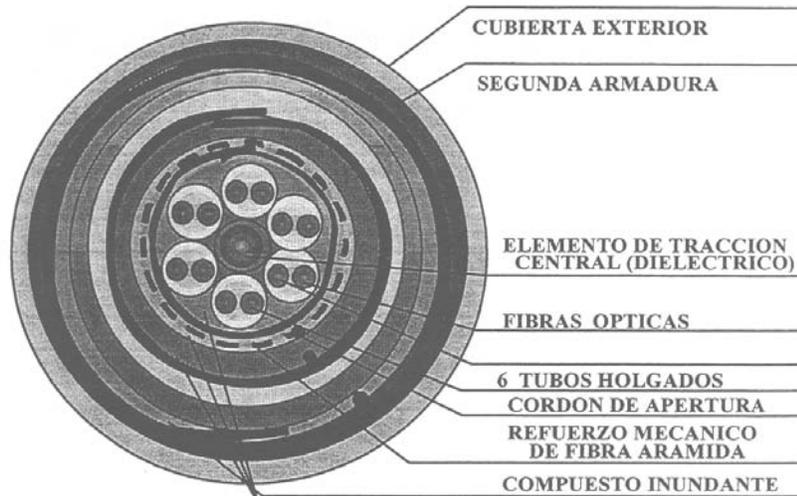


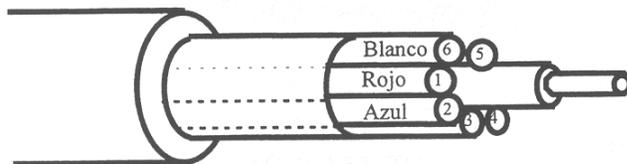
Fig. 2.8

Este tipo de cable es llamado comúnmente, cable de tubo holgado, la capacidad varía de 6 a 72 fibras ópticas. Para evitar confusión en el empalme de cables ópticos, es necesario identificar cada fibra de acuerdo a un código de colores.

El código de colores varía dependiendo del fabricante y de la estructura del cable. A continuación tenemos las tablas con el código de colores, para los cables de tubo holgado.

Cable de tubo holgado

El código de colores en este cable empieza por enumerar los tubos de acuerdo a la siguiente tabla.



| Número de tubo | Color |
|----------------|--------|
| 1. | Rojo |
| 2. | Azul |
| 3. | Blanco |
| 4. | Blanco |
| 5. | Blanco |
| 6. | Blanco |

Fig. 2.9

A partir del segundo semestre de 1994 el código para los tubos es el siguiente:

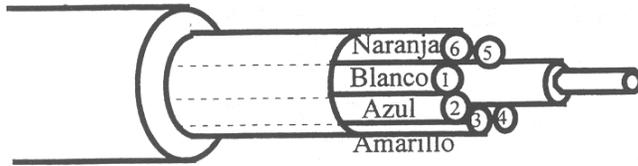


Fig. 2.10

| Número de tubo | Color |
|----------------|----------|
| 1. | Blanco |
| 2. | Azul |
| 3. | Amarillo |
| 4. | Rojo |
| 5. | Verde |
| 6. | Naranja |

Dentro de cada tubo el código de colores para las fibras ópticas no cambia y se muestra a continuación:

| Número de fibra | Natural |
|-----------------|----------|
| 1. | Natura |
| 2. | Azul |
| 3. | Amarillo |
| 4. | Rojo |
| 5. | Verde |
| 6. | Naranja |
| 7. | Violeta |
| 8. | Café |
| 9. | Gris |
| 10. | Negro |
| 11. | Rosa |
| 12. | Blanco |

Cable unitubo

El cable unitubo es de pequeñas dimensiones debido a su estructura. Las principales partes que componen este cable se ven en la siguiente figura.

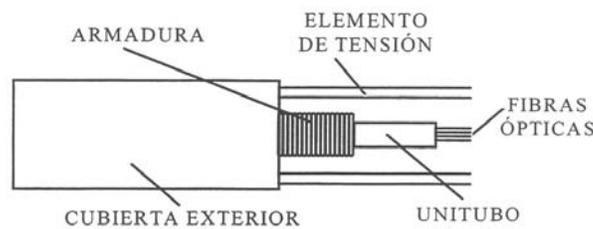


Fig. 2.11

- Contiene dos elementos de tensión laterales, que le dan soporte y resistencia a la tracción longitudinal y transversal.
- Armadura de tipo corrugado, para protección contra roedores.
- La cubierta secundaria consiste de un solo tubo holgado, con diámetro aproximado de 1 cm.
- Como bloqueo contra la humedad se utiliza el de petrolato.

- En el interior de la cubierta secundaria, se encuentran las fibras ópticas con cubierta primaria e inundada con gel de petrolato.

Las fibras ópticas en este tipo de cable se agrupan con cintas identificadores de colores, de acuerdo a la siguiente tabla.

| No. de fibra | Lxe. (A.T.&T) | Unitubo Alcatel |
|--------------|--------------------|-----------------|
| 1. | Gpo. Azul. Azul | Azul |
| 2. | Naranja | Naranja |
| 3. | Verde | Verde |
| 4. | Café | Café |
| 5. | Gris | Plata o Gris |
| 6. | Blanco | Blanco |
| 7. | Cpo. Naranja. Azul | Azul |
| 8. | Naranja | Naranja |
| 9. | Verde | Verde |
| 10. | Café | Café |
| 11. | Gris | Plata |
| 12. | Blanco | Blanco |
| 13. | Gpo. Verde. Azul | Azul |
| 14. | Naranja | Naranja |
| 15. | Verde | Verde |
| 16. | Café | Café |
| 17. | Gris | Plata |
| 18. | Blanco | Blanco |
| 19. | Gpo. Café. Azul | Azul |
| 20. | Naranja | Naranja |
| 21. | Verde | Verde |
| 22. | Café | Café |
| 23. | Gris | Plata |
| 24. | Blanco | Blanco |

Cable óptico submarino

Los cables submarinos tienden a convertirse en el principal medio de telecomunicación del próximo siglo, pues proporcionan mayor seguridad que los satélites y las microondas, son inmunes a la interferencias y operan con mayores capacidades y velocidades de transmisión.

En diciembre de 1994 fue puesto en operación el Sistema Trasatlántico de Cable Submarino de Fibra Óptica Columbus II, por medio del cual Teléfono de México proporciona a los clientes mayor confiabilidad y seguridad en sus comunicaciones de larga distancia internacional, con menores interferencias y mayor calidad, desde hoy hasta el año de 2015.

Este cable submarino es capaz de transmitir señales de voz, datos e imágenes, con una capacidad de 23 mil canales, lo que representa incrementos del 500% en capacidad y velocidad con respecto a los medios disponibles actualmente. Con ello se pueden transmitir simultáneamente hasta 320 mil llamadas telefónicas y opera una velocidad de transmisión de 565 Mb por segundo por cada par de fibra.

Su extensión total es de 12.200 km, con puntos de amarre en Cancún, México, Estados Unidos, España, Portugal e Italia. Tiene una vida útil de 25 años y una confiabilidad de solo cuatro fallas de diseño en dicho lapso.

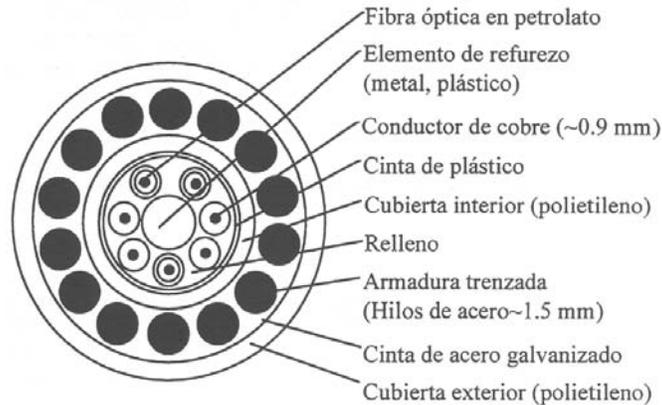
Desde junio de 1995 el 65% de tráfico internacional ente México y Europa que anteriormente se manejaba vía satélite, se transmite a través del nuevo sistema de cable submarino de fibra óptica Columbus II.

El Columbus II representa el más ambicioso proyecto multinacional impulsado por una empresa hispanoamericana para proporcionar servicios de transmisión avanzada y satisfacer las necesidades de comunicación desde ahora y hasta más allá de los albores del próximo siglo.

Estructura de los cables submarinos

Los cables submarinos requieren diseños apropiados a las exigentes condiciones mecánicas a que se ven sometidos. De hecho, la estructura del cable depende de que sea para aguas profundas o para la plataforma continental.

La siguiente figura muestra la estructura de este tipo de cable.



Estructura del cable submarino

Fig. 2.12

Se identifica un núcleo óptico (en este caso: 3 fibras) alrededor de un elemento central de refuerzo, este núcleo va encerrado dentro de un trenzado de hilos de acero y protegido por una cinta plástica y una cubierta de polietileno. Los hilos de acero se cubren con una cinta de acero, encima de la cual se aplica la cubierta exterior de polietileno.

Especificaciones técnicas

La tabla reúne algunas características mecánicas exigibles para estos tipos de cables, distinguiendo entre aguas profundas y plataforma continental.

| Parámetro | Cable para aguas profundas | Cable de plataforma continental |
|---------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Resistencia a la tracción | 9-11 TM | ≅ 8TM |
| Elongación máxima | ≤ 0.5% | ≤ 0.65% -0.5% |
| Radio de curvatura | ≤ 0.75% | ≤ 1.25 m |
| Carga lateral | ≥ 15TM/M | ≥ 6TM/m |
| Profundidad máxima | 7-8000 m | |

2.2 Empalmes

Las uniones de fibras pueden ser fijas o temporales, en las primeras la unión se lleva a cabo por un empalme permanente, y en las segundas se utilizan conectores que pueden ser removibles.

El tipo de unión que se elija dependerá de las necesidades y de la instalación por ejemplo, si se requiere una unión permanente de tramos largos de fibra óptica con muy bajas atenuaciones, se hace un empalme de fusión, por otra parte cuando se necesita reparar rápidamente un corte de fibra, se utilizaran los empalmes mecánicos.

Se habla de empalmes cuando se refiere a una interconexión permanente de fibras ópticas. Cuando se realiza la interconexión entre fibras, los núcleos deben estar alineados entre si para tener un empalme de bajas pérdidas. El pequeño diámetro de las fibras hace de este factor un elemento crítico.

Tipos de empalmes

Los tipos de empalme de fibras ópticas que se manejan actualmente son:

- Empalmes sobre sustrato ranurado (Mecánico)
- Empalmes de fusión por arco eléctrico.

En la Fig.1 se muestra en forma sencilla los dos tipos de técnica de empalme.

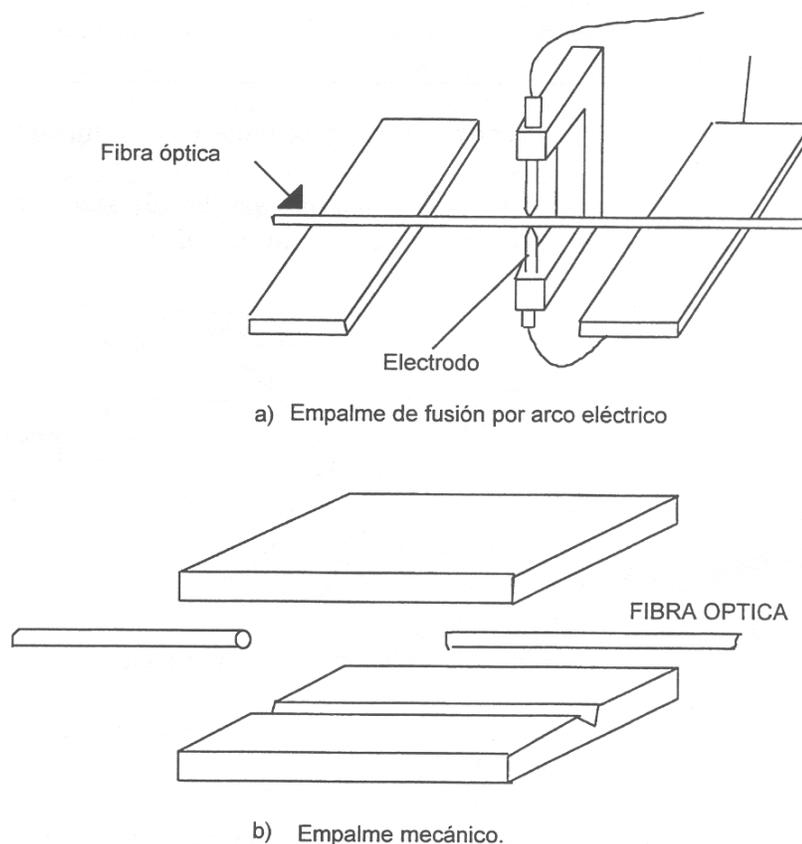


Fig. 2.13 Tipos de empalmes

Empalmes mecánicos.

