



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN

FIBRA ÓPTICA
PERSPECTIVA TÉCNICA
INSTALACIÓN, CONEXIÓN Y MANTENIMIENTO PARA REDES OPTICAS DE COMUNICACIONES

T E S I S

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

GARCÍA RAMÍREZ GILDA MARGARITA
MARTÍNEZ CRUZ JULIO CÉSAR

ASESOR: **ING. IVÁN MUÑOZ SOLÍS**

300207

NOVIEMBRE 2001





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central

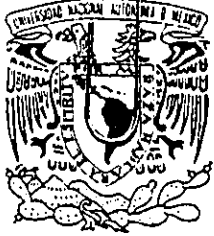


UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN

DIRECCIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

JULIO CÉSAR MARTÍNEZ CRUZ
P R E S E N T E.

En contestación a la solicitud de fecha 3 de mayo del año en curso, presentada por Gilda Margarita García Ramírez y usted, relativa a la autorización que se les debe conceder para que el señor profesor, Ing. IVÁN MUÑOZ SOLÍS pueda dirigirles el trabajo de tesis denominado "FIBRA ÓPTICA PERSPECTIVA TÉCNICA. INSTALACIÓN, CONEXIÓN Y MANTENIMIENTO PARA REDES ÓPTICAS DE COMUNICACIONES ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 22 de mayo de 2001.
DIRECTOR INTERINO

ARQ. y D.I. CARLOS CHÁVEZ AGUILERA



*Recibido
Carreras de
29-05-01*

- C p Secretaría Académica.
- C p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
- C p Asesor de Tesis.

CCHA/AIR/Ila.

AGRADECIMIENTOS



A MIS HIJOS:

Con mucho Amor, Cariño y Respeto.

Por ser mi motivación y mi aliento en la culminación de esta etapa de mi vida, perdón, porque aun cuando necesitaban de mi atención los prive de muchas cosas, luchar y vencer obstáculos para nunca defraudarlos, y espero esto les sirva como un estímulo en lo que lleguen a emprender en su vida. Que Dios los bendiga.

M. IVAN DEHUI HUERTA GARCIA.

*Para ti mi niña hermosa, de la cual me siento muy orgullosa.
Porque a pesar de tu corta edad me demuestras mucha madurez,
Porque quiero que sepas que ya me das muchas satisfacciones y
porque espero sigas siendo buena estudiante y una buena persona
para ejemplo de tus hermanitos, con la bendición de Dios.
Te amo. Pequeña traviesa.*

IVAN FABRICIO HUERTA GARCIA.

*El hombrecito de la casa, chetito de mirada triste te dedico este
trabajo que con mucho esfuerzo logre culminar, pero con mucha
alegría y anhelo, siendo tu uno de mis motivos de inspiración.
Te quiero. Power.*

LLIVIA AKETZALLI HUERTA GARCIA.

*Mi encantadora mujercita, la más pequeña, tierna y bulliciosa de
mis bebés, te doy gracias por llegar a mi vida, en momentos de
dificultades y pesares porque has sido sin duda mi mayor motivación.
Te adoro. Uveta.*

A LA *UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.*
E.N.E.P ARAGÓN

*Por la formación profesional que me brindó, ya que finalmente he alcanzado el objetivo que me propuse al iniciar mis estudios. Gracias por hacerme sentir parte de ella ya que es un orgullo ser universitario.
"Por mi raza hablara el espíritu".*

A LOS *PROFESORES.*

A los integrantes del Simodo, y a todos aquellos que durante mi estancia en la escuela me han brindado afecto, estímulo y confianza siendo un impulso para seguir adelante. Con todo respeto y admiración.

Gracias a mi amigo Julio César Martínez Cruz por la ayuda y comprensión mostradas durante toda la realización del presente trabajo, porque aun con el corto tiempo que nos hemos tratado mantenemos una agradable amistad, gracias por participar en esta tesis conmigo y la alegría de llegar juntos a la meta.

A MIS *AMIGOS*

Por su amistad incondicional, apoyo y comprensión ya que de alguna manera han influido de manera positiva en mi formación profesional y personal, de los cuales no hago mención por temor a omitir a algunos de ellos, con todo cariño y respeto en reconocimiento a la amistad que nos une y que no se perderá con el paso del tiempo.

A DIOS

*Por haberme dado la oportunidad de vivir y de culminar mi tan anhelado sueño,
el cual he visto por fin realizado;...tener una carrera profesional...
asi también por permitirme tener a mi familia siempre cerca.*

A MI QUERIDA MADRE

*Por su amor, cariño, paciencia, comprensión y consejos, que siempre me ha brindado incondicionalme,
siendo ante todo mi amiga...doy Gracias a Dios por tenerte junto a mí...*

A MI PADRE

*Agradezco, la herencia forjada en mí, inculcándome la importancia de la responsabilidad y el trabajo,
valorando la vida y comprendiendo, que en ésta, nada es fácil.*

A MI HERMANA LETY "PEQUE"

*Que por su gran corazón lleno de bondad, fidelidad, amor y comprensión,
siempre me ha apoyado en todo, ...Gracias por todo,...no te fallaré.*

A MI HERMANA LORE

*Por brindarme su apoyo, fortaleza y confianza,
logrando juntos metas que pronto veremos plasmadas,...tienes todo mi apoyo.*

A KARLITA LORENA "NENA"

*Que por sus sonrisas, amor y por el simple hecho de haber nacido me ha motivado, aún más,
para superarme y creciendo junto a ella, brindándole todo lo mejor de mí,
...te quiero mucho nenita.*

A OLI

*Por su amor, comprensión, apoyo y consejos, que me han dado la fuerza suficiente para seguir adelante,
... creyendo en mí,...Gracias por todo su amor y cariño.*

A LUZ

*Por su apoyo total e incondicional y a sus buenos consejos, siendo para mí
una de mis mejores amigas y luz salvadora, para lograr este sueño tan anhelado
...Gracias, querida amiga.*

AGRADECIMIENTOS



*Queremos agradecer las facilidades prestadas, a las empresas y compañías,
mismas que nos brindaron la información solicitada
para poder llevar acabo, la realización de este trabajo,
que con profundo respecto y cariño ofrecemos a
nuestra querida y máxima casa de estudios,*

*la Universidad Nacional Autónoma de México,
a quien gratificamos solemnemente, por habernos brindado su invaluable
conocimiento, guiándonos por el sendero del pensamiento, sabiduría y el éxito.
Así mismo externamos, nuestro más profundo y respetuoso agradecimiento a
nuestros profesores y personal en general, pues gracias a su entusiasmo y
ayuda, hemos logrado la culminación de nuestra meta primordial como
mexicanos y universitarios...la preparación personal y profesional, base
fundamental de todo individuo...*

ÍNDICE



| | |
|---|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1 LAS COMUNICACIONES ÓPTICAS | 4 |
| 1.1 HISTORIA DE LAS TELECOMUNICACIONES ÓPTICAS | 5 |
| 1.2 LA FIBRA ÓPTICA EN MÉXICO | 9 |
| 1.3 SISTEMA DE TRANSMISIÓN POR FIBRA ÓPTICA | 11 |
| 1.4 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO | 13 |
| 1.5 VENTAJAS DE LAS COMUNICACIONES POR MEDIO DE FIBRAS ÓPTICAS | 15 |
| 1.6 TEORIA ELECTROMAGNÉTICA Y ONDAS | 17 |
| 1.7 PROPAGACIÓN DE LA LUZ Y SU NATURALEZA ONDULATORIA | 20 |
| 1.8 LEYES DE LA REFLEXIÓN Y LA REFRACCIÓN | 21 |
| 1.9 GUIAS DE ONDA | 23 |
| 1.10 CLASIFICACIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS | 25 |
| 1.11 ÍNDICE DE REFRACCIÓN ABSOLUTO | 26 |
| 1.12 REFLEXIÓN INTERNA TOTAL | 27 |
| FUENTES | 29 |
| | |
| 2 FUENTES TRANSMISORAS Y RECEPTORES ÓPTICOS | 30 |
| 2.1 TIPOS DE FUENTES TRANSMISORAS | 33 |
| 2.2 RADIANZA | 36 |
| 2.3 DIODO EMISOR DE SUPERFICIE | 38 |
| 2.4 DIODO EMISOR LATERAL | 40 |
| 2.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS LED'S | 41 |
| 2.6 DIODO LÁSER DE INYECCIÓN | 43 |
| 2.7 CARACTERÍSTICAS DEL DIODO LÁSER | 45 |
| 2.8 CARACTERÍSTICAS DE ACOPLAMIENTO PARA LOS EMISORES LED Y LÁSER | 48 |
| 2.9 COMPARACIÓN ENTRE EL DIODO LED Y EL DIODO LÁSER DE INYECCIÓN | 52 |
| 2.10 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO Y CLASIFICACIÓN DE LOS DETECTORES ÓPTICOS | 57 |
| FUENTES | 65 |
| | |
| 3 LA FIBRA ÓPTICA | 66 |
| 3.1 DEFINICIÓN DE FIBRA ÓPTICA | 67 |
| 3.2 TIPOS DE FIBRAS OPTICAS | 68 |
| 3.3 FIBRAS MULTIMODO | 68 |
| 3.4 FIBRAS MONOMODO | 75 |
| 3.5 MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA | 75 |
| 3.6 FIBRAS DE VIDRIO | 76 |
| 3.7 PROCESOS DE FABRICACIÓN | 77 |
| 3.8 ESTIRADO Y ACABADO FINAL DE LA FIBRA | 88 |
| 3.9 TRANSMISIÓN | 88 |



INTRODUCCION

La idea de transmitir información por medio de luz tiene siglos de antigüedad. La comunicación de señales por antorchas corresponde a esta idea. Hacia 1880, Bell construyó un "Fotófono" que enviaba señales vocales a corta distancia por medio de la luz. En 1958 aparece un método para producir radiaciones electromagnéticas en las longitudes de onda del espectro visible usando los estados energéticos de los átomos para producir, mediante cambios simultáneos de sus niveles, radiaciones electromagnéticas controladas, el aparato utilizado se llamó LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation).

Con la invención del Láser como fuente de luz coherente, se volvió a considerar la idea de usar a la luz como soporte de comunicaciones como sistema alternativo o sustitutivo de los existentes, formulando al mismo tiempo los primeros conceptos sobre transmisión por fibra de vidrio como guía de onda.

En sistemas de comunicaciones digitales resultó particularmente atractiva, ya que con una fuente de láser disparada a alta velocidad se pueden transmitir los "1" y "0" de una comunicación digital hacia un detector. Poco después, en 1975 aparecerían los primeros proyectos experimentales instalándose de modo creciente a partir de 1980.

El incesante y vertiginoso progreso de la tecnología, aumenta la imperativa necesidad de transmitir grandes cantidades de información a grandes distancias, y por si fuera poco, no solo hablamos de voz y datos, sino que debido a la creciente demanda de servicios globales, las grandes compañías de servicios de telecomunicaciones han desarrollado tecnologías en donde engloban la transmisión de voz, datos y video. Así entonces, día con día el usuario final exige, de servicios de banda ancha, la difusión de productos teleinformáticos y el acceso a bancos de datos, han hecho de la fibra óptica el medio de transmisión ideal para una amplia gama de aplicaciones con la moderna tecnología. Ahora toda la información adquiere la forma de voz, documentos, gráficas, códigos, imágenes, datos, siendo todo esto susceptible de ser procesado electrónicamente y así hacerlo fluir a través de los medios de comunicación que nos rodean, tal como; la radio, la televisión, los teléfonos, los cables, las micro-ondas, los satélites, entre otros. Actualmente es el medio de comunicaciones terrestres de mayores prestaciones y más alta potencialidad.

Es así como las fibras ópticas se han convertido en una de las tecnologías más utilizadas y avanzadas que se utiliza como medio de transmisión, revolucionando los procesos de las telecomunicaciones logrando entre otras cosas una mayor velocidad de transmisión y la disminución casi total del ruido así como las interferencias.

Ahora bien, las fibras ópticas, son tan pequeñas que incluso pueden ser comparadas con el grosor de un cabello humano, son ligeras, compactas, con bajas pérdidas, con gran capacidad de transmisión de información y prácticamente libres de interferencias e intercepciones, como se ha



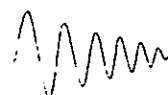
Fundamentalmente la presente tesis, tiene como principal objetivo ofrecer una base para el conocimiento general de los elementos, principios y conceptos básicos de las comunicaciones por fibra óptica, así como ofrecer una visión general de su instalación, conexión y mantenimiento.

Abordaremos los aspectos históricos más trascendentales de la tecnología que han contribuido al desarrollo de las comunicaciones ópticas, y posteriormente se expondrán las ventajas que justifican la existencia de las comunicaciones por fibra óptica. Consecutivamente se analizarán los principios en que se basa la propagación de la luz en diferentes medios; estableciendo así las estructuras y tipos de fibras ópticas. Repasaremos conceptos como atenuación, dispersión y ancho de banda en la fibra óptica, así como sus características mecánicas.