Cuando se tiene un corte de fibra óptica, y se necesita restablecer inmediatamente el servicio, utilizaremos empalmes mecánicos. Este tipo de empalme no debe ser permanente, debido a las pérdidas que produce.

En enlaces de corta distancia, donde se pueden tolerar pérdidas considerables, se utilizan empalmes mecánicos en los cuales las fibras son unidas a través de diferentes métodos como:

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

Métodos de varillas

Este es uno de los primeros métodos utilizados de empalmes mecánicos. Por lo general se utilizan tres, o más varillas (de acero o vidrio), acomodadas según la Fig.2, para que en el orificio central se alinien las fibras a unir.

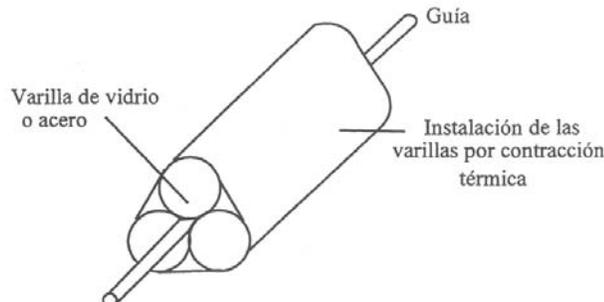


Fig. 2.14 Empalme mecánico por método de varillas.

Se puede agregar una sustancia epóxica para adherir las fibras y además actuar como acoplador óptico.

Las varillas son de un diámetro mucho mayor que el de la fibra y deben tener dimensiones muy precisas con tolerancias menores a $0.04 \mu\text{m}$.

Métodos de ranura en V

El método más usado de empalme mecánico es el de ranura en V (V-Groove), en el que las fibras ya cortadas y preparadas se colocan en ambos extremos de una ranura acanalada en forma de V, que alinea las fibras para la unión, y se agrega un adhesivo con un índice de refracción igual al del núcleo de la fibra.

La unión se logra mediante una tapa que sujete las fibras, manteniéndolas en contacto. El material acanalado puede ser silicón, material cerámico, acero o aluminio. Las fibras se unen en la mitad del canal y se ponen en contacto con la ayuda de bloques móviles; supervisando la unión ya sea a simple vista o con una lupa.

Existen distintos tipos de empalmes con el método de ranura en "V", el más sencillo utiliza una tapa plana, como la mostrada en la figura a). También puede utilizarse una tapa con otra ranura en "V" como se ve en la figura b) e inclusive existe un diseño con 3 secciones ranuradas (ver las

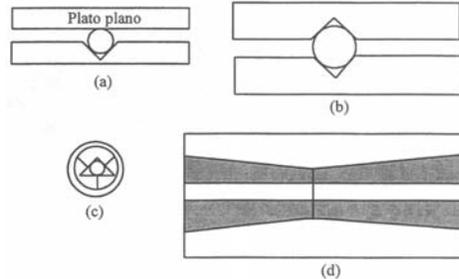


Fig. 2.15 Empalme mecánico por ranura en V

figuras c) y d)), éstas ofrecen una alineación de la fibra en forma más precisa, con la desventaja que requieren de precisión lo cual, eleva el costo.

En este método se tiene la limitación de unir sólo fibras con diámetros de revestimiento iguales con una alta concentricidad. Las ventajas del método son: su facilidad y su rapidez de elaboración.

Método elastomérico

Otro método de empalme es el elastomérico, que consiste en dos tubos de materiales elásticos con un pequeño orificio en el centro y de diámetro ligeramente menor que el del revestimiento de la fibra, con un ensanchamiento en ambos extremos del orificio para facilitar la inserción de la fibra. Cuando se efectúa la inserción, el diámetro del orificio se expande de tal forma, que el material elástico ejerce una fuerza simétrica sobre la fibra. Esta pureza hace que los ejes de las fibras a unir, queden automáticamente alineadas sin importar si son de diferente diámetro.

Además, con ello se eliminan las fallas angulares y radiales reduciendo las pérdidas en el empalme. Ver la Fig.4.

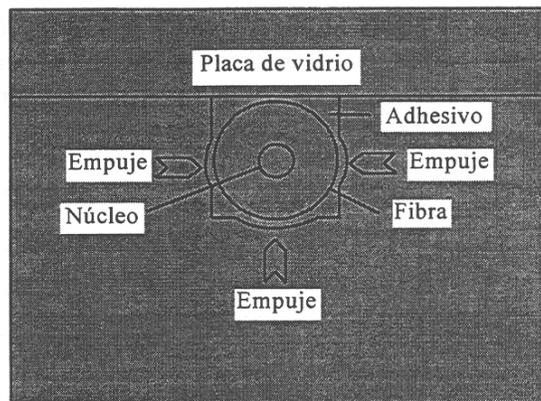


Fig.2.16 Placa de vidrio

Empalmes de fusión

El empalme por fusión es el método más utilizado y consiste en aplicar calor en una zona específica entre las fibras a unir, suavizándolas y fusionándolas. Las fibras deben prepararse precisamente en sus extremos quitándoles las cubiertas secundaria y primaria, cortando las caras de los extremos para que estén planas y perpendiculares al eje limpiando la fibra de grasa y polvo.

Para aplicar calor a la unión, se utiliza principalmente un arco eléctrico aunque también se tiene fusión por gas o por láser. Para evitar movimientos indeseables de la fibra, ésta es sujeta por un sistema de bloques móviles o por sujetadores mecánicos.

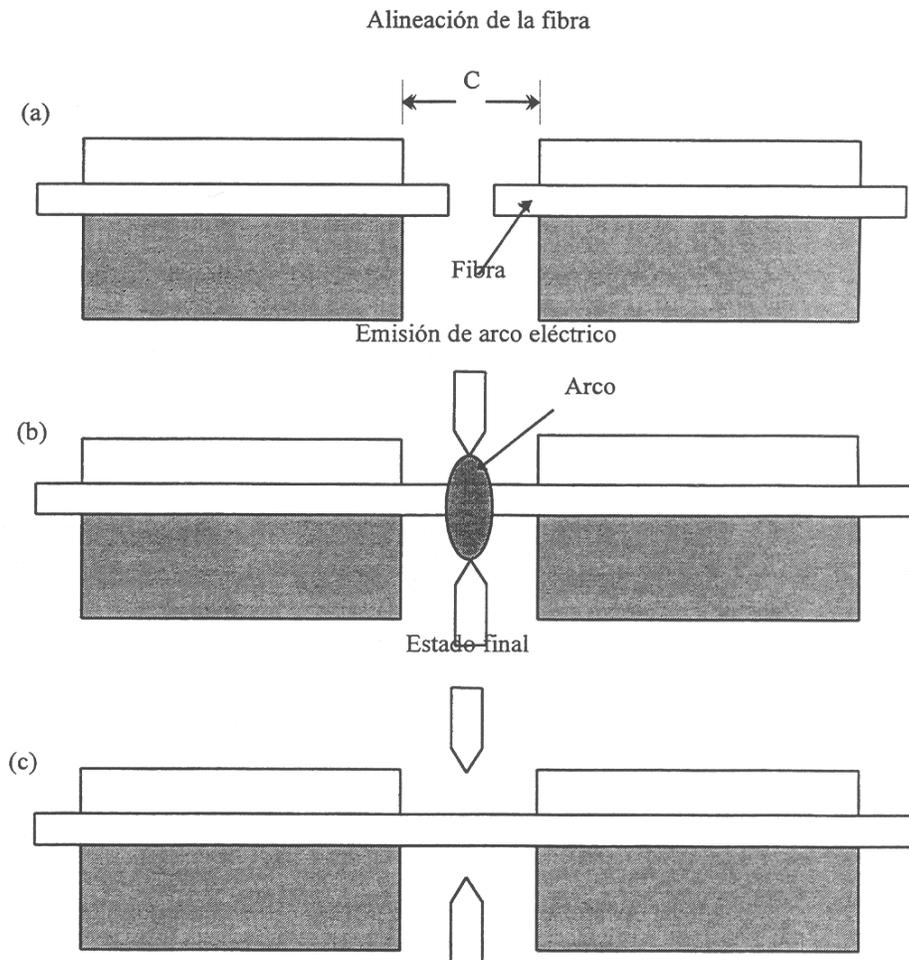


Fig. 2.17 Proceso de empalme

Cuando los extremos de las fibras presentan imperfecciones pueden generarse burbujas de aire y deformaciones del núcleo durante la elaboración del empalme. Para evitarlo, se hace un pre-fusión, la cual consiste en aplicar calor durante un lapso muy pequeño, mucho menor que la fusión, con la que se redondean los extremos suavizando su superficie, evitando con esto las imperfecciones mostradas en las figuras.

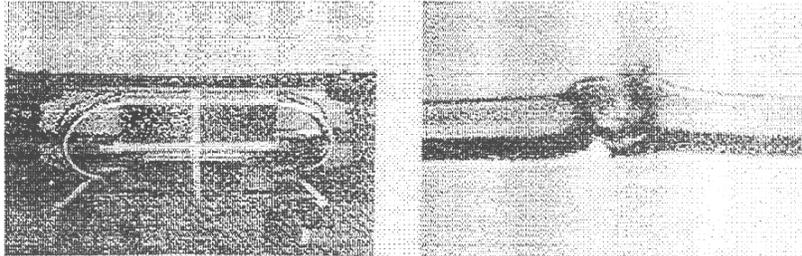


Fig. 2.18 Imperfecciones en un empalme

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



Empalme angosto por
exceso de distancia entre los extremos



Empalme redondo por
exceso de arco y/o alimentación de fibra

Fig.2.19 Fallas intrínsecas

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

Una vez hecho el empalme por fusión este se debe proteger con una manguita termo contráctil que sustituya las cubiertas primaria y secundaria de la fibra y además almacenarse de tal forma que no reciba esfuerzos de tensión.

Empalmadora de fusión

A partir de finales de los 70's, se comenzaron a desarrollar las primeras máquinas para empalmar fibras ópticas por fusión. El principio básico con el cual son diseñadas, es la aplicación de calor en el punto de unión de las fibras, para la fusión de éstas.

La siguiente figura muestra el mecanismo de alineamiento de la fibra óptica en la empalmadora de fusión.

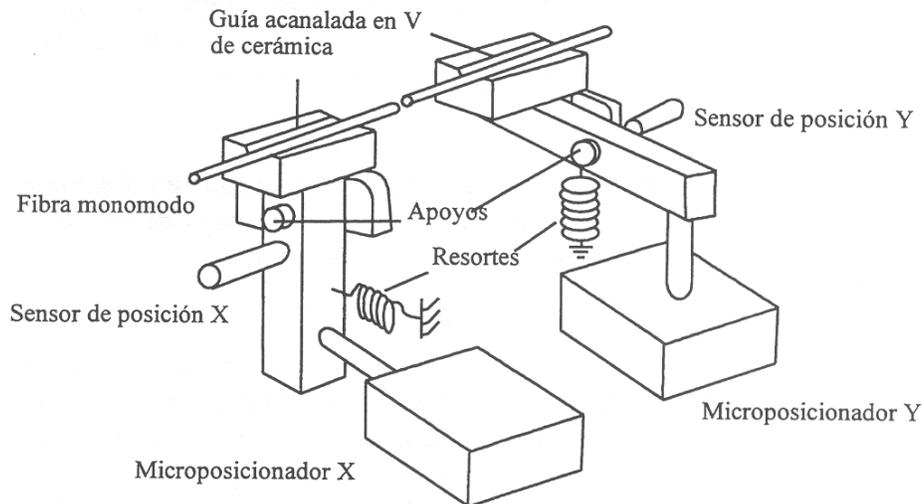


Fig. 2.20

Con ello se tiene una unión permanente y no requiere materiales adicionales como pegamentos.