Más adelante se presentan los elementos específicos que intervienen en los sistemas de comunicación por fibras ópticas; emisores y detectores ópticos, describiendo en forma general sus principales componentes. Se da un repaso general de lo que es la topología de redes, tocando el tema de los cables de fibra óptica, enfocados a redes, considerando sus características técnicas para su mejor aprovechamiento.

Finalmente se hablará de la instalación, conexión y mantenimiento del cable de fibra óptica, en sus principales modalidades, como elemento primordial en la implementación de redes de comunicaciones a nivel subterráneo, zonas urbanas, suburbanas, así también se describe brevemente la instalación del cable óptico aéreo y submarino. Del mismo modo, se mencionan algunos procesos de empalme de cables de fibra óptica así como los elementos que lo conforman.

Desde luego, no pretendemos hacer un análisis a fondo de conceptos y elementos, sino fijarlos con precisión y claridad, mostrando los parámetros de mayor relevancia, bajo las condiciones de elementos básicos para el manejo de cable óptico que algunas empresas de telecomunicaciones en México emplean en el campo.





LAS COMUNICACIONES ÓPTICAS

En este capítulo se hará una breve descripción de los orígenes y principios básicos de la transmisión por fibra óptica, mencionando los eventos más relevantes en la evolución de la misma, ya que la comunicación por medio de las 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 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 fibras ópticas; se desarrollan también, entre otros, diversos tipos de sensores con fibras ópticas que tienen múltiples aplicaciones en la industria, la medicina y en el diseño experimental. Conforme avanza la tecnología en telecomunicaciones, los productos fabricados por conductores Latincasa, han venido evolucionando: se inició con la fabricación de pares sencillos, tercias y cuartetas; después vinieron los cables multipares como son los TAP (Aislamiento de Papel) y los SCREB (Aislamiento de Polietileno) de hasta 2400 pares; posteriormente se hicieron los cables multipares PCM (Modulación por Codificación de Pulsos), hasta llegar finalmente a los coaxiales.

Todos estos productos, aunque se siguen utilizando en las redes telefónicas, no son susceptibles de cambios significativos, además de que no representan técnicamente lo más avanzado, ya que muchos de estos cables se desarrollaron desde principios de siglo. Sin embargo, todos ellos guardan una característica en común, que son conductores de señales eléctricas.

A partir de 1986, Latincasa se puso a la vanguardia, en cuanto a nuevas tecnologías de infraestructura se refiere, para las técnicas de comunicación se refiere, entrando a la comunicación a partir de fibras ópticas y adquiriendo equipo especial para la fabricación de cables ópticos. En medios de transmisión típicos, como son los cables coaxiales, el par telefónico, las microondas, el radio, etc., llegan a utilizar frecuencias de hasta 100 GHz. Ahora bien, mientras mayor sea el rango de la frecuencia lograda, hablando en términos de comunicación, habrá mayor capacidad de canales, lo cual nos interesa. Las radiaciones infrarrojas y visibles 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 transportar la información únicamente encontrando el medio adecuado para ello; y las fibras ópticas constituyen 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.



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 practicas 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 medicas (endoscopia).

N.S. Kapany invento el termino "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 perdidas fueron tan grandes en unos cuantos metros que por este momento se desistió de seguir las 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 perdidas 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 perdidas muy grandes, del orden de 1000 dB/Km (comparadas con las perdidas 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 perdidas, 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 perdidas 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 incremento 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 perdidas de las fibras óptica se redujeron a 5 dB/Km, y las técnicas de unión de baja pérdida se fueron perfeccionando. Así se continuo con la fabricación de fibras ópticas con perdidas siempre más bajas, llegándose actualmente a obtener perdidas 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 cooparticipantes; (tabla 1.1).



| | | |
|------|----------------|--|
| 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 acabo transmisión por fibra por encima de los 100 km. |

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.⁴

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.³

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.

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 pigtaills, 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.

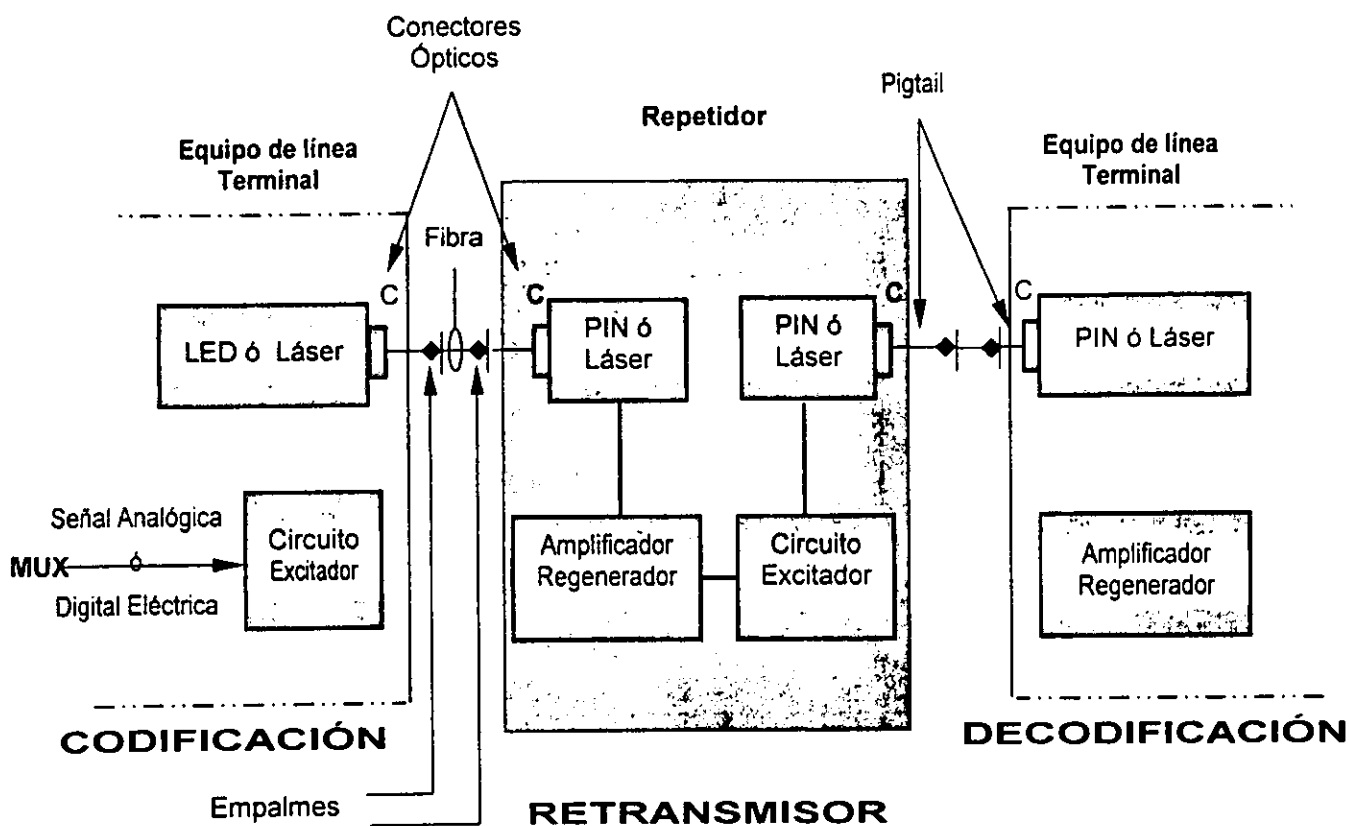


Fig. 1.3 Elementos de un sistema de comunicaciones por fibra óptica

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 proporciono 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, llevo 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



Peso y tiempo de instalación

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 silica, 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

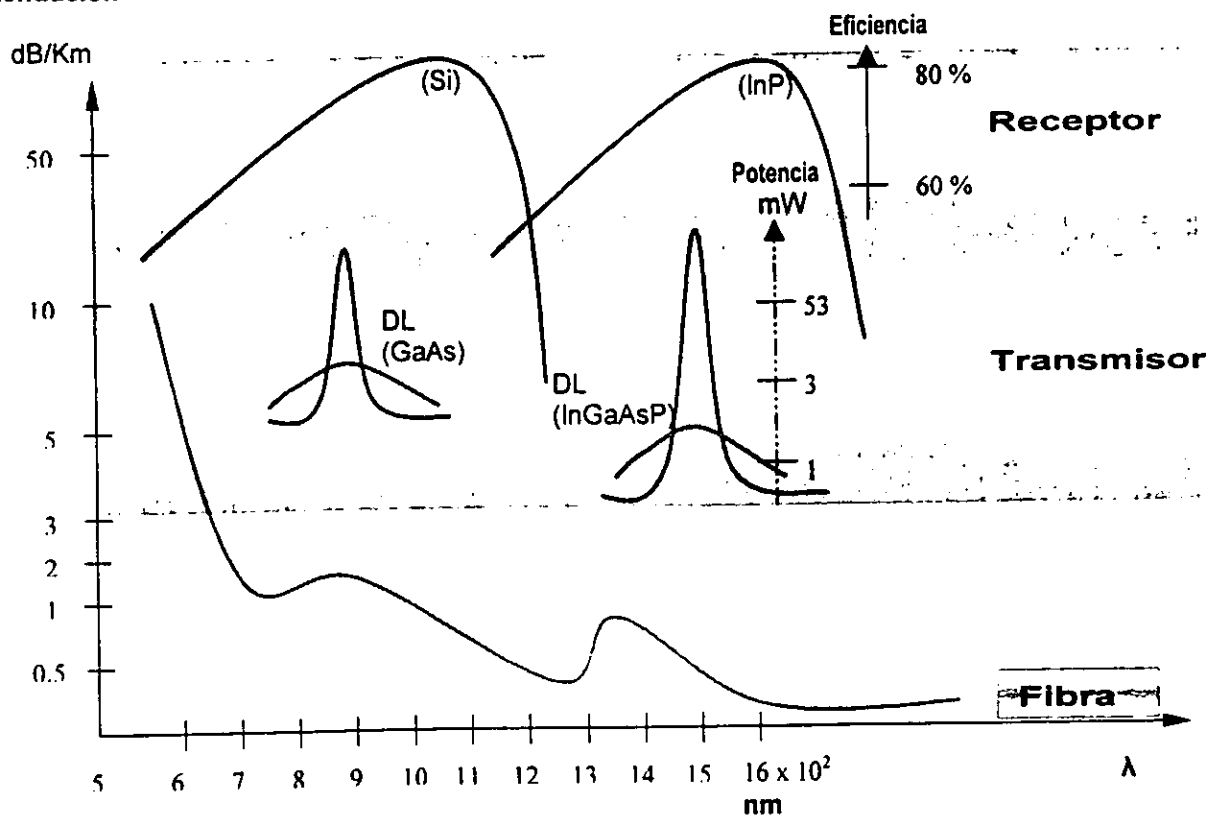


Fig.1.6 Atenuación

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

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

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

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

$$\text{Ley de Ampere Modificada} \quad \oint B \cdot dl = \mu_0 \int i + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \phi_E}{\partial t} \quad (1.3a)$$

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

donde:

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

$(\mu_0 i)$ es debido a la corriente continua,
 $(\mu_0 \epsilon_0 \partial \phi_E / \partial t)$ es debido a un campo eléctrico variable.

Las mismas ecuaciones desarrolladas en forma diferencial son:

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

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

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

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

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_0 = Permeabilidad magnética en el vacío ($4\pi \times 10^{-7}$ Henrys / m)

$H = B/\mu_0$ 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 producidos 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:



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:

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

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

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

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.

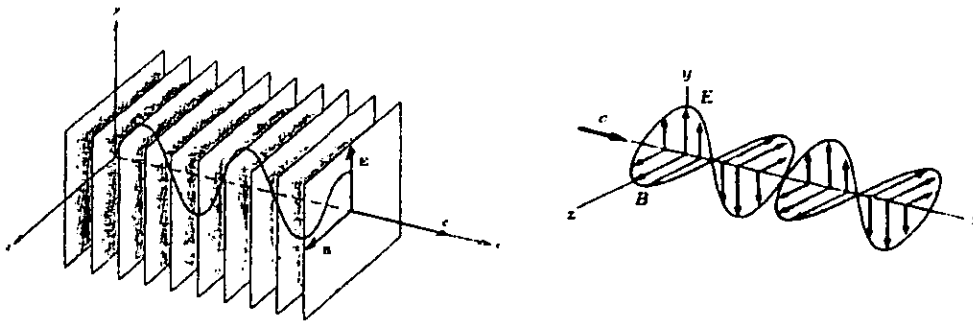


Fig.1.7 Onda plana electromagnética

1.7 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.



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:

$$n_i \text{ Sen } \theta_i = n_r \text{ Sen } \theta_r \quad (1.19)$$

y de la misma manera:

$$n_i \text{ Sen } \theta_i = n_t \text{ Sen } \theta_{ti} \quad (1.20)$$

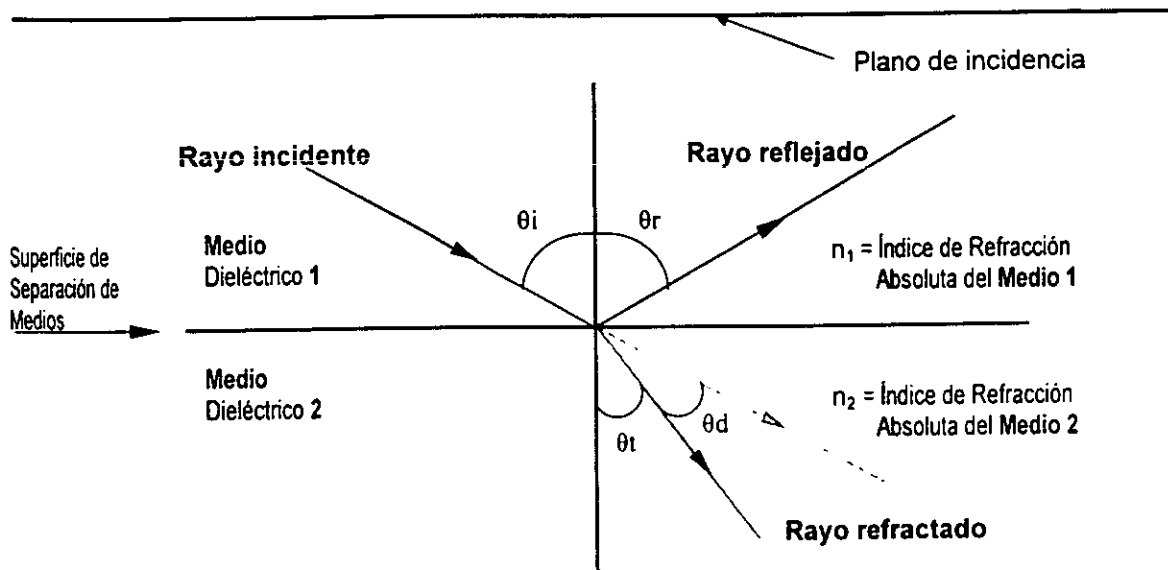


Fig.1.8 Rayos de luz incidente, reflejado y refractado

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 $\theta_i = 90^\circ$; 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.



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:

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

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

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

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

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:

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

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:

$$-\nabla^2 E = \beta_o^2 E \dots \dots \dots (1.27) \quad -\nabla^2 H = \beta_o^2 H \dots \dots \dots (1.28)$$

también conocidas como las ecuaciones de *Helmholtz* donde:

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

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^{jz} 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:

$$\nabla_{xy}^2 E + (\partial^2 E / \partial z^2) = -\beta_o^2 E \dots \dots \dots (1.30) \quad \nabla_{xy}^2 H + (\partial^2 H / \partial z^2) = -\beta_o^2 H \dots \dots \dots (1.31)$$

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

$$\nabla_{xy}^2 E = -(\beta_o^2 + \gamma^2) E \dots \dots \dots (1.32) \quad \nabla_{xy}^2 H = -(\beta_o^2 + \gamma^2) H \dots \dots \dots (1.33)$$

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.

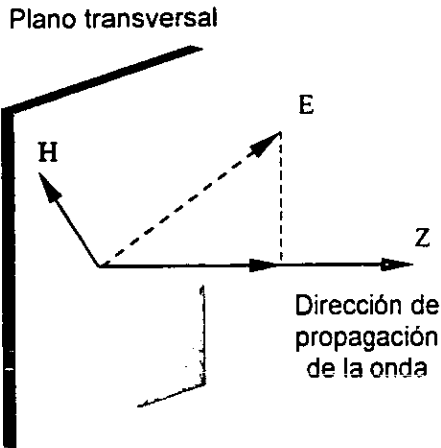


Fig. 1.11

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).

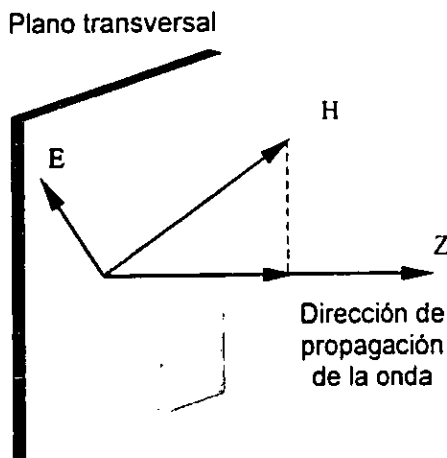


Fig. 1.12

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).

1.11 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 v es la rapidez de la luz en el medio. En general, n varía con la longitud de onda y está dado por:



A través de la diferencia del índice de refracción de dos materiales, que al incidirle un rayo de luz a un plano del material más denso a determinado ángulo se mantenga el rayo refractado en el mismo plano.

Si el material a l otro lado de la frontera es de índice de refracción mayor, el rayo de luz se refracta alejándose de la superficie fronteriza y si el índice de refracción es menor, el rayo se refracta hacia la superficie fronteriza.

El valor de refracción o ángulo de desviación es conocido como ángulo crítico y representa una situación donde se refleja toda la energía luz.

Todo rayo de luz que se encuentra dentro de la fibra a un ángulo menor que el ángulo crítico se refleja totalmente en la frontera. Esto quiere decir que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión, apareciendo esta ley por primera vez en el libro Catoptrics, cuya autoría se atribuye a Euclides. Se dice que un rayo de luz es incidente normalmente cuando $\theta_i = 0^\circ$, en cuyo caso $\theta_r = 0^\circ$ y en espejo, el rayo se refleja de nuevo en sí mismo. Del mismo modo, la incidencia rasante corresponde a $\theta_i \approx 90^\circ$ y forzosamente, $\theta_r \approx 90^\circ$. La siguiente figura demuestra lo antes mencionado.

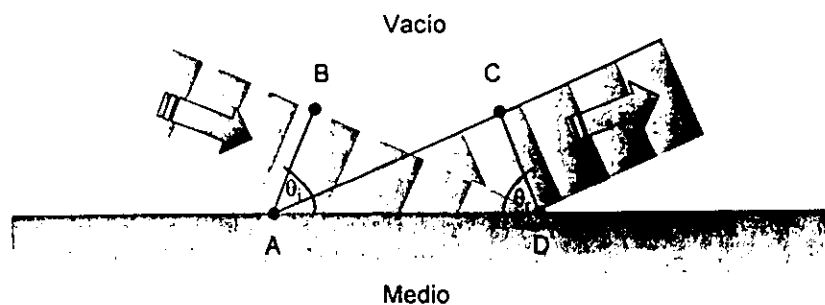


Fig. 1.13 Figura que muestra como unas ondas planas que entran por la izquierda se reflejan hacia la derecha.

2

FUENTES TRANSMISORAS Y RECEPTORES ÓPTICOS

Dentro de la amplia gama de la ciencia, la física ha dividido toda la materia en ondas y partículas; tratando a la luz y a los electrones como tal. A la partícula contenida en un haz de luz se le llama **fotón**, mismo que contiene un **Quantum** de energía; cabe mencionar que no pueden existir fracciones de esta energía solo enteros de quantum. Ahora bien la cantidad de luz contenida por un fotón depende de su frecuencia, y su energía se incrementa proporcionalmente a su frecuencia.

La longitud de onda de la luz violeta tiene más alta energía que la luz roja porque tiene más alta frecuencia, fig. 2.1.

La energía contenida por un fotón es:

$$E = h \cdot f$$

teniendo

$$c = \lambda f$$

así tenemos

$$E = h c / \lambda$$

donde:

- E = Energía [W]
- f = frecuencia [Hz]
- h = constante de Planck (6.624×10^{-34} J-s)
- c = velocidad de la luz en el vacío ($2.997\ 924\ 58 \times 10^8$ m/s \cong 300 000 km/s)

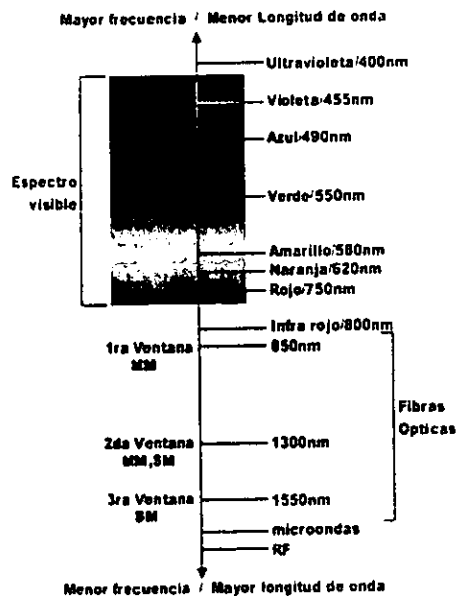


Fig. 2.1
Espectro electromagnético¹
-Frecuencia & Longitud de onda-

Arriba de la banda de valencia se encuentra la banda de conducción, cuyos estados superiores están totalmente vacíos. A la diferencia de energías que existe entre la banda de valencia y la banda de conducción, se le denomina Banda prohibida, " E_g " y varía típicamente de 1 a 8 eV para materiales dieléctricos. En un semiconductor la banda de valencia se encuentra parcialmente ocupada, mientras que la banda de conducción tiene una mínima cantidad de electrones, estando su E_g entre los 0.1 y 2 eV. Para un conductor una buena parte de la Banda de conducción se encuentra llena.

La absorción es el proceso durante el cual un electrón es excitado de la banda de valencia a la banda de conducción por la estimulación de un fotón de energía apropiada ($h\nu \geq E_g$), donde $h\nu$ es la energía del fotón que absorbe, esto se puede observar en la figura 2.5.

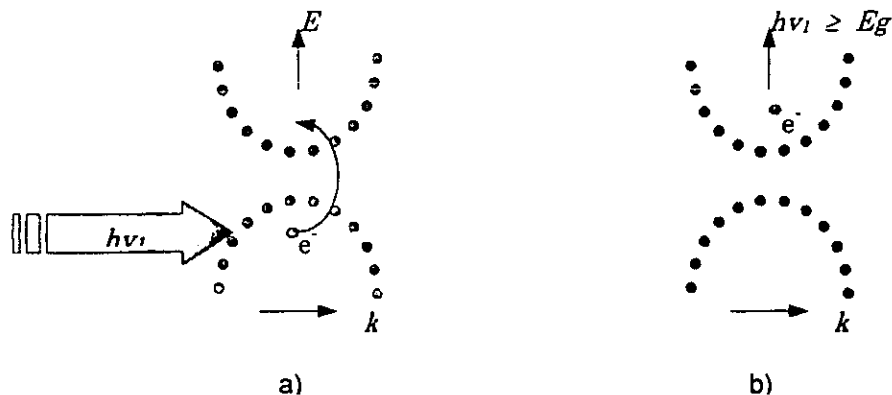


Fig. 2.5 Absorción

En el caso de la emisión, el proceso de relajación de un electrón es de la banda de conducción a la de valencia en la que resulta una emisión espontánea de un fotón por una recombinación hueco-electrón, fig. 2.6.

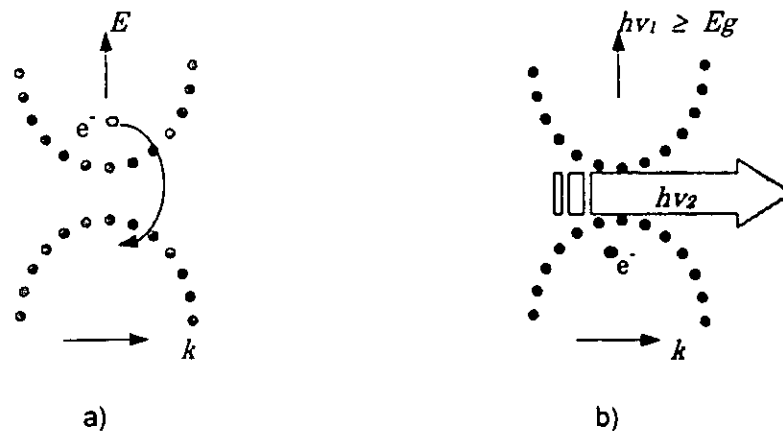


Fig. 2.6 Emisión

En ambos casos se conserva la energía ($E_x = h\nu$). Los llamados fotoemisores y fotodetectores se basan fundamentalmente en estos principios.

2.4 DIODO EMISOR LATERAL

Este tipo de diodo ELED, emplea la doble heterounión semiconductor, para confinar los portadores y los fotones en una capa activa muy angosta del orden de los 500Å (fig.2.10).