Parámetros

Para poder lograr una unión con pérdidas aceptables, la máquina para empalmar debe manejar y monitorear varios parámetros, como son:

Posición Con el objeto de alinear las fibras para tener un buen empalme, se utilizan posicionadores de presión en las tres dimensiones, como se observa en la figura anterior.

Calor Para regular la cantidad de calor aplicado al punto de unión de las fibras, se manejan 2 parámetros, el tiempo de aplicación de la fuente de calor y la intensidad de fuente de calor.

Las fuentes de calor han variado conforme se han desarrollado las máquinas para empalmar, comenzando primero con fusión por gas, después por arco eléctrico formado por dos electrodos y finalmente se ha desarrollado la aplicación del láser para la fusión.

El primer método, resultó con grandes pérdidas ya que el mismo quemador de gas generaba impurezas en la unión de las fibras. El último método es aún muy costoso aunque sigue en desarrollo. Por lo que el método de fusión por arco eléctrico es el comúnmente utilizado, en él se controla la corriente aplicada a los electrodos.

Alineamiento Para poder alinear la fibra se debe utilizar un sistema de monitoreo, el cual por lo general está construido por un juego de espejos y lentes amplificadas por un microscopio o una pequeña cámara de video.

Estimación de pérdidas Con el desarrollo de estos equipos, se han facilitado los procesos para elaborar el empalme, automatizándose cada vez más el funcionamiento, poder estimar las pérdidas en el empalme, tener un equipo ligero, manejable y compartido con toda clase de fibras, sobre todo con pérdidas cada vez menores.

Evolución de los empalmes

En la evolución de los empalmes por fusión, se han establecido “generaciones de empalmadoras”

Primera generación

Así, la primera generación la constituye el sistema totalmente manual en donde el operador alinea las fibras observando éstas a través de un microscopio. Para la medición de las pérdidas en el empalme se tiene el equipo de medición de enlace, el cual puede estar a varios kilómetros de distancia.

Segunda generación

La segunda generación, agrega un sistema de inyección de detección de luz (LID). Este se basa en el comportamiento óptico de la fibra al curvarse.

En la fibra, al sufrir un doblez, varía el ángulo de incidencia de la luz sobre el revestimiento, dando como resultado que parte de la luz pueda entrar o salir al exterior de la fibra. Para inyectar la luz se dobla la fibra en un diámetro de al menos 8 mm, pero no menor de 6 mm, para que la fibra no sufra una tensión excesiva.

Con este sistema se pueden alinear incluso las fibras con núcleos excéntricos, ya que lo que se compara es la cantidad de luz que se transmite de un núcleo a otro. El equipo utilizado comúnmente tiene un sistema con el cual se puede tener una evaluación de las pérdidas obtenidas en el empalme, en base a comparar referencias de campo y así saber si un empalme es bueno o no.

Tercera generación

Una tercera generación surgió con el sistema de alineamiento de perfiles de índice de refracción (PAS-Profile Alignment System) El sistema reemplaza el microscopio por una cámara de video donde se obtiene una señal de posición de los núcleos de las fibras a unir.

Esta señal se utiliza para alinear automáticamente las fibras. De esta forma, la alineación puede efectuarse a diferencia de la generación anterior, sin doblar ni comprimir la fibra.

El sistema también hace estimaciones de las pérdidas en el empalme. Sin embargo, estas estimaciones no siempre corresponden a las pérdidas reales, leídas por un OTDR, ya que solamente consideran dos parámetros para la estimación, de las diferencias de nivel y las compensaciones del núcleo y del revestimiento.

Además de que la estimación se efectúa fuera del área crítica donde se efectúa el empalme. Por ello, es conveniente utilizar un equipo de medición para determinar las pérdidas reales.

Cuarta generación

Existe ya un equipo de empalme por fusión desarrollado por ERICSSON, el cual se considera de cuarta generación. Es este equipo, la estimación se hace en la zona crítica del empalme y además toma 7 parámetros para elaborar la estimación a saber:

Tipo de deformación en el núcleo, amplitud de la deformación y su longitud, la diferencia de nivel del núcleo y el revestimiento y variación de diámetro exterior y de la línea vertical blanca que aparece en la zona de empalme.

Como la estimación se efectúa precisamente en el momento de la fusión, el sistema se denomina procesamiento de imagen del empalme caliente. (WSIP- Warm Splice Image Processing) La imagen también procede de una cámara de video, la cual alimenta a un microprocesador, para que efectúe la alineación automática mediante servomotores de precisión y haga la estimación de las pérdidas en la unión.

La empalmadora de fusión FSU-900 se considera de cuarta generación, tiene un 5% de error con respecto a la medición hecha en un OTDR.

El tiempo que toma el equipo para elaborar el empalme y estimarlo es de alrededor de 1 minuto. No requiere de personal especializado y tiene capacidad de cambiar todos los parámetros para elaborar el empalme como son tiempos y corrientes de fusión. Estos cambios se puede hacer, vía teclado, incorporado a la máquina.

Otra ventaja a la que también se ha llegado con este equipo es su poco peso (alrededor de 7 kilos), su durabilidad, posibilidad de observar el empalme en un monitor, posibilidades de empalmar distintos tipos de fibras o fibras de perfil de índice de refracción llamado hundido.

Perdidas en empalmes de fibra óptica.

Clasificación

Por las causas que las provocan, las pérdidas pueden dividirse en: extrínsecas e intrínsecas.

Pérdidas extrínsecas

Las pérdidas extrínsecas a la fibra son causadas por desalineamiento mecánico de la unión de las fibras. Este desalineamiento causa pérdidas de radiación ya que el cono de radiación de la fibra emisora no compagina con el cono de aceptación de la fibra receptora.

Existen tres tipos principales de desalineamiento:

1. **Separación longitudinal**, la cual ocurre cuando las fibras a unirse están sobre un mismo eje, pero tienen un espacio entre las caras de sus extremos.

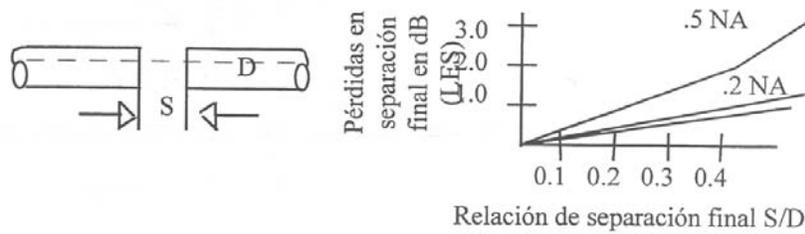


Fig. 2.21 Falla longitudinal

2. **Desalineamiento o falla angular**, la cual sucede cuando los ejes de las fibras forman un ángulo y las caras de los extremos de las fibras dejan de estar paralelas. Ver Fig. 14

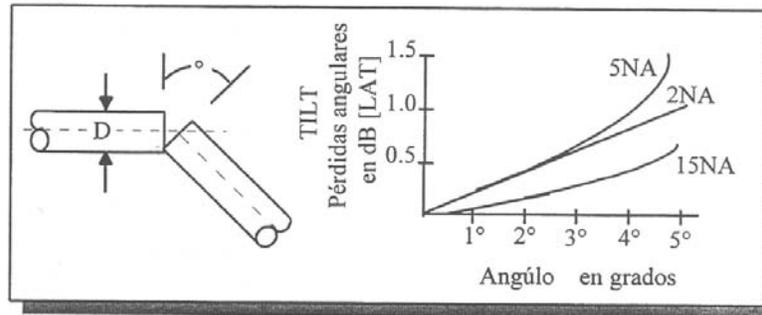


Fig. 2.22 Falla angular

3. **Desplazamiento o falla axial**, en donde los ejes de las fibras no están colineales sino que está separadas paralelamente por una distancia determinada ver Fig. 15

Esta última falla es la más usual y a su vez, la que genera más pérdidas, ya que al reducir el área del traslape entre los núcleos de las fibras, se disminuye la potencia óptica que pasa de la fibra transmisora a la receptora.

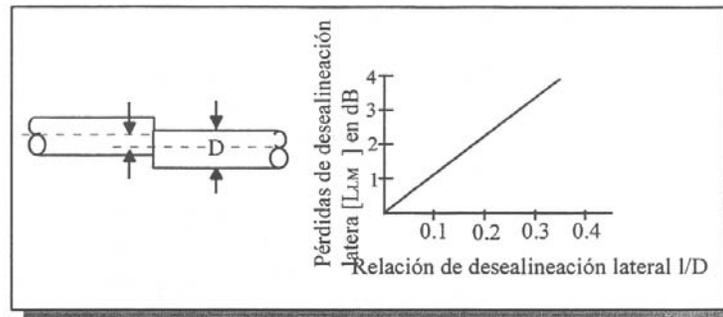


Fig. 2.23 Falla axial

Las pérdidas que se generan por desalineamiento mecánico en la unión de fibras, están en función del método o los instrumentos utilizados para unir las fibras. También deben considerarse como causa de pérdidas, las imperfecciones superficiales en las caras de los extremos de las fibras a unir, ya sea en empalmes o conectores. Por ello es importante preparar adecuadamente estas caras para evitar deflexiones o reflexiones en la unión de las fibras.

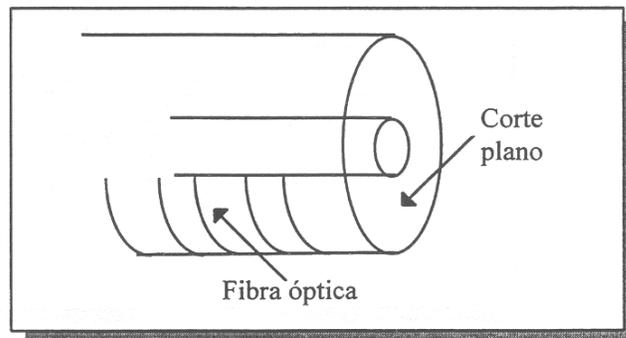


Fig. 2.24 Corte plano

Pérdidas intrínsecas

Por otra parte, las pérdidas intrínsecas son ocasionadas por variaciones en la geometría de la fibra y sus características de diseño, estas pérdidas también tienen un efecto importante en las pérdidas totales del sistema.

Los parámetros de variación en la geometría son:

1. Deformaciones del núcleo.
2. Elipticidad del núcleo.
3. Apertura numérica.
4. Perfil del índice de refracción.
5. Concentricidad del núcleo y el revestimiento, como se muestra en la Fig. 17

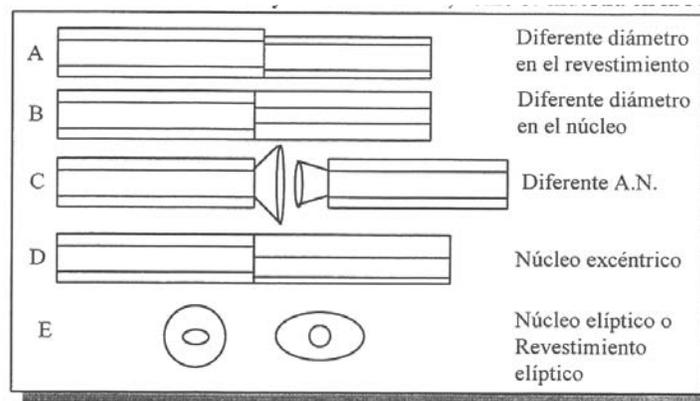


Fig. 2.25 Diagrama mostrando las posibles pérdidas causadas por propiedades intrínsecas de las fibras.

De estos parámetros, los que generan mayores pérdidas son las variaciones del diámetro del núcleo, sobre todo cuando la fibra transmisora tiene un núcleo de mayor tamaño que la fibra receptora, y la variación de apertura numérica, ya que si la fibra transmisora tiene una apertura numérica mayor que la fibra receptora, toda la potencia óptica que se salga del cono de aceptación de la fibra receptora estará pérdida.