En una de las caras del diodo se coloca un espejo, y en otra, una cubierta antirreflejante para aumentar la eficiencia de emisión. Su radiancia es mayor que la del diodo emisor de superficie. El haz de divergencia sale a 30° en el plano perpendicular a la junta. Sin embargo en el plano de la junta se observa una función Lambertiana con una salida de la mitad de la potencia alrededor de 120° . Este usa un área activa que tiene geometría de cinta debido a que las capas de abajo y arriba de la cinta tiene diferente índice de refracción, los portadores son confinados por el efecto de guía de onda producido. El ancho del área de emisión es controlado por el bióxido de silicio de aislamiento y el metal depositado en la abertura. La corriente a través del área activa esta restringida al área debajo de la cinta de metal. El resultado es una salida de alta radiancia elíptica (semidireccional). La mayor parte de la luz propagada se emite únicamente en la cara final debido a la capa reflectora en la otra cara terminal y a la capa antirreflejante en la cara de emisión final. La radiancia efectiva en la última cara de emisión puede ser muy alta, dado el incremento de la eficiencia de acoplamiento en una fibra de apertura numérica pequeña comparada con la superficie emisora.

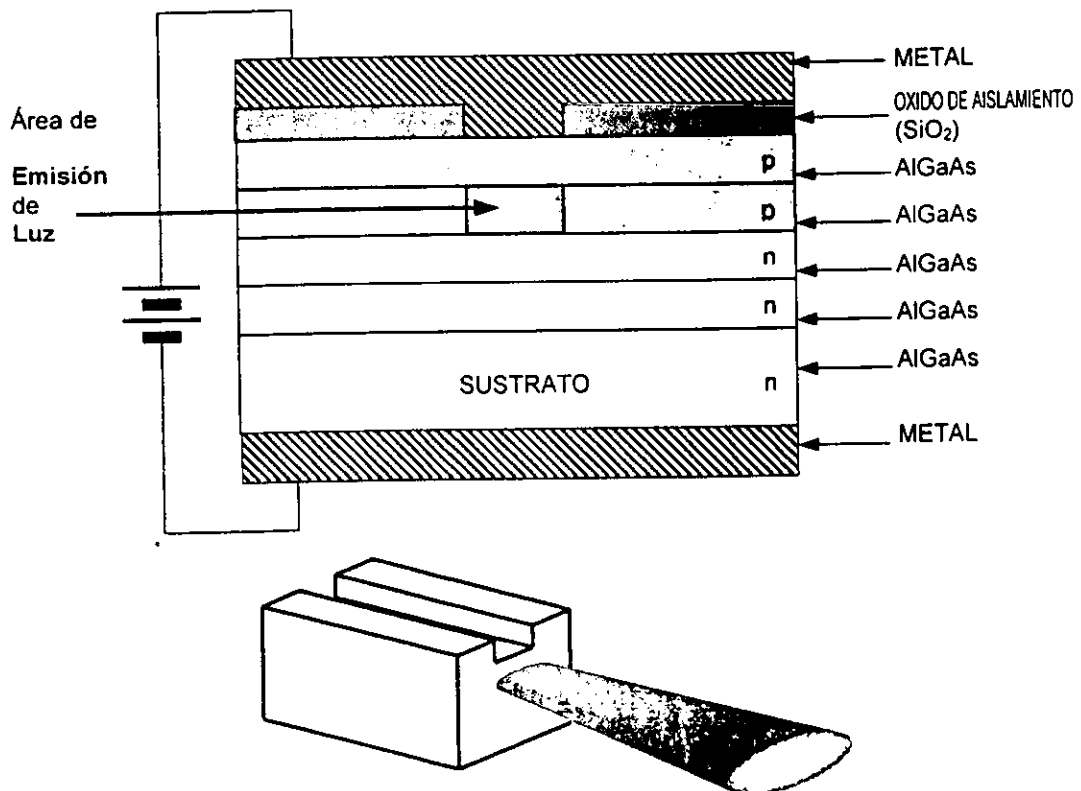


Fig. 2.10 Diodo emisor lateral -ELED-

El ancho de banda de modulación se da en términos eléctricos, esto es, el ancho de banda de -3 dB, es respecto a la potencia eléctrica detectada máxima (el ancho de banda óptico es mayor en 3 dB que el ancho de banda eléctrico).

La figura 2.14, muestra como es posible acoplar el patrón de radiación de luz del LED con el cono de aceptación de luz de una fibra óptica.

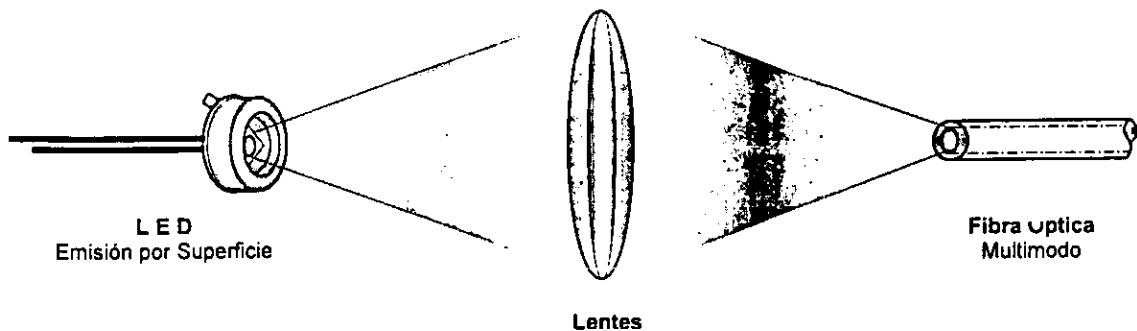


Fig. 2.14 Acoplamiento de un LED y una fibra óptica

2.6 DIODO LÁSER DE INYECCIÓN

Emisión estimulada

Esta emisión es el fenómeno básico para la emisión de luz láser. Esto se logra por medio de la inversión de poblaciones de portadores. La amplificación de la luz se produce cuando un fotón incidente estimula la emisión de un segundo fotón con una energía casi igual a la energía de separación entre los dos niveles electrónicos, fig. 2.15.

El aumento de la densidad óptica en la región donde se produce el efecto láser, se lleva a cabo por medio de una retroalimentación utilizando dos espejos que forman una cavidad resonante (cavidad de Fabry-Perot). Uno de los espejos se hace totalmente reflectante y el otro solo parcialmente es a través de este último por el cual se obtiene la salida de potencia óptica.

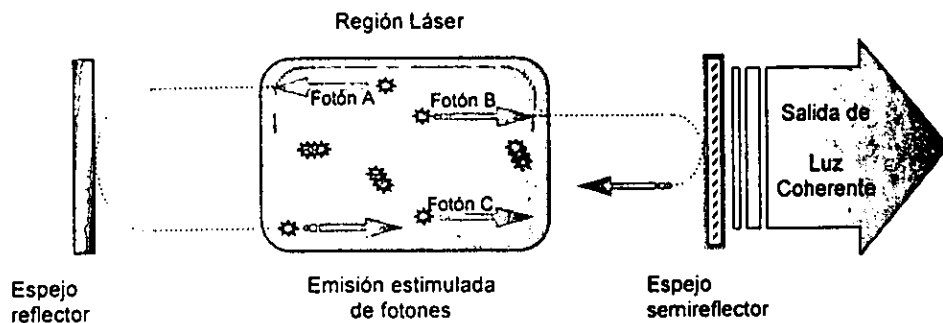


Fig. 2.15 Principio de funcionamiento del diodo láser de inyección o semiconductor

Las características de la potencia óptica de salida son: alta direccionalidad, alta radiancia y coherencia.

El nivel superior de dos niveles electrónicos (separados una energía $E = E_1 - E_2$) tiene una probabilidad más alta de ser ocupada por un electrón, que el nivel inferior y la probabilidad que un fotón (con energía $E = h \cdot f$) induzca una transición electrónica hacia abajo, excederá a la probabilidad de esta transición.

La longitud de onda de la energía es igual a:

$$\lambda = \frac{hC}{E_1 - E_2} = \frac{hC}{E}$$

donde: E_1, E_2 = energía [W]
 h = constante de Planck (6.6×10^{-34} [J·s])
 C = velocidad de la luz (300'000 [Km/s])
 E = energía requerida
 -diferencia entre los niveles de energía; banda de valencia y de conducción, respectivamente-

La principal diferencia entre un LED y un Láser es la cavidad óptica especial del Láser, requerida para su amplificación por emisión estimulada de radiación. Esta cavidad (Fabry-Perot) es hecha con geometría de cinta, formando entre dos capas combinadas de materiales N y P, de determinado espesor, una guía de onda rectangular. Su terminado interior es ligeramente ondulado en sus superficies largas, lo cual influye en la longitud de onda para la cual el láser es diseñado. Así también, todas estas superficies son paralelas y reflexivas. Las dos superficies laterales internas tienen acabado "espejo", una reflejante totalmente y otra reflejante parcialmente, como se muestra en la figura anterior. La doble heterounión (DH) que se emplea en la construcción del diodo láser, juega un papel muy importante para manejar el diodo con bajas corrientes, las cuales son suficientes para realizar el efecto propio del sistema (láser) en forma continua, a temperatura ambiente, con tiempo de vida largo.

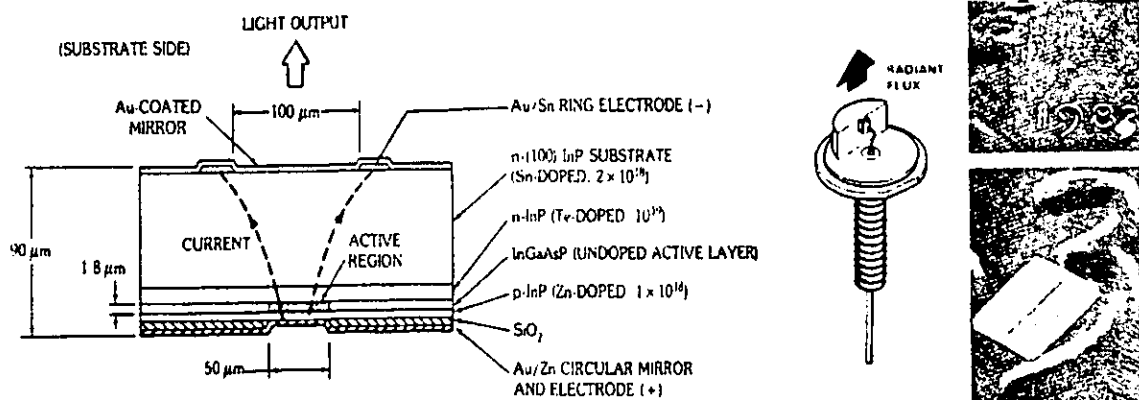


Fig. 2.16 Láser semiconductor⁵

El láser frecuentemente, viene encapsulado junto con otros dispositivos o módulos, tales como: el enfriador termoelectrónico, un disipador de calor, un fotodiodo monitor y un pigtail. El enfriador es un dispositivo el cual enfría en respuesta a la corriente excitadora, ayudando a enfriar los módulos, junto con el disipador de calor. El fotodiodo monitorea la potencia óptica de salida del láser, mandando a modificar la corriente, si es necesario, para mantener la potencia de salida constante.

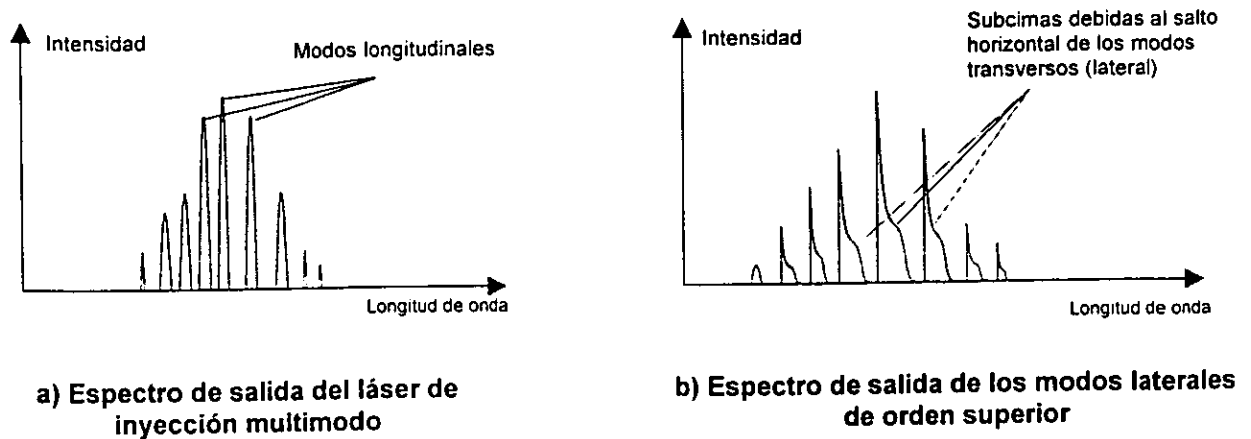


Fig. 2.22 Espectros

Por otro lado, en la figura 2.22(b), indica únicamente algunos picos de modos longitudinales, debidos a subpicos causados por modos transversales (modos laterales u horizontales al plano de la unión) de orden superior. Estos modos laterales de orden superior pueden existir en el área de emisión debido a una no restricción de la anchura de la región activa. una geometría de cintas adecuada inhibe el efecto de los modos laterales de orden superior, haciendo que por la cavidad óptica sea emitido un solo modo lateral cuyo espectro es mostrado es dicha figura (b), donde se observa únicamente los modos laterales. Esta es la representación típica del espectro de emisión de un láser de inyección multimodal.

Algunos desarrollos recientes en la fabricación de láseres multimodales AlGaAs envuelven tres áreas importantes:

- Reducir la corriente umbral requerida a temperatura ambiente, así como la potencia consumida por los dispositivos.
- Obtener una distribución estable (y estrecha) de la intensidad de campo cercano con el objeto de lograr un acoplamiento eficiente de la luz en las fibras ópticas y remover o reducir cualquier defecto en la salida de la luz contra las características de corriente.
- Incrementar la exactitud de los dispositivos.

Se ha experimentado con varios diseños y tamaños de cintas para reducir estos factores. El láser de cinta ($20\ \mu\text{m}$) con una capa de óxido ha sido fabricado con una luz relativamente libre de defectos, pero requiere de un corriente umbral del orden de 180 mA, ya que si opera con corrientes menores el primer modo longitudinal tendrá una potencia de salida muy baja, fig.2.23.



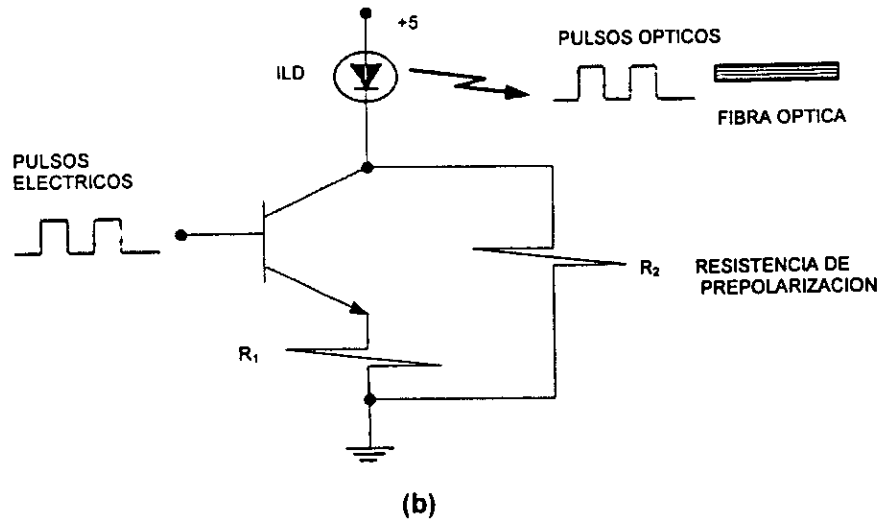


Fig. 2.26 Excitador de LED o Láser con resistencia R_2 de prepolarización de diodo

El diseño del circuito anterior, hace trabajar al láser en su región lineal. La resistencia R_2 proporciona un camino a la corriente que mantiene encendido al diodo a pesar de que el TBJ se corte, lográndose con esto dos potencias ópticas fijas y proporcionándoles a las corrientes de excitación de "1s" y "0s" en la base del TBJ.

La fuente de energía debe estar regulada y filtrada para evitar la introducción de ruido hacia otros circuitos, tales como, los componentes del sistema transmisor.

Como la corriente de umbral I_{th} varía con la temperatura y el tiempo de vida útil del láser, es necesario controlar la temperatura ambiente del láser.

Receptores ópticos (fotoreceptores).

El propósito de un receptor, en un sistema de comunicaciones óptico, es el detectar la señal de luz incidente, recuperando la información convirtiéndola en una señal eléctrica utilizable. La información a sido emitida desde una terminal remota, esto por medio del transmisor óptico.

La información se transmite mediante una portadora de una determinada longitud de onda, en el medio de transmisión, con el proceso de modulación de amplitud. Durante el viaje la señal portadora pierde energía, lo que conocemos como atenuación, y se hace más evidente la distorsión por el ruido existente en el medio de transmisión, se dice que el receptor es más bueno o sensible en cuanto sea más capaz de detectar y recuperar la información importante sin errores. El sistema más simple de telecomunicaciones óptico incluye: el transmisor, el receptor y la fibra óptica como medio de comunicación y/o enlace entre ambos, fig. 2.27.



- 2°. La respuesta lenta del dispositivo para crear corriente luego de que fueron recibidos los fotones, hace lento al diodo para aplicaciones de mediana a alta velocidad. Esta respuesta limita su operación en el orden de KHz.

Como ya se mencionó, la unión PN esta polarizada inversamente, formando una barrera de potencial y una región de difusión (en la cual se recombinan los electrones antes de crear corriente).

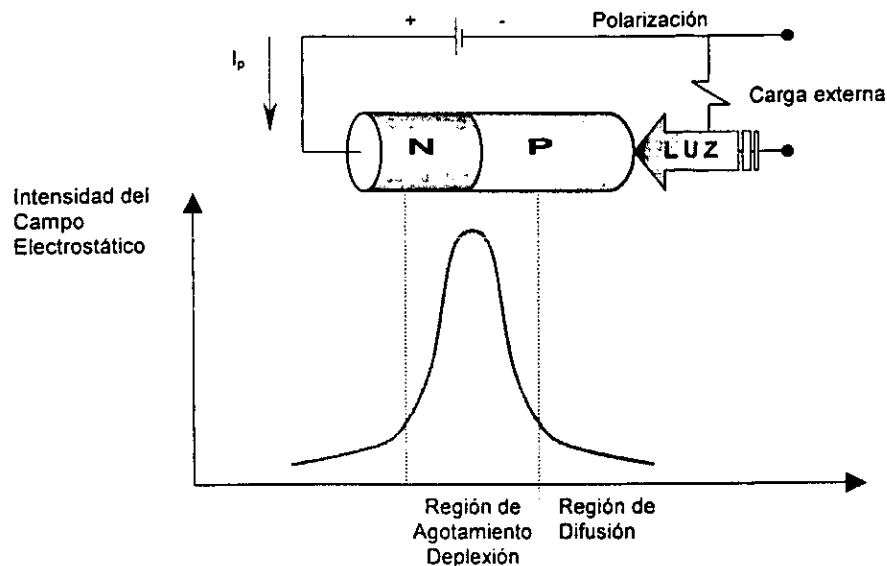


Fig. 2.32 Fotodiodo PN

Dispositivos detectores ópticos

Los fotodiodos semiconductores más usados son dos:

- Fotodiodo PIN.
- Fotodiodo de avalancha APD.

Para el fotodiodo PIN la ganancia es unitaria, mientras que para el APD la ganancia es mayor a 1, típicamente entre 10 y 100.

Fotodiodo PIN

Para resolver los problemas que presenta el fotodiodo PN se agregó entre la juntura de los semiconductores P y N un nuevo semiconductor intrínseco I*, para tratar de alargar la zona de la juntura y por lo tanto la región de alto campo, como se puede ver en la figura anterior.

Así se aprovecha más la propiedad de aceleración de los electrones que se produzcan en esta zona, por la captación probabilística de más fotones en ella. Para evitar que menos fotones caigan en la región P en la zona de difusión, este semiconductor se reduce significativamente con respecto al tamaño del semiconductor I, evitándose en lo más posible, que los electrones, de los pares electrón-hueco creados, se recombinen en este lugar antes de llegar a la zona de alto

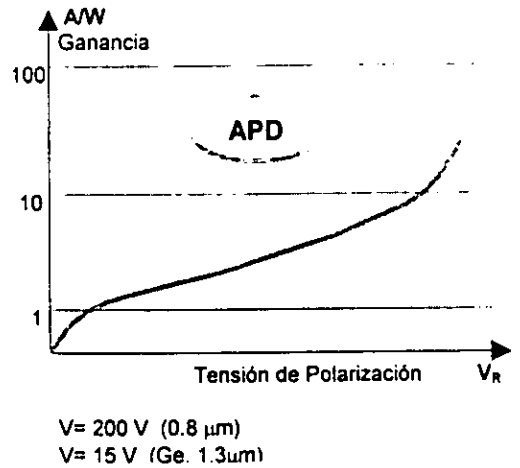
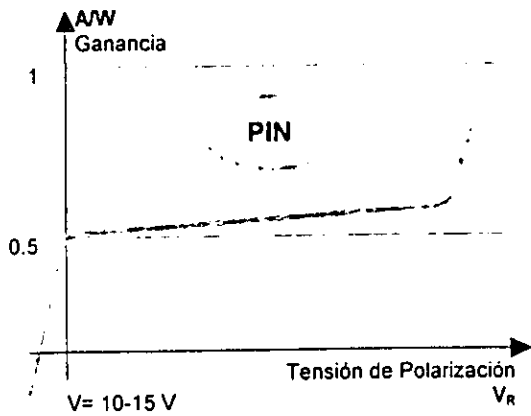
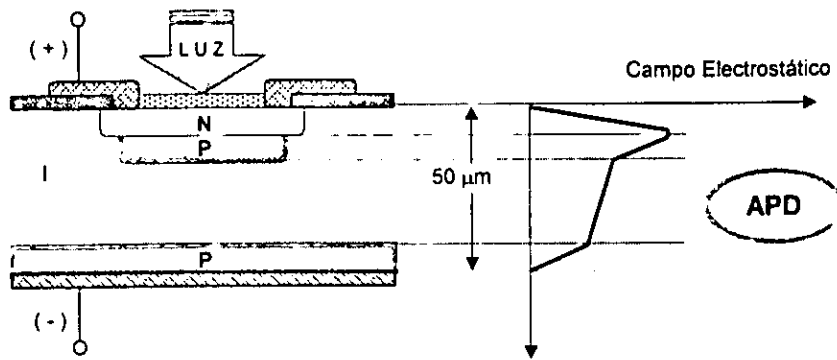
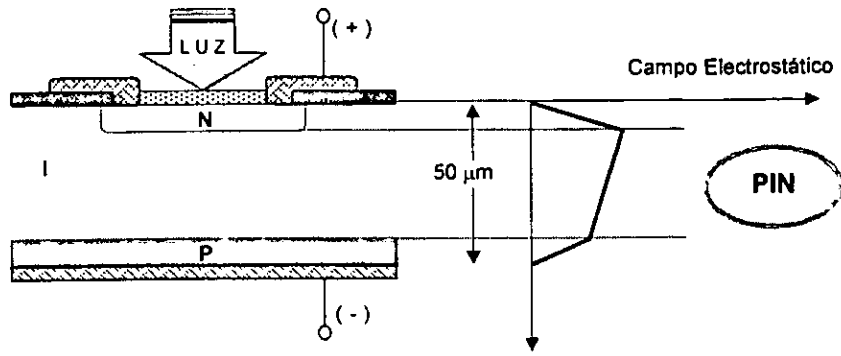


Fig. 2.37 Comparación entre un fotodiodo PIN y un fotodiodo APD con características V-I/W (responsividad) y campo electrostático



LA FIBRA ÓPTICA

En mayo de 1854, John Tyndal demostró el principio de la reflexión total interna conduciendo luz en una cascada de agua. Observó que los rayos de luz viajando a través del agua (medio ópticamente denso) no escapan hacia el aire (medio ópticamente menos denso), sino hasta que exceden a un ángulo crítico; en esencia éste es el principio de las guías de luz. Más adelante, en 1910, Deybe hizo estudios de guías de onda dieléctricas, utilizando tubos construidos de diferentes tipos de materiales dieléctricos translúcidos.

La invención del rayo láser en 1960 marcó la posibilidad de utilizar luz coherente en guías de onda para transmitir señales de comunicación. En los primeros intentos, las pérdidas de información eran muy grandes y la principal razón se debía a las impurezas en los materiales. Esto fue investigado en 1966 por Charles Kao y George Hockham, de los Estándar Telecommunications Laboratories, en Inglaterra, cuando las atenuaciones en las fibras conocidas eran del orden de 1000 dB/Km.

Cuatro años más tarde, tres físicos de la Corning Glass Works: Maurer, Keck y Kapron, eliminaron las impurezas en las fibras al suprimir los vapores dentro del tubo de vidrio que las constituye; logrando con ello, además, una mayor firmeza en el material al diseñar fibras con atenuaciones hasta 20 dB/Km.

La atenuación depende del tipo de fibra óptica de que se trate. En general, las atenuaciones alcanzadas en los últimos años han llegado hasta 0.1 dB/Km, siendo en promedio de 1 dB/Km.