Este tipo de pérdidas son causadas por la fibra durante su proceso de fabricación, y la forma de disminuirlas es mediante la utilización de fibras ópticas de alta calidad, que cumplan con rigurosas especificaciones y aseguren pérdidas intrínsecas despreciables al unirlos entre sí.

2.3 Conectores y distribuidor de fibras ópticas

Los conectores son principalmente usados para conectar una fibra a un transmisor o un receptor. La preparación e un conector óptico (por ejemplo, la instalación de la fibra, el pulido, etc.) requieren cierta práctica.

La mayoría de los conectores existentes se basan en la técnica de acoplamiento, su principal ventaja radica en que no se degradan.

Además, no son tan sensibles a la presencia de polvo como los conectores a tope.

Tipos de Conectores.

Cuando se requiere unir dos fibras ópticas en forma rápida y temporal, se utilizan los conectores. Estos, en base a sus principios de diseño, se pueden dividir en dos tipos de conectores:

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

En el primer caso, se utilizan estructuras que requieren de precisión lateral, azimutal y longitudinal para lograr el alineamiento requerido de la fibra. En el segundo caso, se utilizan lentes para ayudar en el alineamiento de las dos fibras a unir, logrando mejores tolerancias angulares.

Los conectores más utilizados son los de primer tipo, y e él se encuentran muchas variedades que combinan costos, pérdidas ópticas, durabilidad, etc. Las variedades más comunes según la estructura del conector son:

- Conector de Férula o Casquillo.
- Conectores Bicónicos.
- Conectores D4.
- Conectores de Excentricidad Ajustable.

Conectores de férula o casquillo

En estos conectores, la fibra óptica se coloca dentro de una casquilla protectora de precisión. En la unión se deben alinear los casquillos y cuidar que los extremos del conector estén pulidos.

Se debe mantener la concentricidad entre la fibra y el casquillo, ya que de ello dependen las pérdidas en el conector. El conector FC (férula o casquillo), en donde la fibra es descansada en un casquillo que contiene en su interior una capilaridad concéntrica encargada del centrado y fijación de la fibra.

Al montar la fibra al conector, la fibra es preparada con resina epóxica en la cavidad del casquillo para lograr la fijación adecuada de la fibra. El casquillo es de cerámica por lo general cubierta de acero.

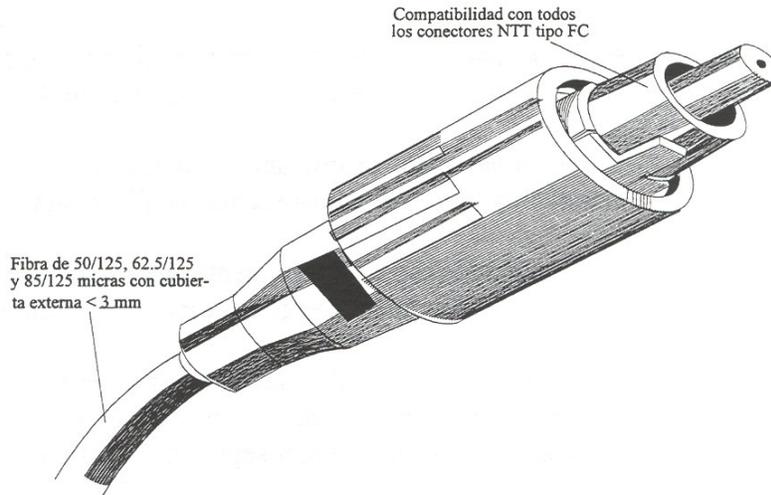


Fig.2.26 Conector F.C

Requiere de un pulido en equipo automatizado. Tiene pérdidas entre 1 y 0.6 dB para fibras monomodo. Se pueden lograr menores pérdidas mejorando la técnica de pulido presentando una superficie más plana. Es altamente durable (1000 inserciones)

El diseño FC-PC (Physical Contact), presenta en la punta del casquillo, en lugar de una superficie plan, una superficie esférica de un radio aproximado de 60 mm, para que las fibras estén en un real contacto físico en la unión. Este factor reduce las reflexiones y las pérdidas llegando a tener menos de 0.5 dB por conector. Se utiliza en transmisión de voz y datos en alta velocidad, (tiene alta durabilidad)

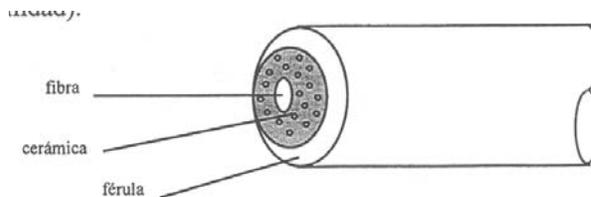


Fig.2.27 Férula PC

Conector SMA

El tipo SMA (Subminiatura-A) es un conector muy utilizado en equipo de transmisión de datos. Como su nombre lo indica, tiene un tamaño muy pequeño, además e buena durabilidad y amplia disponibilidad en el mercado.

Es uno de los conectores más fáciles de ensamblar, ya que requiere de un mínimo de herramientas y de habilidad. Sus pérdidas no son tan bajas como FC-PC y se encuentran entre 0.7 y 2 dB.

Además, se puede tener la cubierta externa del conector en distintos materiales dependiendo de la aplicación, pudiendo se de acero, bronce niquelado o plástico.

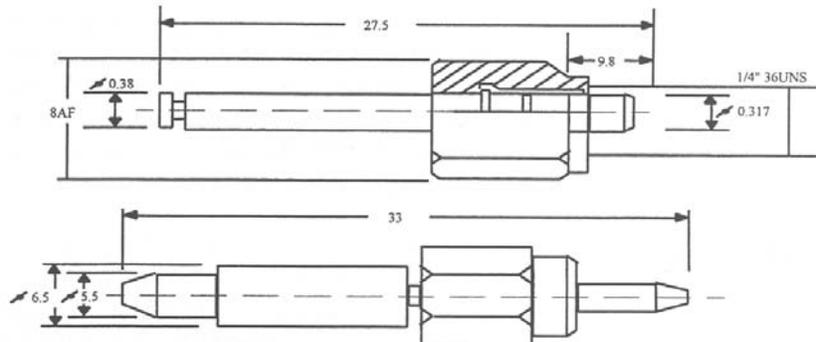


Fig.2.28 Estructura de un conector SMA

Conector D4

El conector D4 es similar al FC e inclusive tiene la versión D4-PC. Tiene pérdidas aproximadas de 0.7 dB y una durabilidad de 1000 inserciones. Se utiliza en equipo de telecomunicaciones.

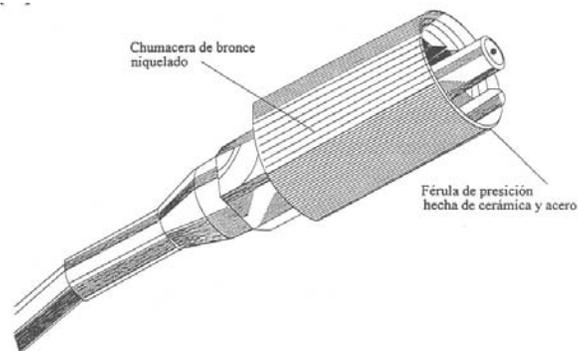


Fig. 2.29 D4-PC

Conector bicónico

Esta tecnología es ampliamente utilizada en al fibra multimodo para telecomunicación en transmisión de datos. Consiste en dos conos concéntricos que se encargan de alinear la fibra en el casquillo. Se obtienen pérdidas menores e 1 dB. El casquillo es de cerámica encapsulado en metal y la cubierta es de cuarzo combinado con metal epóxico. Incluye un resorte para ajustar el punto de contacto.

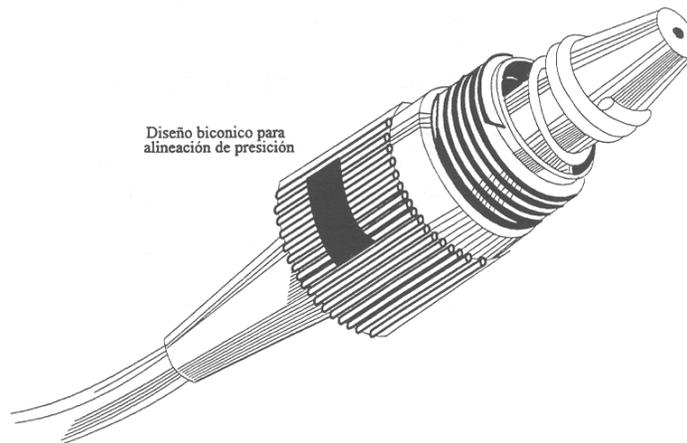


Fig. 2.30 Bicónico

Conectores de excentricidad ajustable

En estos conectores se logra un alineamiento transversal preciso al rotar una fibra con respecto a la otra, estando ambas fibras excéntricamente montadas.

El alineamiento óptico se logra cuando la señal monitoreada a través del conector es máxima. En estos casos se tienen pérdidas menores de 0.5 dB en fibras monomodo.

Una vez hecho el ajuste del conector para la fibra montada, se fija para que no sea alterada, aunque haya la necesidad de hacer nuevamente un ajuste, la mayor complejidad del conector y su mayor costo son desventajas, la precisión lograda mediante este método es única.

Como ejemplo de este tipo de conector es el fabricado por DIAMOND, el cual debe ajustarse el centrado de la fibra con un microscopio. Además contiene un casquillo que puede rotar 30° con respecto a todo el conector.

Otra variedad son los conectores RADIAL con tecnología OPTABALL, consiste en dos alineamientos, uno el de la fibra en el casquillo, donde se ajusta radialmente la fibra auxiliándose en el patrón de luz emitida por el conector al ser alimentado por una potente luz blanca.

El ajuste se hace mediante cuatro tornillos radiales diferenciales con auxilio de una herramienta especializada.

El segundo alineamiento se lleva a cabo entre los casquillos a unir, estos son insertados en una esfera con un orificio, asegurando así que los ejes axiales de ambos casquillos y ambas fibras coinciden.

A continuación se muestra la estructura de los conectores:

- Conector de excentricidad ajustable.
- Conector radial.

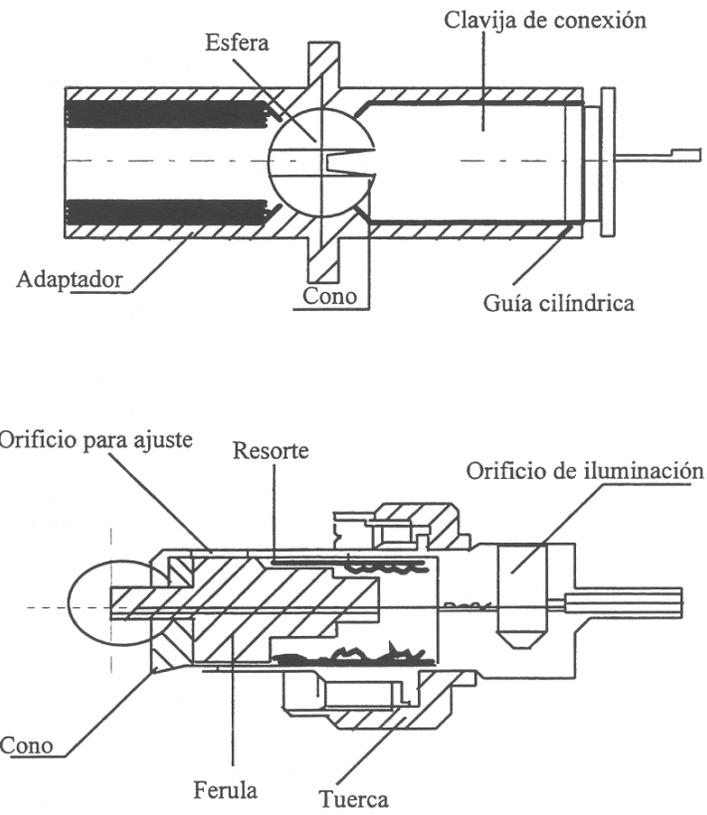


Fig. 2.31 Excentricidad Ajustable

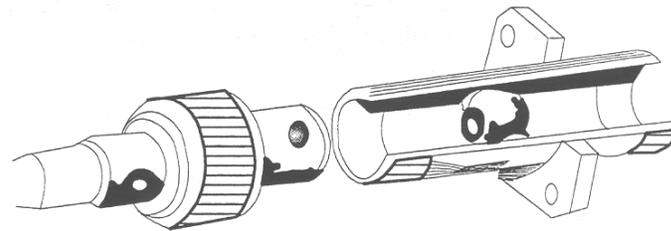


Fig. 2.32 Conector radial

Atenuador óptico.