Y al despejar θ_0 :

esto es,

$$n_1^2 - n_0^2 \text{Sen}^2 \theta_0 \geq n_2^2$$

$$\theta_0 \leq \text{sen}^{-1} (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} / n_0 \quad (3.9)$$

ya que:

$$n_2 = n_1 (1 - \Delta)$$

la ecuación (3.9) se puede escribir como:

$$\theta_0 \leq \text{sen}^{-1} (n_1 (2\Delta - \Delta^2)^{1/2} / n_0) \quad (3.10)$$

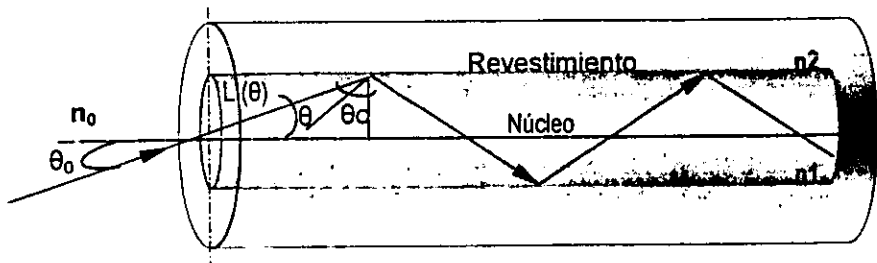


Fig. 3.6 Rayos meridionales

Si los ángulos de los rayos que inciden en el núcleo satisfacen esta ecuación, entonces el rayo sufrirá una reflexión total interna y se propagará a lo largo de la fibra. El máximo ángulo θ_0 que satisface la ecuación (3.10) se le llama *ángulo de aceptación en la fibra*. Si se excede este ángulo, entonces no ocurrirá la reflexión total interna, sino los rayos se internarán en el revestimiento.

Rayos oblicuos

A diferencia de los rayos meridionales, estos rayos siguen una trayectoria de forma helicoidal dentro del núcleo de la fibra, reflejándose también internamente.

En la figura 3.7 se muestra un esquema de la trayectoria de los rayos oblicuos. Como puede observarse, definimos θ como el ángulo entre BAC, γ es el ángulo entre OBC, y φ que es el ángulo de incidencia entre ABO.

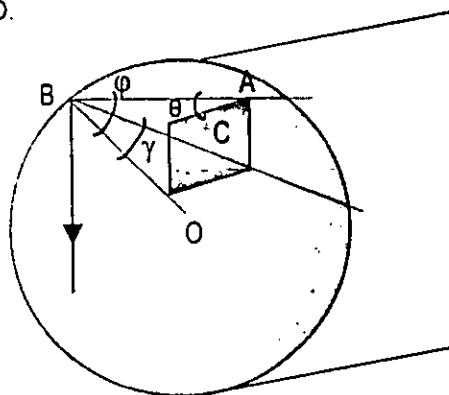


Fig. 3.7 Rayos oblicuos

- Que pueda ser transformado en fibras largas, delgadas, flexibles.
- Que sea transparente en una longitud de onda particular, para que la fibra conduzca eficientemente la luz.
- Se deben escoger materiales físicamente compatibles entre sí, pero con pequeñas diferencias en sus índices de refracción.

El vidrio y el plástico son los materiales que mejor satisfacen estos requisitos. La mayoría de las fibras hechas de vidrio están formadas ya sea de cuarzo o silicio (SiO_2)⁷ o bien, de silicatos. La variedad de las fibras de vidrio disponibles van desde las fibras con núcleos grandes y altas pérdidas (utilizadas en distancias de corta transmisión), hasta las fibras de alta transparencia, núcleo pequeño y bajas pérdidas (transmisión en largas distancias).

Por otra parte, las fibras de plástico son menos utilizadas, ya que su atenuación es sustancialmente más alta que la de las fibras de vidrio; son utilizadas principalmente en transmisión a corta distancia y en ambientes rudos y de mal trato, donde la mayor resistencia radial de las fibras plásticas ofrece una ventaja sobre las de vidrio.

3.6 FIBRAS DE VIDRIO

El vidrio utilizado en la elaboración de las fibras ópticas se elabora fundiendo mezclas de óxidos de metal, sulfuros o seleniuros. El material resultante consiste en una red molecular, conectada más en forma aleatoria, que en un orden bien definido, como se presenta en los cristales.

Es por ello que el vidrio no tiene un punto de fusión exacto, sino se refiere a un extenso rango de temperaturas en el cual se vuelve lo suficientemente fluido como para librarse de burbujas de gas. El vidrio permanece sólido hasta varios cientos grados centígrados; a medida que aumenta la temperatura, se suaviza gradualmente, hasta que a muy alta temperatura se vuelve un líquido viscoso.

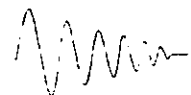
El vidrio ópticamente transparente más utilizado en la fabricación de las fibras ópticas, es el cuarzo. Para producir materiales compatibles con el cuarzo, de índice de refracción ligeramente diferente, se agrega al material flúor o algunos otros dopantes como el B_2O_3 , el GeO_2 o el P_2O_5 . En la figura 3.11 se aprecia claramente que al agregar GeO_2 o P_2O_5 , se incrementa el índice de refracción, mientras que con el flúor y el B_2O_3 disminuye.

Como en la estructura de la fibra del revestimiento debe tener un índice de refracción menor que el núcleo. Se pueden obtener los siguientes ejemplos de composición de la fibra –tabla 3.2- :

Tabla 3.2 Ejemplos de composición de la fibra²

| NUCLEO | REVESTIMIENTO |
|--|---------------------------------------|
| $\text{GeO}_2 - \text{SiO}_2$ | SiO_2 |
| $\text{P}_2\text{O}_5 - \text{SiO}_2$ | SiO_2 |
| SiO_2 | $\text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ |
| $\text{GeO}_2 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ | $\text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ |

En esta tabla, por ejemplo, la anotación $\text{GeO}_2 - \text{SiO}_2$ denota un vidrio de cuarzo dopado con GeO_2 . La materia prima del cuarzo es el silicio, que se encuentra en forma abundante en la tierra. El vidrio puro es el que se forma de cuarzo también puro, conocido como "vidrio de cuarzo" o



Deposición externa de vapores químicos (OCVD)

La principal diferencia que tiene el proceso de deposición externa de vapores químicos con el proceso MCVD, es que las partículas de vidrio de ahora se depositan lateral y externamente, juntándose para formar una preforma porosa alrededor de un miembro central.

La capa de partículas es llamada tizne (SOOT), ya que surge de un quemador de oxígeno y metano o hidrógeno, el cual posee varias salidas concéntricas, de donde surgen: los vapores de halogenuros de metal (SiCl_4 , GeCl_4 , etc.), un gas inerte que evita reacciones prematuras, y el gas combustible (C_2H_2 , H_2). Al reaccionar los halogenuros con la flama y el oxígeno, forman el tizne que se deposita en un mandril hecho de una varilla de cerámica o grafito, la cual es montada en un torno para ser rotada.

El tizne de vidrio se adhiere a la ventanilla en un estado de sinterizado parcial, formando así capa por capa una preforma de vidrio cilíndrica y porosa tal como se puede observar en las figuras 3.14a. y 3.14b.

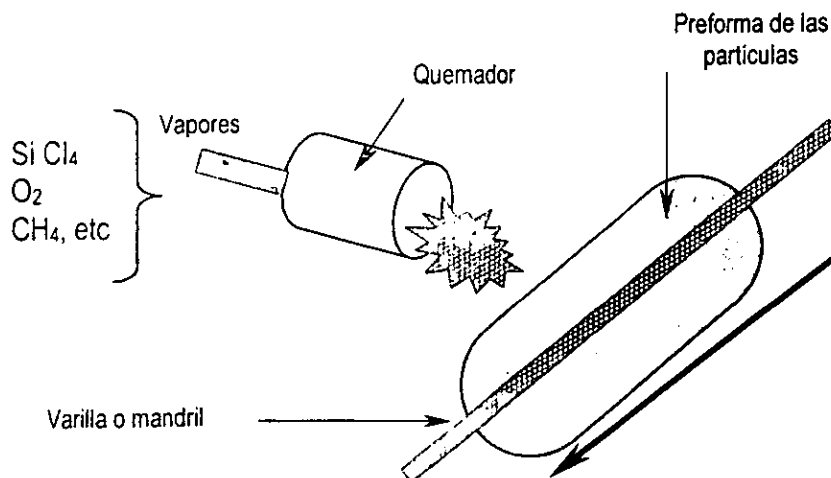


Fig. 3.14a Deposición externa de vapores químicos

La composición del vidrio y las dimensiones del núcleo y del revestimiento se incorporan controlando las componentes de los vapores de halogenuros, elaborándose de esta manera preforma de índice escalonado de índice gradual.

Al finalizar el proceso de deposición, el mandril se retira de la preforma; entonces, el tubo de vidrio poroso se sinteriza en una atmósfera seca a alta temperatura ($1,400\text{ }^\circ\text{C}$). La preforma ya transportada se monta después en una torre de estirado, para convertirse en fibra. El orificio central del tubo de la preforma se colapsa, ya sea separadamente, o bien, durante el proceso de estirado.



Deposición de vapores químicos basado en calentamiento por microondas

En la actualidad se dispone de varias técnicas de deposición de vapores químicos para la fabricación de la fibra óptica paralelamente al desarrollo de nuevos métodos. Esto es generado por la necesidad de producir la fibra óptica en gran escala y sea posible satisfacer la demanda actual a precios convenientes.

Lo anterior implica considerables exigencias sobre el volumen de producción lo que involucra directamente al tamaño de la preforma. Por ejemplo, del método MCVD se obtienen preformas bastante pequeñas de 60 cm de longitud y 15 mm de diámetro externo, de las cuales se obtienen, aproximadamente, 8 km. de fibra.

Para hacer más eficiente el método MCVD, se empleó el tubo de "ENFUNDADO" de 25 mm de diámetro externo y 19 mm de diámetro interno, el cual concéntricamente se coloca sobre el tubo de deposición de la preforma, enfundándolo. La longitud de la fibra obtenida se incremento en más de 100% pudiéndose obtener hasta 18 km de fibra.

Como el proceso de producción de la preforma, determinado en km de fibra por hora, la duración total del proceso es un factor más importante que la longitud de la preforma, se puede llegar a concluir que el método MCVD aún con el enfundado no es proceso que satisfaga los niveles de productividad deseados.

La solución al problema se presenta si el tiempo de deposición se acorta aumentando la velocidad de deposición. Esto se logra si se aumenta el flujo de gases, lo que a su vez exige tubos con diámetro interno mayor, esto es, tubos de paredes más delgadas.

Estos tubos de paredes delgadas, de gran diámetro, son estructuras mecánicas débiles y poco convenientes en el proceso. Los tubos grandes de paredes gruesas son sistemas mecánicos robustos pero presentan un problema en el proceso de deposición interna, en el cual, el quemador calienta en primer término la superficie exterior del tubo. Como la pared del tubo es muy gruesa hay una caída considerable de temperatura en la pared interna del tubo es la que determina la temperatura de reacción, la temperatura externa puede llegar a ser tan alta, que el tubo se ablande y vaporice por su cara externa.

Un método para calentar adecuadamente un tubo de vidrio de cuarzo de pared gruesa, que se ha experimentado con éxito, es el calentamiento por microondas. El vidrio de cuarzo a temperatura ambiente no absorbe las microondas, pero si se calienta entre los 500 °C y 1000 °C, la absorción se incrementa en forma notable.

Así las microondas penetran en toda la masa de vidrio del tubo gracias a la absorción continua, siendo entonces el calentamiento completamente homogéneo. Se puede concluir, que el calentamiento por microondas, es el más adecuado para calentar tubos gruesos de cuarzo.

Este tipo de calentamiento (en tubos gruesos) se emplea en el método IMCVD (Intrinsic Microwave Heated Chemical Vapour Deposition), desarrollado por Ericsson, el cual empezó a producir preformas a nivel producción piloto en la primavera de 1988. El método consiste en precalentar un tubo grueso de cuarzo hasta 1000 °C aproximadamente con un quemador convencional MCVD para permitir la absorción de microondas por el vidrio de cuarzo, luego, pasando por una cavidad de microondas cuyo campo continua elevando la temperatura del tubo hasta unos 2000° C.

Las microondas son producidas a una frecuencia 2.47 Ghz con un magnetón de 5 kw el cual se une a la cavidad por una guía de masa rectangular. Un tubo de cuarzo grueso puede ser colapsado en una forma más estable que uno delgado aunque su diámetro sea grande y por tanto, el tiempo de colapsado de un tubo grueso puede ser bien corto, lo que incrementa considerablemente la productividad si tomamos en cuenta también la reducción de tiempo en la deposición. Este método piloto aplicado por Ericsson, lo ha llevado a elevar su reproducción de preformas en 2 veces y media.



La apertura numérica es entonces definida como el seno del ángulo máximo de aceptación;

$$NA = n \text{ sen } (\theta_{\text{máx}})$$

Normalmente $n=1$, que es el índice de refracción del aire, por lo que,

$$NA = n \text{ sen } (\theta_{\text{máx}})$$

y el valor queda dentro del intervalo $0 < NA < 1$

3.12 ATENUACIÓN EN LAS FIBRAS ÓPTICAS.

La atenuación es el decremento de potencia de una señal cuando viaja en algún medio de transmisión, de un punto a otro, y nos restringe la distancia a la cual dicha señal puede ser transmitida. La atenuación de una fibra óptica se mide entonces en decibelios por kilómetro (dB/Km). Recordemos, que un decibel (referido a potencia) es 10 veces el logaritmo en base 10 del cociente de la potencia de salida con respecto a la potencia de entrada.