En sistemas con trayectos de transmisión cortos la potencia óptica en las unidades de recepción es demasiado alta.

A fin de reducir esta potencia, se utiliza un atenuador óptico, que se coloca entre el cable (panel interfaz óptico) y la entrada del receptor.

Un atenuador óptico es un dispositivo que hace pasar por un filtro la luz transmitida de una fibra a otra, reduciendo así la potencia óptica.

Los filtros tienen valores de atenuación fijos: 6dB, 12 dB, 18 dB o 24 dB.

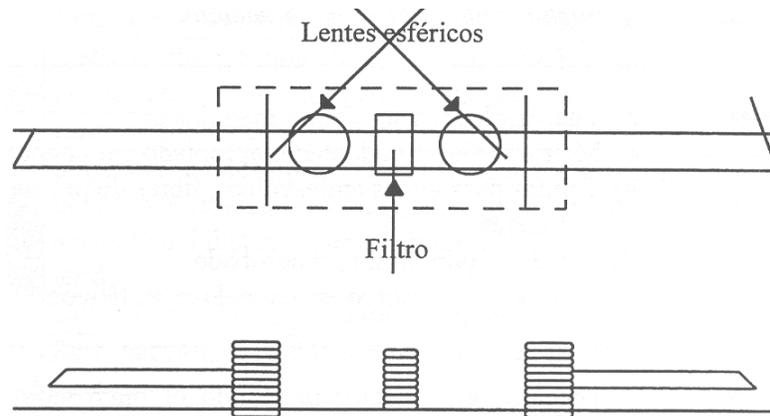


Fig. 2.33 atenuador óptico (LBO)

Existe otro atenuador que utiliza la separación o acercamiento de las fibras por ejemplo, el atenuador tipo "barrilito" Ericsson.

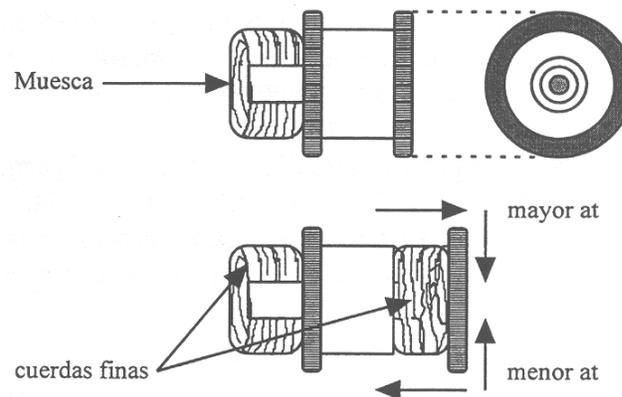


Fig. 2.34

Limpieza de los acopladores y conectores ópticos

📖 Antes de realizar cualquier inspección de un conector óptico, es esencial que se desconecte la fuente óptica. Esto se confirmara utilizando un medidor de potencia óptica para asegura que no exista potencia óptica en el conector antes de utilizar un microscopio.

👉 Todos los conectores ópticos se deben tratar con el máximo cuidado y mantenerse las más altas normas de limpieza, ya que de otra forma su funcionamiento se verá afectado seriamente. En caso de que un conector de la fibra, se desconecte, los extremos libres se DEBEN proteger con las capuchas cubre polvo, de inmediato.

Materiales

Son necesarios los siguientes materiales:

- a) Microscopio con adaptador apropiado para conector de fibra.
- b) Tejidos para lentes antiestáticos, libres e pelusa.
- c) Cotonetes.
- d) Solventes par limpieza aprobado.
- e) Removedor de polvo en aerosol (antiestático)

Inspección

Inspeccione el conector utilizando el microscopio. Existen dos problemas principales en cuanto a la basura en el conector óptico, el polvo y la grasa a los que se adhiere el polvo. El polvo aparece a manera de “manchas”, “escamas” o aún fibras (de telas o de cabello) La grasa aparece como “manchas” o “burbujas” y comúnmente se produce por huellas digitales.

Siempre que sea posible, deberá ser inspeccionado tanto la parte lateral como el borde de los casquillos con el fin de detectar ralladuras o raspaduras serias (visibles a simple vista). Después de esto, el casquillo deberá ser inspeccionado empleando un microscopio.

Se debe prestar particular atención al área central de la fibra. Generalmente, si el final de la fibra está lisa y libre de rajaduras, el casquillo estará en buen estado. Son permisibles ligeras picaduras en el revestimiento metálico, pero ninguna rajadura obvia o daño que se extienda al área central o núcleo.

Siempre habrá ciertas marcas de rayas en los conectores o en el cable de la fibra, sin embargo, las marcas de rayas que obviamente sean profundas, son usualmente evidencia de daño producido por cuerpos ajenos.

Si estas marcas son pronunciadas o se extienden de o hacia la fibra, entonces se debe retirar dicho conector y volver a terminar el cable.

Limpieza

Conector óptico

| Paso | Acción |
|------|---|
| 1. | Limpia el polvo utilizando el removedor de polvo en aerosol. |
| 2. | Inspecciona nuevamente. En caso de que haya evidencia de polvo persistente vuelve a limpiar con un paño seco. |
| 3. | Limpia el polvo. |
| 4. | Inspecciona nuevamente. En caso de que exista grasa o suciedad persistente (marcas de dedos, etc.) aplica una pequeña cantidad de solvente del dispensador en un tejido y limpia el conector con el tejido. |
| 5. | Quita todo el polvo utilizando el removedor de polvo en aerosol. |
| 6. | Reinspecciona y repite el procedimiento de limpieza, en caso de se necesario. |

Acoplador óptico

| Paso | Acción |
|------|--|
| 1. | Inspecciona y, en caso de ser necesario, procede de (1) a (6) de la tabla anterior. |
| 2. | Limpia todo el polvo utilizando el removedor para polvo en aerosol. |
| 3. | Vuelve a inspeccionar. En caso de que exista suciedad o grasa persistente, primero retira los sellos (en caso de estar adaptados) utilizando un palillo de madera. Aplica parte de solvente en la punta de un cotonete y limpia la basura. |
| 4. | Limpia todo el polvo seco. |
| 5. | Vuelve a reinspeccionar y repite el procedimiento de limpieza, en caso necesario. |

Distribuidor de Fibras Ópticas (D.F.O.)

El D.F.O. tiene como objetivo la interconexión de la Red con el Terminal Óptico. Esta interconexión es efectuada por medio de empalmes de fusión. El D.F.O. Fundamentalmente lo constituye el BASTIDOR y las cajas de DISTRIBUCIÓN.

En las cajas de distribución se alojan los empalmes de fusión (Interconexión Red-Terminal Óptico)

En los D.F.O. se conectan los equipos de medición (OTDR y/o medidor de potencia óptica) con ayuda de un JUMPER óptico con conectores tipo FC.

Las conexiones de los cables ópticos, en D.F.O. se harán de arriba hacia abajo por un lado el cable y por otro el pig tail óptico.

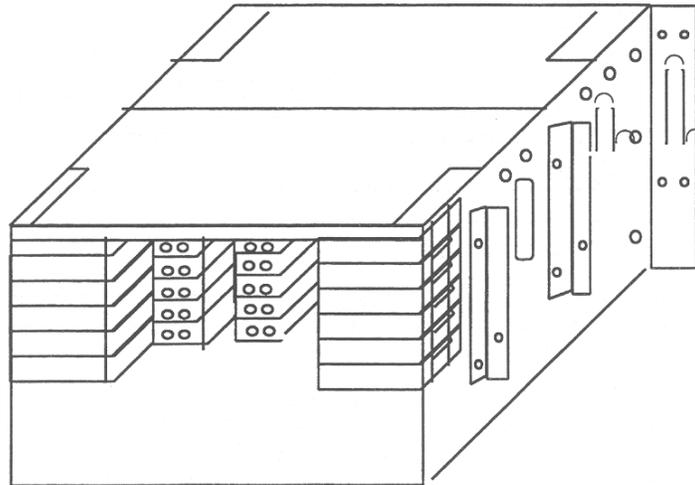


Fig. 2.35 Distribuidor de fibras ópticas.

Diagramas

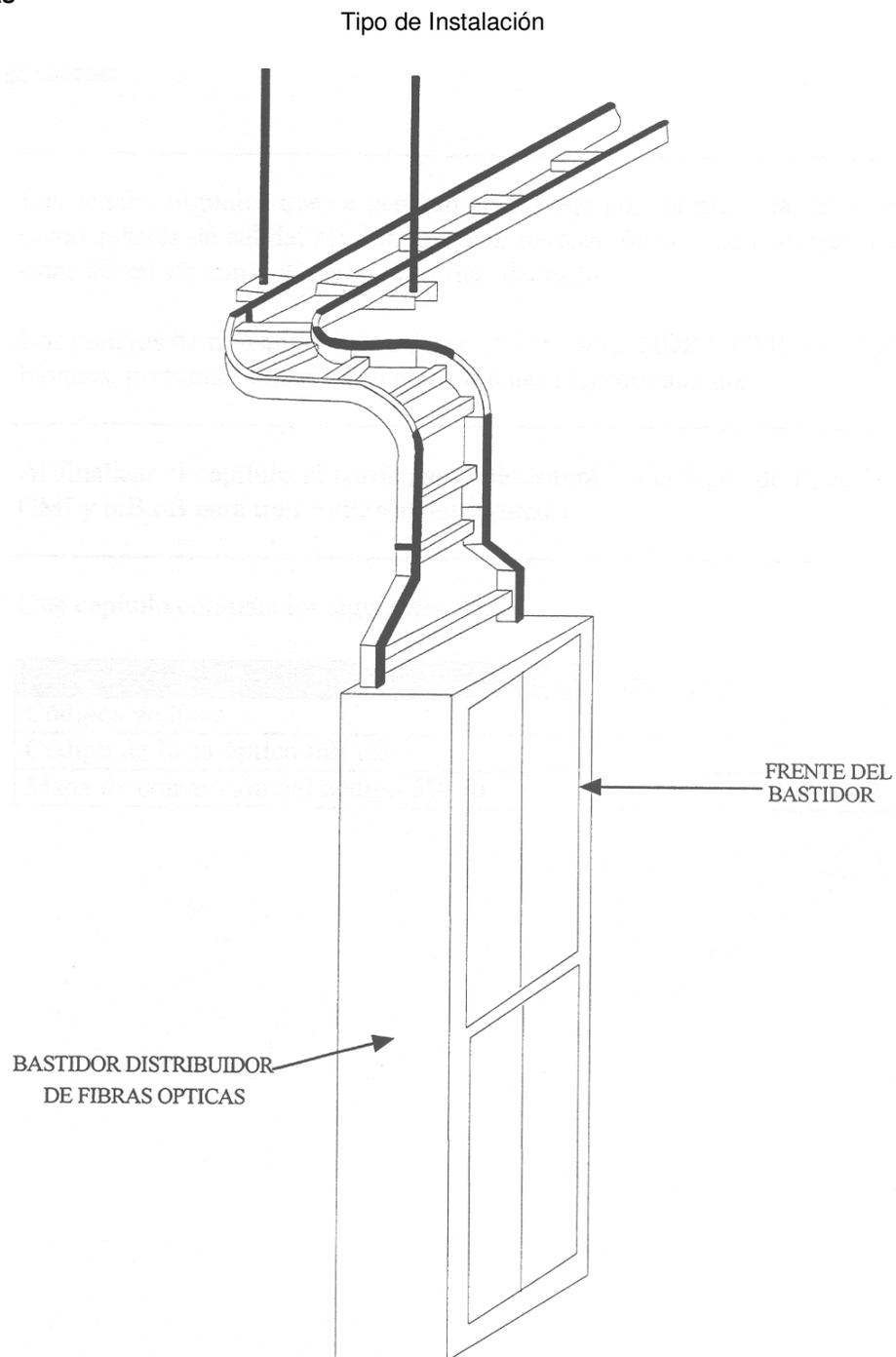


Fig. 2.36 Bastidor distribuidor de fibra óptica.