La atenuación en una fibra óptica se debe a dos causas principales: la dispersión y la absorción. La cantidad de luz que no llega al otro extremo de la fibra es la que ha sido absorbida por ella (convertida en calor) o ha abandonado la fibra. En el caso de una fibra óptica el componente eléctrico equivalente es la resistencia eléctrica o los alambres conductores metálicos, que también convierten la corriente eléctrica en calor.

La absorción se debe a impurezas químicas y la dispersión a propiedades de la transmisión en las fibras ópticas.

Atenuación por absorción del material

Es un mecanismo de pérdida por el cual parte de la potencia transmitida es disipada en forma de calor y se divide a su vez en atenuación por absorción intrínseca y absorción de impurezas extrínsecas.

Causas que contribuyen a la absorción.

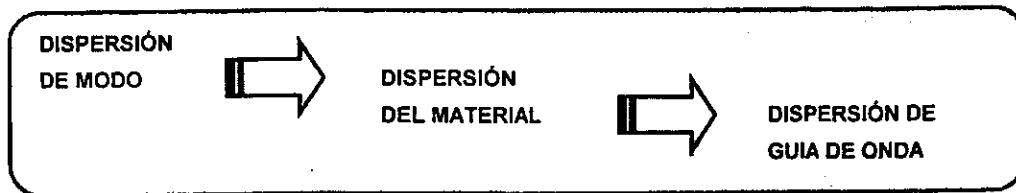
En el vidrio ocurre la absorción intrínseca por:

- Absorción UV (rayos ultravioleta)
- Absorción IR (rayos infrarrojos)

Y la absorción extrínseca por:

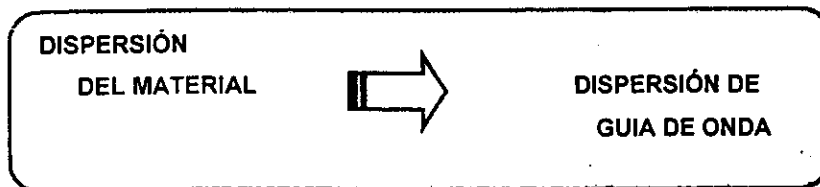
- Absorción OH (hidróxido, por humedad)
- Impurezas de iones metálicos (Fe, Co, Cr, etc.)

Las fibras multimodo mantienen la siguiente relación:



En fibras multimodo de índice gradual la diferencia de tiempo de retardo de grupo de modos (dispersión de modo), es muy pequeña.

Las unimodo guardan la siguiente proporción de dispersión:



Fibras unimodo de dispersión corrida

En longitudes de onda de operación central de una fuente alrededor de 850 nm, las longitudes de onda más grandes ("rojizas") viajan más rápido que las otras más pequeñas ("azuladas"). Una onda de 860 nm viaja a través del vidrio más rápido que una onda de 840 nm. A 1550 nm sin embargo, la situación se invierte: las longitudes de onda más pequeñas viajan más rápido que las más grandes, a 1560 nm la onda viaja más lenta que una onda de 1540 nm. En algún punto debe ocurrir que las longitudes de onda "azuladas" y "rojizas" viajen a la misma velocidad. Este cruzamiento ocurre alrededor de los 1300 nm, la longitud de onda de "dispersión cero".

La siguiente figura muestra esta idea: La longitud de las flechas representa la velocidad de la longitud de onda; de tal manera que una flecha más larga indica un viaje más rápido y llega primero.

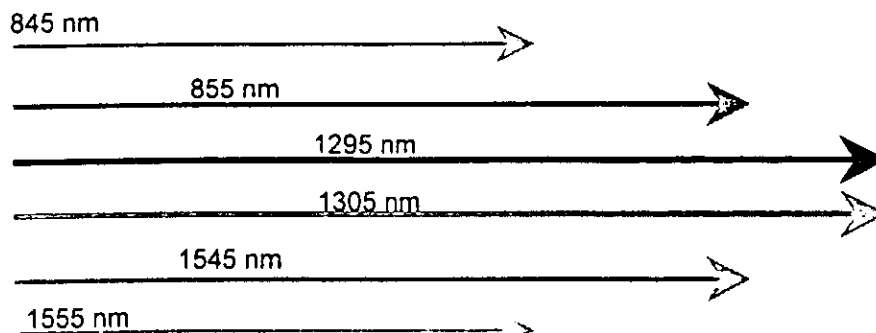


Fig. 3.23 Dispersión cero a 1300 nm en una fibra SM de perfil de índice escalonado

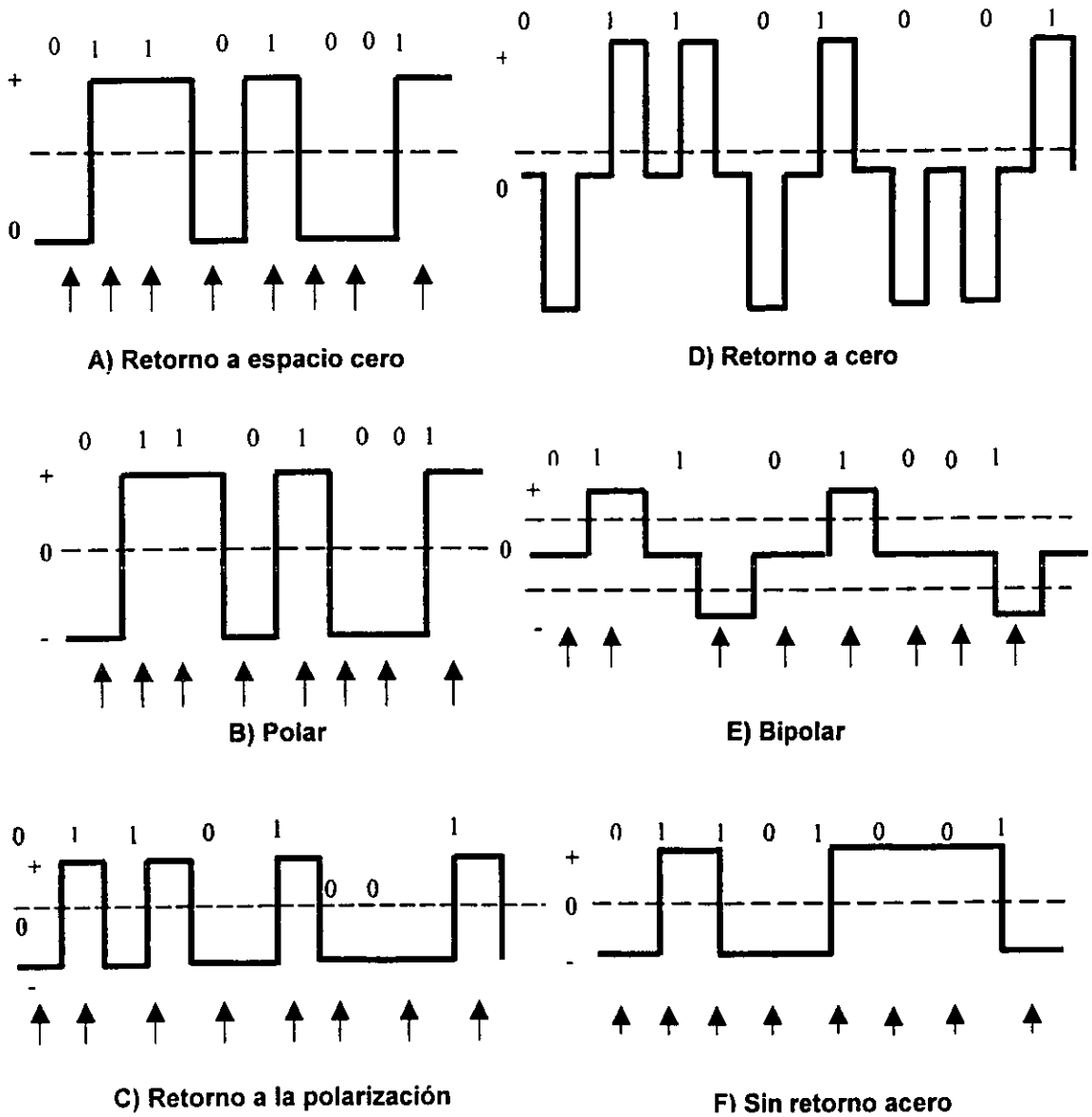


Fig. 3.27 Señales digitales de banda base

entonces:

$$B_w = 10 \log \left[\frac{I_o}{I_i} \right]^2 = 20 \log \left[\frac{I_o}{I_i} \right] = -6 \text{ (dB)}$$

Comparando los anchos de banda eléctrico B_e y óptico B_w para un sistema de comunicaciones por fibra óptica, podemos encontrar de las relaciones (a) y (b) la relación entre ellas. nótese que son semejantes cuando:

$$\text{Antlog} \left[\frac{B_e}{10} \right] = \text{Antlog} \left[\frac{B_w}{20} \right]$$

Por lo tanto, en términos de corrientes y frecuencia:

$$B_w = 2B_e$$

Para obtener esta relación simplemente los anchos de banda eléctrico y óptico fue necesario comparar la corriente eléctrica a través de un sistema eléctrico (la corriente, en lugar del voltaje, el cual es útil solo en sistemas eléctricos) con la corriente eléctrica a través de un sistema óptico, en su detector y su fuente. Esto es posible ya que en los sistemas ópticos se puede asumir una relación lineal entre la luz y la corriente, es decir que estos sistemas producen incrementos de luz proporcionales a los incrementos de corriente, en zonas bien definidas de trabajo de los emisores y los detectores.

La diferencia entre ambos anchos de banda depende de la forma de respuesta en frecuencia del sistema. Sin embargo, si se asume que la respuesta del sistema es Gaussiana, entonces el ancho de banda óptico (B_w) es solo un factor de $2 \frac{1}{2}$ mas grande que el ancho de banda eléctrico (B_e).

Propiedades del ancho de banda

El ancho de banda determina la capacidad de transmisión de información. Los sistemas de alta capacidad utilizan señales codificadas en el sistema binario de unos y ceros. Un pulso de luz alta representa un uno, y un pulso de luz baja representa un cero. El número de pulsos (bits) por segundo posibles es inversamente proporcional a la duración del pulso. Un análisis de Fourier de pulsos nos muestra que el ancho de banda ocupado por un pulso es también inversamente proporcional a esta duración. Las propiedades del ancho de banda de las fibras ópticas, pueden ser mejor comprendidas en términos de pulso mas angosto que pueda ser transmitido.

3.18 REDES.

Las redes de telecomunicaciones se han convertido en parte esencial de las actividades diarias de empresas e individuos. Muchas compañías, universidades, agencias, negocios, etc.; descansan en servicios de voz (líneas telefónicas), datos (transmisión de fax, correo electrónico, transferencia de fondos electrónicamente, etc.) y video (teleconferencia) opera asegurar su crecimiento y supervivencia. Por lo anterior, resulta sumamente importante el mantener funcionando y con niveles de servicio adecuados las infraestructuras de telecomunicaciones que soportan estos servicios.



- Los esfuerzos laterales a los que se somete el cable no se transmiten directamente a la fibra.

La protección de tipo adherente, tiene a la fibra inmersa en material plástico (resina poliamida o fluoruro), por lo que su comportamiento térmico y mecánico influye directamente en la calidad de la transmisión. Su estructura aumenta la resistencia de la fibra a los esfuerzos axiales y transversales, para evitar microcurvaturas, estiramiento y rotura. Su diámetro es en muchos casos de 900 μm .

La cubierta ceñida presenta aspectos negativos, con respecto a la cubierta holgada, como :

- Las fibras se ven afectadas con los movimientos mecánicos transversales del cable. Las fibras pueden tomar una forma curva permanente, según si a esto la fuerza la cubierta por mucho tiempo.
- Se incrementa la atenuación de la fibra óptica cuando la cubierta es sometida a bajas temperaturas, porque se puede comprimir el cuerpo.
- Los materiales empleados son muy susceptibles a la absorción de iones OH (hidróxido o humedad) y a la compresión lateral, por lo que su manejo es delicado.

Por estas razones, este tipo de cubierta es usada en cables de interiores, bien protegidos, bien colocados, y si es posible con temperatura y humedad controlada.

Cables para interiores de pigtails

En este tipo de cable, como su nombre lo indica, se usa dentro de edificios (centrales telefónicas) o comúnmente en planta interna. Las características principales de esta clase de cable son: buena flexibilidad; su cubierta externa de cloruro de polivinilo (PVC) no es propagador de fuego (antillama); son totalmente dieléctricos, por no contener elementos metálicos; y tienen solo una fibra, generalmente.