CAPITULO III "CABLES SUBMARINO DE FIBRA ÓPTICA"

3.1 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.



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.

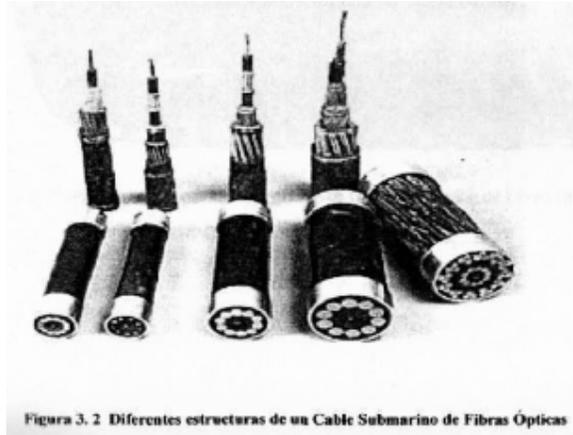


Figura 3.2 Diferentes estructuras de un Cable Submarino de Fibras Ópticas

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.

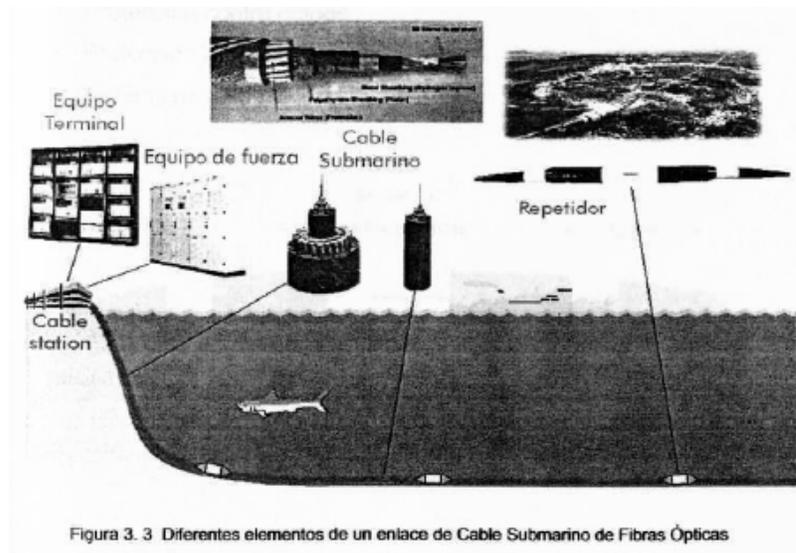


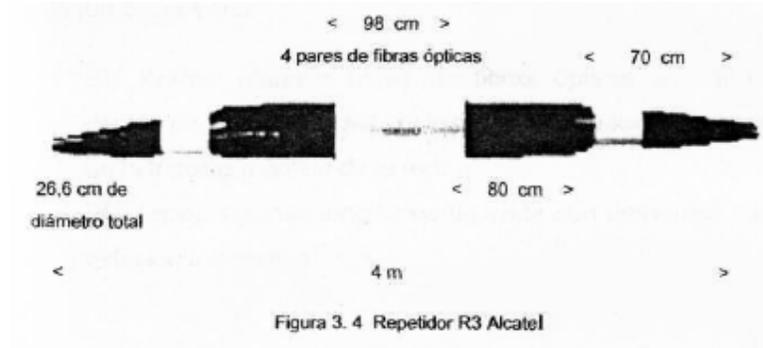
Figura 3.3 Diferentes elementos de un enlace de Cable Submarino de Fibras Ópticas

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



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.



Configuración Óptica

- BU Pasiva: algunos pares de fibras ópticas son enrollados 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 cilindricos 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

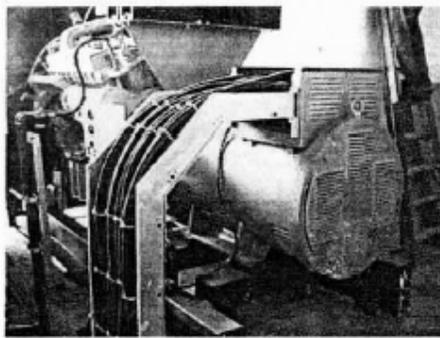


Figura 3.9 Interior de la estación de amarre

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

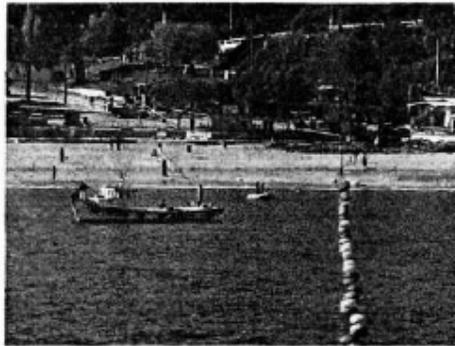


Figura 3. 14 Boyas utilizadas para la instalación del cable submarino

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.

3.2 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.

3.3 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, TELEFÓNICA 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 Carnero, 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 Caimán (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 (Caymán 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 EMERGÍA

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 división multiplexing).

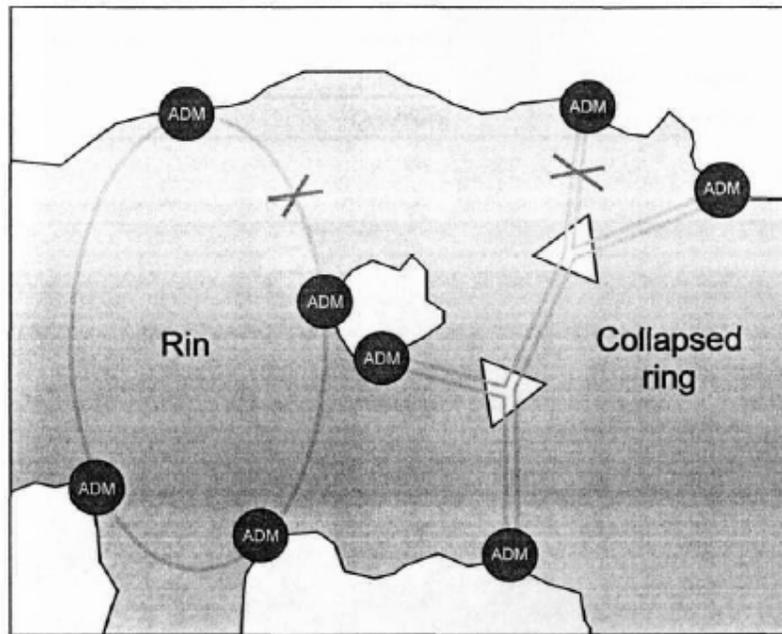
En julio de 1997, once empresas de telecomunicaciones internacionales (AT&T, MCI, SPRINT, Trescom, Telmex, France Telecom, Hondutel, Cable & Wireless (Cayman Islands), ICE (Costa Rica), Cable & Wireless (Panamá) y Telecom (Colombia), firmaron el Memorandum de Entendimiento (MOU), para así realizar la 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 3.15.



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 |



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 3.16.

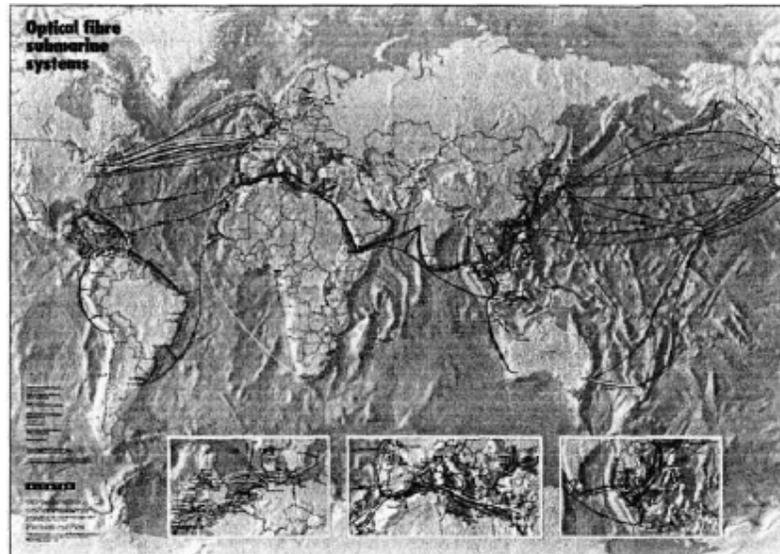


FIG 3.16

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 (K) 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.

3.4 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

La figura 3.17 muestra las conexiones de, todas las estaciones así como las unidades de derivación y las estaciones derivadas del cable submarino Maya 1.

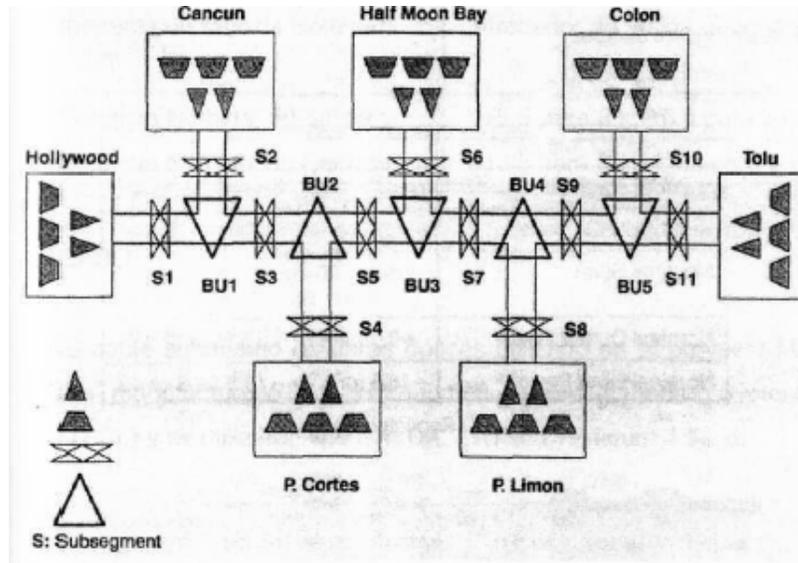


Fig. 3.17

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 3.18.



Fig. 3.18

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 = $V_{cable} + V_{rep} + V_{bu} + V_{return}$
- 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.

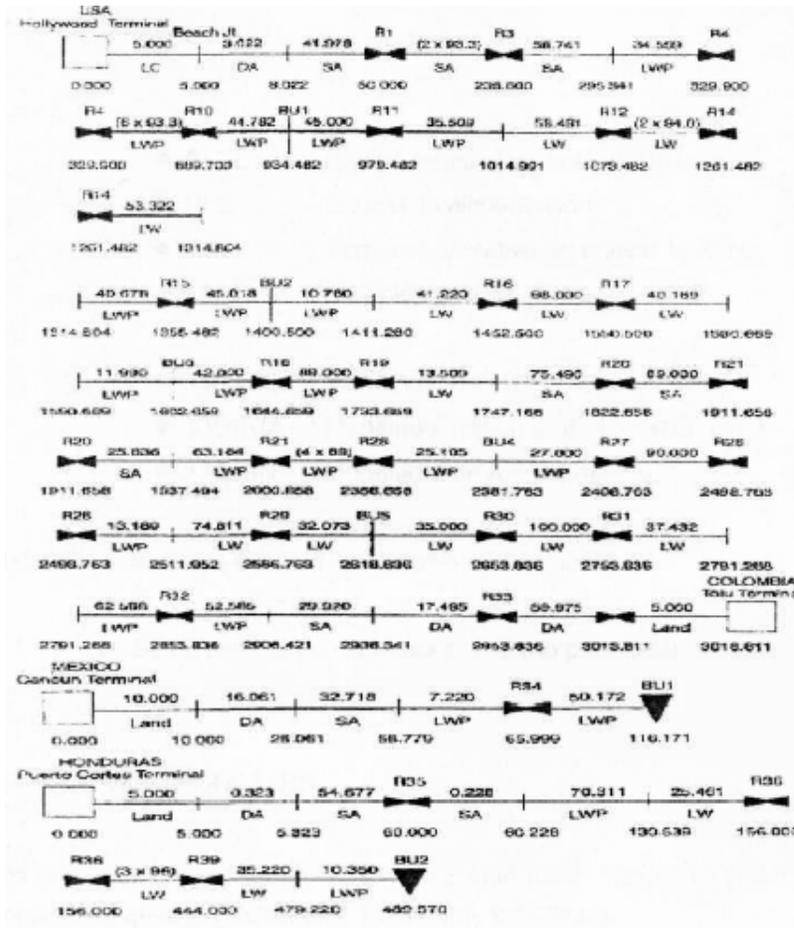


Fig. 3.19

3.5 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 3.20

| 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 | 1,060.00 | 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 |

Fig. 3.20

Costos y Restauración por transito en México y cable submarino, figura 3.21

| 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 |

Fig. 3.21

3.6 EQUIPOS

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 1551 nm
- 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 via 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.

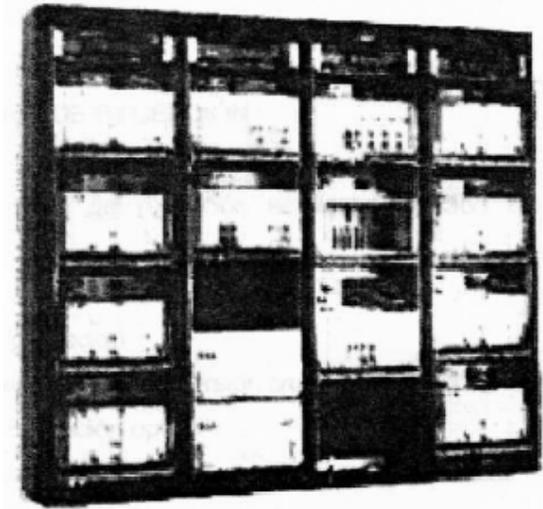


Fig. 3.22

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 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

CONFIGURACIÓN 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 3.23.) 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

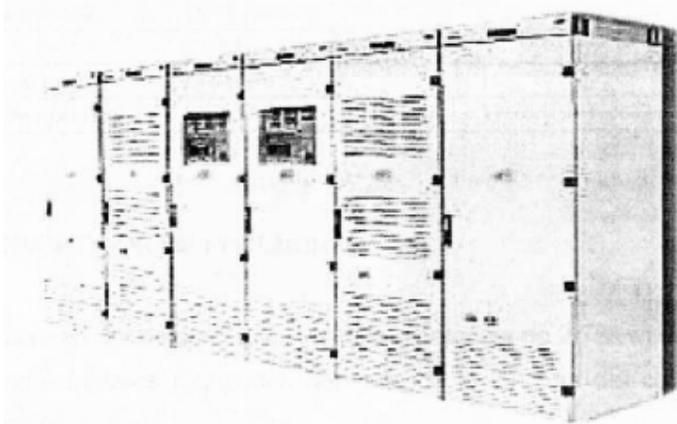


Fig. 3.23

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) |

3.7 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 trabajaran en serie en las estaciones extremo (Hollywood y Tolú) 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 Singleend 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 láseres 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 3.24

A continuación se enlistan sus características:

- Potencia de salida < +9.5 dBm (81) / +6.5 dBm (3 o 4 l)
- Ganancia < 30 dB
- Comente de línea 1.1 A
- Control de potencia de salida 4 posibles niveles
- Facilidades de medición con OTDR
- Ancho de banda Óptico Plano



Fig. 3.24

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 3.25. 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.

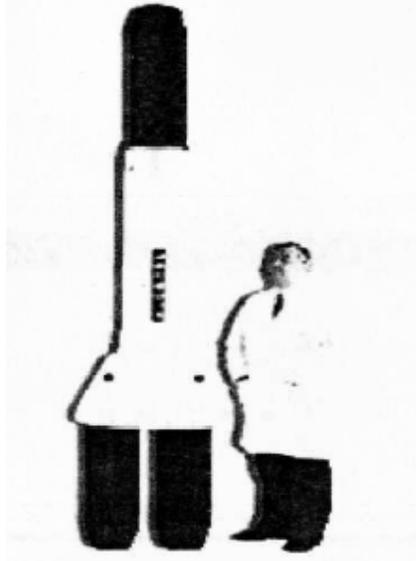


Fig. 3.25

3. 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 3.26 y 3.27.

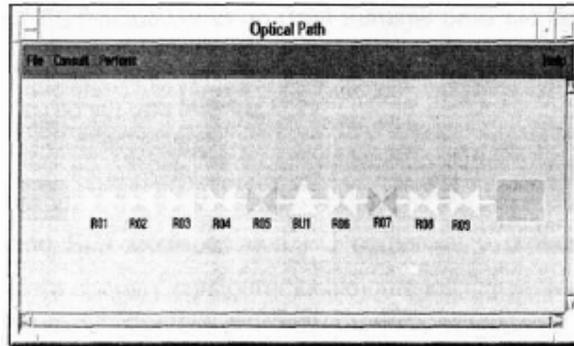


Fig. 3.26

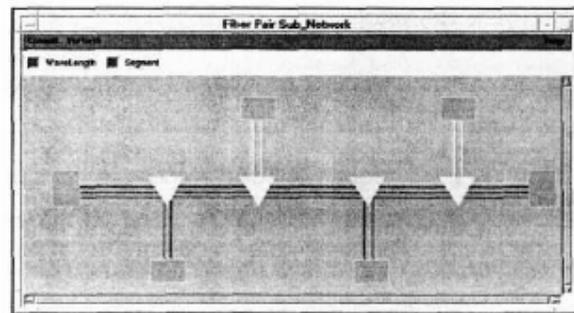


Fig. 3.27

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).

3.9 VENTAJAS DE WDM

En la figura 3.28 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.

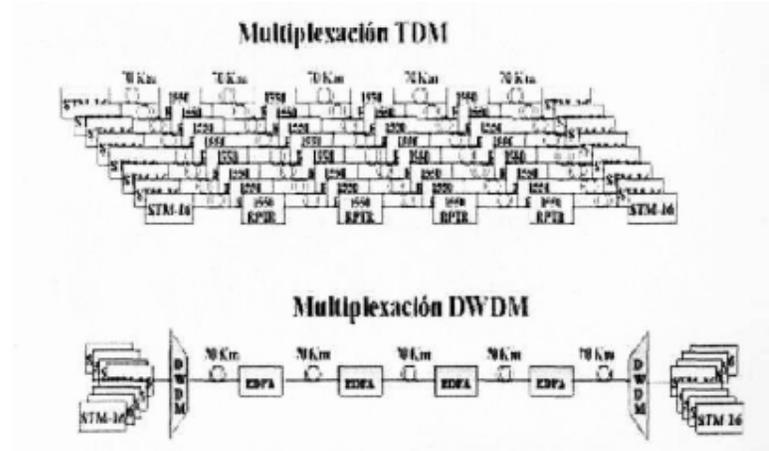


Figura 4.15 Multiplicación de la capacidad de transmisión de la fibra óptica utilizando DWDM.

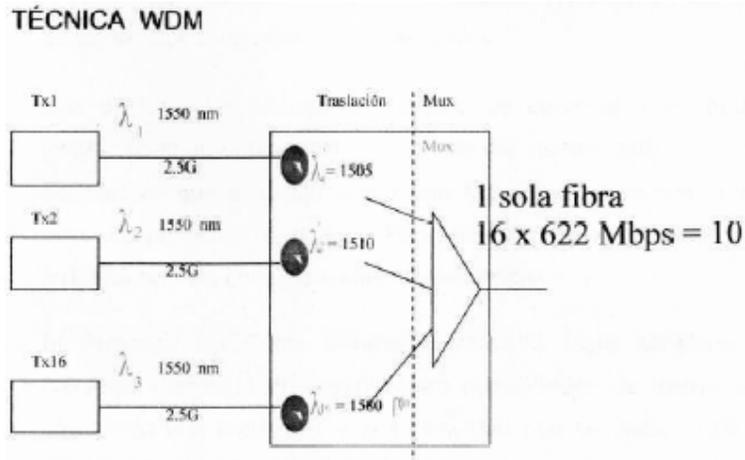


Fig. 3.28

CONCLUSIONES

El "Maya 1" cuenta con cuatro pares de fibra óptica, cada uno tiene un diámetro de cuatro centímetros y una armadura de acero. Los cuatro pares de fibra óptica se entrelazan y son protegidos a su vez por otra cobertura de acero.

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 proyecto que dio vida al cable submarino surgió en 1997 cuando un consorcio de empresas telefónicas firmó el acuerdo para la instalación del único cable en su tipo que abarcará los países del norte, centro y Sudamérica con una longitud de cuatro mil 524 kilómetros.

El cable contará con siete puntos terminales. El que se inaugura hoy y otros en Estados Unidos, Colombia, Honduras, Costa Rica, Panamá y Gran Caimán.

Telmex será responsable de la operación y mantenimiento de los equipos terminales y el segmento terrestre ubicados en territorio nacional, así como de la administración de la capacidad del cable.

El cable submarino "Maya 1" se interconecta con otros sistemas de cable submarino como son el Panamericano, Columbus II, Columbus III y América, los cuales permiten extender servicios internacionales entre la región y el resto del mundo.

Los trabajos de enlace al cable en Cancún iniciaron en diciembre de 1998 con la definición del punto de amarre, la obtención de permisos y licencia y el acondicionamiento de la Central KuKulcán de Telmex.

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.

Glosario

Acopladores

En su forma más simple los acopladores de fibra óptica consisten de un par de fibras ópticas monomodo que se han fusionado longitudinalmente. La luz que entra a la región fusionada desde una de las fibras de la izquierda es redistribuida en varios modos al cruzar la unión. Una vez separadas las fibras los modos son reconvertidos dentro del núcleo en cada una de las fibras de salida.

Amplificador Raman

En el amplificador Raman, una portadora óptica (varias longitudes de onda), interactúa coherentemente con las moléculas de la sílice (dióxido de silicio) de una fibra óptica, dichas moléculas han sido excitadas por una bomba láser de alta potencia. El resultado es la amplificación de la portadora óptica.

APD

Foto detectores de avalancha.

ASE

Amplificación de emisión espontánea.

ATM

Modo de transferencia asíncrono tecnología de transporte que permite transmitir datos a una velocidad de 25 Mbps, 155 Mbps y 622 Mbps. Se basa en la conmutación de celdas donde una celda es una unidad mínima de datos.

Backbone

Columna vertebral de la red.-" Es una red de transporte de información de alta capacidad igualo mayor a 2.5 Gb/s

BER

Tasa de errores de bit

Birefringencia

Diferencia de índices de refracción en un mismo material.

Booster

También son llamados post-amplificadores ya que aumentan la potencia óptica acoplada en el lado del transmisor y permiten que el primer repetidor se instale lo más lejos posible del terminal.

CAR

Centro de Administración de la red.

CAS

Centro de Atención de Servicios

Chirp

El Chirp es un cambio en la característica de frecuencia óptica de un dispositivo en función del tiempo.

Conmutación de circuitos

Establecen una conexión virtual antes de transmitir sus datos, uno de los servicios más utilizados es la RDSI.

Conmutación de paquetes

Cada paquete de datos se transmite separadamente, y cada uno puede tomar un camino distinto a través de la malla de trayectos de red que componen la red de conmutación de paquetes, maneja mejor el tráfico de ráfagas. Los más populares son X.25 y Frame Relay.

CPE

Equipo en las instalaciones del cliente.

DCM

Módulo de Compensación de Dispersión.

DFB

El transmisor típico para un solo canal (longitud de onda) se construye utilizando un láser de distribución de retroalimentación DFB (Distributed feedback) de 0 dBm (1mW) y conectado a un modulador.

DGD

Retardo de Grupo Diferencial

Dispersión

Ensanchamiento de la señal; originada por fluctuaciones microscópicas de la densidad del vidrio, que desvían, de su dirección, una parte de la luz conducida. La dispersión se incrementa hacia las longitudes de ondas cortas, de acuerdo a la ley de dispersión de Rayleigh.

Dispersión cromática

La dispersión cromática es un fenómeno lineal que causa que las diferentes longitudes de onda viajen a través de la fibra a velocidades ligeramente diferentes, ocasionando el ensanchamiento del pulso.

DSF

DSF (Dispersión Shifted Fiber) Fibra de dispersión corrida con longitud de onda de dispersión nula nominal próxima a 1550 nm.

DSP

Módulo de Procesamiento Digital de la Señal

E1

Velocidad básica de 2.048 Mb/s para PDH.

EDFA

Amplificador de Fibra Dopado con Erblio.

ERION

Solución DWDM implementada por Ericsson para redes metropolitanas y de larga distancia.

ESI

Interface externa de sincronización

Ethernet

Tecnología de acceso a redes de datos

ETSI

European Telecommunication Standard Institute

F

Interfaz F establece conexión local a través de una terminal para gestión local, utiliza un puerto serie RS-232 y un protocolo de comunicaciones.

Fast Ethernet

Tecnología de acceso a redes de datos a la velocidad de 100 Mb/s

FEC

Circuito de corrección de errores (Corrector de errores hacia adelante).

Filtro óptico

Un filtro óptico es un dispositivo que cambia la composición espectral ó la energía de la onda luminosa que incide en ellos sin alterar (ó casi sin alterar) la forma de su frente.

FP

Fabri-Perot

FWM

El efecto FWM se produce cuando la intensidad de la señal láser alcanza niveles críticos y aparecen señales fantasmas en el espectro óptico una vez que la señal pasa a través de la fibra de dispersión cero.

FXC

Conmuta todos los canales de longitud de onda desde una fibra de entrada a una fibra de salida, actuando como un BDFO (bastidor distribuidor de fibra óptica) automatizado

Giga Ethernet

Tecnología de acceso a redes de datos de 1 GB/s

GUI

Interfaz Gráfica de Usuario.

IEC

International Electro technical Commission

IEEE

Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Índice de Refracción (n)

Factor que expresa la reducción del valor de la velocidad de la luz en un material ópticamente denso (por ejemplo vidrio) con respecto al vacío.

IP

El Protocolo Internet (IP) es la implementación más popular de un esquema de direccionamiento de red jerárquico. IP es el protocolo de red que usa

Internet. IP determina la forma del encabezado del paquete IP (que incluye información de direccionamiento y otra

información de control) pero no se ocupa de los datos en sí (acepta cualquier información que recibe desde las capas superiores).

LAN

Red de datos de acceso local.

LEAF

LEAF (Large Effective Area Fiber) Es una fibra tipo NZDSF del fabricante Corning para redes de larga distancia en aplicaciones de alta capacidad y alta velocidad optimizada para aplicaciones DWDM y tecnologías de redes ópticas. Combina la baja atenuación y baja dispersión con una área efectiva de 32% más grande que las fibras convencionales.

LED

Diodo Emisor de Luz

LS

LS (Long Span) Fibra para tramos largos NZDSF para redes de larga distancia en aplicaciones de alta capacidad y alta velocidad optimizada para aplicaciones WDM.

LSI

Gran escala de integración

Modo

Distribución de la energía electromagnética en una fibra óptica la cual satisface las ecuaciones de Maxwell; trayectoria seguida por la luz en una fibra óptica.

Modulación de auto-fase

Es la modulación sobre su propia fase de la señal óptica cuando la intensidad de la señal láser es demasiado alta. Esta modulación ensancha o comprime la señal, dependiendo del signo (positivo o negativo) de la dispersión cromática

Modulación de fase cruzada

En este tipo de modulación en la fibra óptica la señal de un canal modula la fase del canal adyacente.

MOR

Es un repetidor óptico bidireccional de múltiples longitudes de onda (MOR Multiwavelength Optical Repeater).

MPLS

Multiprotocol Label Switching.

NE

Elemento de red.

NF

Figura de ruido de amplificadores.

NZDSF

Las fibras de dispersión corrida no cero NZDSF fueron diseñadas para operar cerca de la ventana de 1550 nm con una pequeña cantidad de dispersión.

OADM

Multiplexores ópticos de inserción extracción

OAM&P

Operación, Administración (Gestión). mantenimiento y aprovisionamiento.

OC-1

Contenedor óptico -nivel 1 que transporta una-velocidad de 51.84 Mb/s equivale al STM-O.

OC-3

Contenedor óptico nivel 3 que transporta una velocidad de 155.52 Mb/s equivale al STM-1.

OC-12

Contenedor óptico nivel 12 que transporta una velocidad de 622.08 Mb/s equivale al STM-4.

OC-48

Contenedor óptico nivel 48 que transporta una velocidad de 2488.32 Mb/s equivale al STM-16.

OC-192

Contenedor óptico nivel 192 que transporta una velocidad de 9953.28 Mb/s equivale al STM-64

OEM

Onda electromagnética.

OSA

Analizador de espectro óptico

OSC

Canal de supervisión óptica (OSC)

OSI

El modelo OSI es un modelo de 7 capas para redes de datos

O-SNCP

Protección óptica de conexión de subred.

OSNR

Relación señal a ruido óptica

O-SPRING

Anillo óptico de protección de canal compartido.

OXC

Sistema de enrutamiento óptico (Optical Cross Connect, OXC) para el encaminamiento de las señales hacia diferentes trayectorias en la red óptica

PDFFA

Amplificador de Fibra de Fluoruro Dopado con Praseodimio.

PDH

Jerarquía Digital Plesiocrona.

PFE

Equipo Alimentador de Potencia para cable submarino.

PIN

El fotodiodo PIN es el detector más utilizado en los sistemas de comunicación óptica. Es relativamente fácil de fabricar, altamente fiable, tiene bajo ruido y es compatible con circuitos amplificadores de baja tensión. Además, es sensible a un gran ancho de banda debido a que no tiene mecanismos de ganancia.

PMD

Dispersión del modo de polarización (PMD) ocurre cuando las dos polarizaciones ortogonales del pulso óptico viajan con diferentes velocidades, apareciendo un tiempo de retardo entre ellas conocido precisamente como PMD

Q3

La interfaz Q3 ó QB3 permite establecer conexión con el sistema operativo de gestión, se define como una compuerta de conexión, su función es el intercambio de mensajes con los canales de comunicación de datos (DCC) de la red de gestión a través de un protocolo.

RCDT

RCDT (Red Corporativa de datos Telmex) es la Red de Datos Corporativa utilizada para la transmisión de información de las aplicaciones críticas de negocio de la empresa.

Rejilla de difracción

Una rejilla de difracción es un dispositivo que refleja y refracta luz en cantidad variada de longitudes de onda, se construye básicamente por un espejo dentro del cual son grabados Surcos de un espacio extremadamente angosto, una distancia típica (d) es $0.8 \mu\text{m}$ (1200 líneas por mm).

Rejillas de fibra Bragg

Una rejilla de fibra Bragg se construye dopando apropiadamente una fibra con una sustancia como el germanio para posteriormente modificar el índice de refracción exponiéndola a luz ultravioleta. Si la exposición a la luz ultravioleta se realiza durante un patrón periódico, la fibra se convierte en una rejilla.

RF

Radio Frecuencia

Ruteador

Determina la mejor trayectoria para que un paquete de datos alcance su destino.

SDH

Jerarquía Digital Síncrona.

SLTE

Equipo terminal de línea submarina

SMF

Fibra monomodo dispersión normal.

SMF-28

SMF-28 (Single Mode Fiber) Fibra de dispersión normal para uso regional y local de telefonía y redes de televisión por cable esta fibra es fabricada por Corning.

SNR

Relación señal a ruido eléctrica.

SOA

Amplificador óptico de semiconductor basa su funcionamiento en la emisión estimulada de fotones por la recombinación de pares electrón-hueco en un semiconductor a través de la inyección directa de corriente suficiente para ser bombeada a una fibra óptica dopada con erbio.

SNMP

Protocolo-simple--de gestión de red

SRS

La SRS "Stimulated Raman Scattering" es la dispersión de luz por moléculas, en la cual la luz dispersada es desplazada de la luz entrante por una frecuencia característica de las moléculas.

STM-1

Módulo de transporte síncrono nivel 1 velocidad de 155 Mb/s

STM-16

Módulo de transporte síncrono nivel 16 velocidad de 2.5 GB/s

STM-256

Módulo de transporte síncrono nivel 256 velocidad de 40 GB/s

STM-4

Módulo de transporte síncrono nivel 4 velocidad de 622 Mb/s

STM-64

Módulo de transporte síncrono nivel 64 velocidad de 10 GB/s

TDM

Multiplexación por división de tiempo

Tera

Prefijo que significa 10^{12}

TIA

Telecommunications Industry Asociación

TCP

Protocolo de control de transferencia es un protocolo de la Capa 4 del modelo OSI (capa de transporte) ofrece un circuito virtual entre aplicaciones de usuario final.

TL-1

TLI (Transaction Lenguaje One - Lenguaje de transacción Uno) es un protocolo de comunicaciones que se usa para integrar alarmas, estados, controles, desempeños, pruebas y aprovisionamiento de información desde una red de telecomunicaciones. Este protocolo es un mensaje estilo ASCII diseñado para que la información pueda ser leída por personas al transferirla desde un elemento de red o un dispositivo de mediación a un sistema de operaciones. En Telmex se utiliza para transferir las alarmas desde los equipos PDH a la plataforma de gestión NMA.

Transponder

En este bloque se "colorean las señales de entrada", las técnicas pueden ser por conversión de longitud de onda o por combinación de longitud de onda.

WDM

Multiplexación por división de longitud de onda

WIXC

Es un WSXC con la facilidad añadida de traducir o cambiar la longitud de onda del canal a otra o de traducida a la misma longitud de onda incluso.

WSXC

Puede conmutar un subconjunto de longitudes de onda (canales) desde una fibra de entrada a una fibra de salida, requiere demultiplexación de las longitudes de onda de entrada.

Bibliografía

Fibras ópticas

Centro de óptica ITESM
Campus Monterrey
Conductores LATINCASA S.A. de C.V.
México 1993.

Curso Sobre El Sistema 8TR 695 Terminal Óptico AT&T
Centro de formación AT&T-NS-ES 1994.

Curso de Jerarquía Digital Síncrona SDH (básico)
Instituto Tecnológico de Teléfonos de México.
Junio, 1997.

Lightwave Fundamentals.

Hewlett Packard 1993.
Versión 1.1

Sistemas de Transmisión Síncronos: SDH
TELEDATA

Protection Switching Systems 1:1 and 1:N
ERICSSON Review.
February 1987.

Amplificadores Ópticos Utilizando Fibras Impurificadas con Erbio.

Joao Batista de Melo Ayres Neto
Revista Telebrás
Edición Tecnología
Agosto 1991.

Curso Supervisión Y Mantenimiento De Fibras Ópticas Para Líneas L.D.

Instituto Tecnológico de Teléfonos de México S.C.
Luís H. Sandoval Córdova.
ing., Raúl Nazar.
Julio 1995.

Sistemas De Telecomunicación Vol. 1.

Transmisión por Línea y Redes.
José M. Hernando Rábanos.
2da Edición.
Madrid, España. 1991.

Criterios Prioritarios De Ingeniería Transmisión.

Teléfonos de México, S.A. de C.V.
Subdirección de Ingeniería y Normas.
Febrero 1993

- **"Introducción A La Ingeniería De La Fibra Óptica"**
Rubio Martínez Baltasar, Editorial Addison-Wesley Iberoamérica, Estados Unidos, 1994.
- **"Todo Sobre Las Fibras Ópticas"**
Tur Juan y Martínez Jiménez Maria Rosario, Editorial Marcombo Boixareu Editores, Barcelona, México, 1989.
- **"Conductores De Fibras Ópticas"**
Günther Mahlke y Meter Góssing, 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/Dataunit Fiber Optics Applications"**
Wayne Tomasi y Vincent F. Alisouskas, Editorial Prentice - Hall, USA, 1988.
- **"Fiber Optic Communications"**
Joseph C. Raíais, 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 Línea 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-Óptica I 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.ALCA TEL.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