La fibra tiene protección secundaria ceñida, alrededor de la cual lleva un elemento de refuerzo de hilos trenzados de kevlar. Sobre los hilos de refuerzo se encuentra la cubierta externa de PVC. -ver figura 3.30-

La construcción típica de este cable es la siguiente:

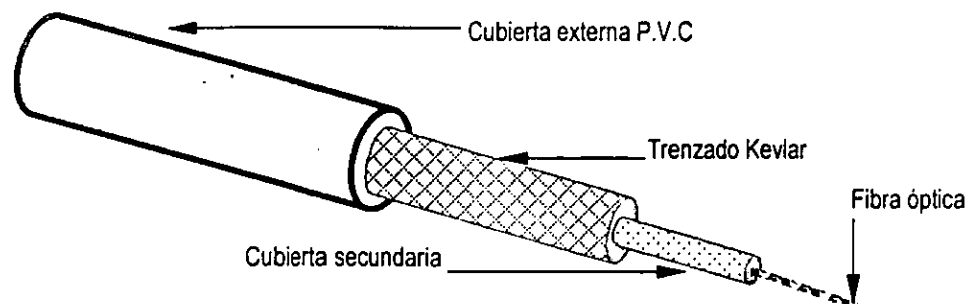


Fig. 3.32 Componentes del cordón para pigtail o jumper.

tiempo a la falla estática. La pérdida de potencia óptica se incrementa, si en la construcción del cable quedan residuos de agua.

Existen técnicas para retardar y limitar que el agua penetre a la fibra óptica como son:

- Compuestos de relleno gelatinoso (gelas).
- Presurización con gas.
- Barreras contra humedad (cubierta plástica).
-

La segunda técnica a caído en desuso, debido a los avances tecnológicos de las gelas y las barreras.

Los parámetros del medio ambiente son indispensables para determinar el tipo de materiales a utilizar, para adecuar el cable óptico al lugar donde se vaya a instalar, por lo que se toma en cuenta el coeficiente de expansión térmica y posibles cambios con respecto a la presencia de humedad. El cable tiene un rango de temperatura de operación muy amplio, entre -40 y +70 °C, y por lo tanto, es adecuado su almacenamiento bajo esta temperatura.

Tabla 3.5 Rango de temperatura del cable óptico⁴

| RANGO DE TEMP. | UNIDAD | VALOR |
|--------------------|--------|-----------|
| *En operación. | °C | -40 a +70 |
| *En almacenamiento | °C | -40 a +70 |

Tabla 3.6 Especificaciones ambientales del cable de fibra óptica⁴

| PRUEBA AMBIENTAL A 1550 (nm) | ATENUACIÓN INDUCIDA |
|--|---------------------|
| *Dependencia de la temperatura entre -60 y + 85° C | ≤0.05 |
| *Calor húmedo temperatura entre -10 y +85°C | ≤0.10 |
| *Inmersión en agua temperatura de 23 °C | ≤0.05 |
| *Envejecimiento con calor temperatura de 85°C | ≤0.05 |

Tabla 3.7 Peso, dimensiones y radio de curvatura del cable óptico⁴

| PARÁMETRO | UNIDADES | NUMERO DE FIBRAS (18 Ó 24) |
|--|---------------|----------------------------|
| * Diámetro exterior. | Cm (in) | 1.285 (0.51") |
| * Peso. | Kg/km (lb/ft) | 183.000 (1.123") |
| * Radio de curvatura permanente* | Cm (in) | 25.400 (10") |
| * Radio de curvatura momentáneo* | Cm(in) | 20.300 (8") |
| * Radio de curvatura mínimo de la F.O. | Cm (in) | 3.200 (1.26") |
| * Diámetro del campo de modo | µm | 8.100 ± 0.65 |

NOTA: L radio de curvatura mínimo "permanente" o "bajo carga" es unas 20 veces el diámetro exterior del cable de fibra óptica, y el "momentáneo" 16 veces.





INSTALACIÓN, CONEXIÓN Y MANTENIMIENTO DEL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

En este modulo se explicará el proceso de cableado y principio de empalme, en el proyecto de la red de larga distancia de cables de fibra óptica.

Se estudia, principalmente, la instalación de cable de fibras ópticas en tendido subterráneo, abarcando la instalación del cable en zonas urbanas (en una ciudad con infraestructura de canalización) y suburbanas (entre ciudades, con la infraestructura que tiene que ser planeada, desarrollada e instalada). Se da además una breve descripción del tendido de cables aéreo.

Primero se verán las características que se deben cumplir en la operación de las bobinas de cable de fibras ópticas, en cuanto a: manejo, precauciones, embarque, marcado del cable, dirección de jalado, tensión de jalado, velocidad de jalado.

Después en zonas urbanas se ven aspectos como: infraestructura de canalización, subdivisión de vías, e inmersión de cables. En zonas suburbanas se describe la infraestructura necesaria de cables en zanja y pozos utilizados, principalmente.

Por supuesto, también se describe, los procedimientos y características principales para una instalación aérea.

Posteriormente se brindará bosquejo general, en cuanto a lo que se refiere una instalación submarina, considerando dentro de esta el proyecto Columbus II, llevado acabo a finales del siglo veinte, alrededor de 1994.

Finalmente se describe el proceso de empalme de cables de fibras ópticas, abarcando: la preparación y limpieza de cables, caja de empalme, principios y utilización de los tipos de empalme.



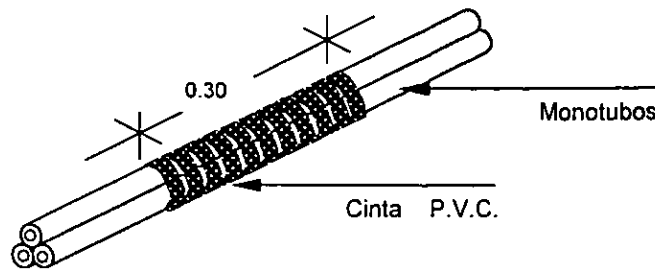


Fig. 4.3 Posición de los flexoductos para la subdivisión de vía

Posteriormente se inserta a la punta de los flexoductos encintados un dispositivo "calcetín" para sujetar los extremos de los flexoductos. El calcetín se sujeta a los flexoductos con alambre entretejido en tres tramos, o bien con cinta de aislar abarcando un buen tramo de calcetín y de flexoducto, ver fig. 4.4.

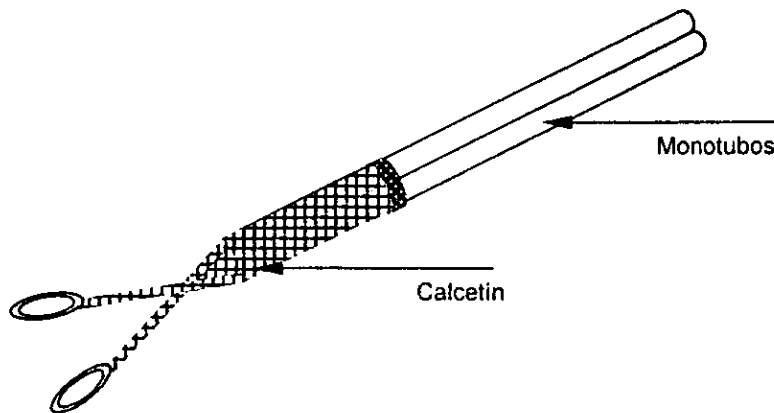


Fig. 4.4 Colocación del "calcetín" a flexoductos

Después se procede a la inmersión de los tres flexoductos en la vía telefónica a subdividir, utilizando una guía de acero previamente instalada en dicha vía, para poder jalarlos.

La guía puede ser de alambres de acero trenzado (cable de acero) o de varilla de acero flexible, esta guía debe ser capaz de soportar la tensión de jalado de los flexoductos, y se puede colocar en general por los métodos siguientes según la longitud del tramo de vía:

Método manual-mecánico

Este método se usa en la inmersión de flexoductos en tramos cortos (hasta de 70 m)

Considerando un procedimiento general, se puede usar el siguiente:

- Se introduce manualmente la guía de fibra de vidrio ("cobra") por la vía (en el pozo donde se encuentra la bobina de flexoductos) hasta el pozo del tramo de la vía (donde llegan los flexoductos).

Recomendaciones en la inmersión del cable

- Para el desenrollado del cable (desembobinado) debemos escoger un área de 24 m² mínimo (8 x 3 m), con el fin de poder hacer correctamente los "ochos".
- En la instalación manual debemos tener un obrero en cada pozo a lo largo del tramo donde se tenderá el cable.
- En pozos de tipo G3 o donde existan cambios de dirección o nivel se pueden necesitar mas de un operario, esto es a criterio del supervisor de cableado.
- Si la trayectoria del cable lo permite y además se cuenta con el personal suficiente, podemos jalar en una sola operación la longitud total del cable. En caso contrario, se puede sacar el cable hasta el pozo donde el número de operarios lo permita.

En resumen, a continuación daremos algunas recomendaciones importantes de la secuencia del proceso de inmersión de cable de fibra óptica, que se deben de tomar en cuenta cuando necesitemos hacer la inmersión del cable óptico.

- a) Colocar la bobina en el pozo escogido.
- b) Preparar la punta del cable, como se indicó anteriormente (mecanismos de tracción).
- c) Cuando sé desembobine el cable no se le deben dar jalones muy fuertes y se debe de respetar el radio de curvatura en todo el proceso.
- d) Se mete la guía de acero por el flexoducto de la vía asignada y se amarra la punta al mecanismo de tracción del cable.
- e) Cuando se introduzca el cable al pozo, se debe cuidar de no rasparlo o cortarlo con los filos del marco del pozo y las entradas a los flexoductos, lo cual se puede lograr usando un "gusano", ver la siguiente figura.

El gusano es un tubo flexible con boquilla, que evita roces innecesarios del cable y permite lubricar el cable óptico, para su más fácil inmersión.

- f) Cuando la guía llega al pozo inicial donde se empezará a jalar del cable, se tirará de esta con cuidado enrollándose en su carrete, para que luego que llegue el cable al pozo, este sea desconectado de la guía y se empiece a formar los ochos, si es necesario.
- g) El formado de ochos se puede presentar en dos casos:
 - Cuando sé desembobina el cable de la bobina o cuando se saca el cable de los pozos. En el primer caso la punta del cable queda encima de los ocho y se puede empezar a introducir al flexoducto inmediatamente.
 - En el segundo caso la punta de cable queda debajo de los ochos, y es necesario voltear los ochos de abajo para arriba para que la punta quede arriba. Esto se hace con la ayuda de varias personas para evitar que se deformen los ochos y se hagan "cocas".
- h) Se conecta la guía a la punta del cable y se ayuda a estos a introducirse al flexoducto, para llevarse al pozo siguiente, según el sentido de instalación.
- i) El operario en pozo de paso recibe la guía con el cable y la ayuda a entrar nuevamente al flexoducto de la siguiente vía, de tal manera que no afecte el ritmo de jalado. Esta operación se repite en los pozos de paso subsecuentes.
- j) Antes de fijar el cable óptico en cada uno de los pozos de paso se debe dejar la holgura necesaria ("raqueo") para evitar dañar el cable, respetando desde luego el radio mínimo de curvatura.



Identificación de los cables

En todos los pozos deberán ser identificados los cables con una etiqueta adhesiva, según la modalidad adecuada al fin a que este destinado el cable.

4.4 CABLE PARA TENDIDO AÉREO.

Procedimiento de instalación

Los cables ópticos auto soportados pueden instalarse siguiendo los métodos empleados para los cables de cobre convencionales –fig. 4.10- y teniendo la precaución siempre de no exceder los radios mínimos de curvatura del cable (de acuerdo a lo especificado por el fabricante) y de aplicar siempre la tensión solo sobre la guía de suspensión incorporada al cable.

Para reducir la catenaria y evitar que el cable sea agitado por el viento, hay que aplicar una tensión bastante alta sobre la guía de suspensión.

La utilización de alambres de suspensión externos reporta algunas ventajas. El alambre de suspensión puede instalarse por adelantado, siguiendo los métodos convencionales o bien puede usarse alguno ya existente que esté realizando alguna otra función (cables de guarda, cables de energía, etc.).



Fig. 4.10 Instalación aérea de cable óptico¹

El cable óptico se une a la guía externa mediante un fleje no metálico colocado helicoidalmente o bien utilizando banda o grapas espaciadas regularmente.

El uso de flejes no metálicos es un método rápido y se aplica por medio de un equipo atador convencional.

Un extremo del cable se sujeta al alambre de suspensión. El equipo atador se coloca sobre la guía de suspensión y el fleje no metálico se ancla al poste. Moviendo el equipo atador, el fleje se enroscará alrededor del cable óptico y de la guía.



A continuación, el buque suelta el cable que almacena en su bodega –fig. 4.18-. Aproximadamente la mitad del conducto será enterrado bajo el fondo marino, tarea para la que el buque cuenta con una especie de gran arado que traza un surco en el fondo. En otras zonas menos profundas es necesaria la participación de buzos que utilizan mangueras de agua a presión.

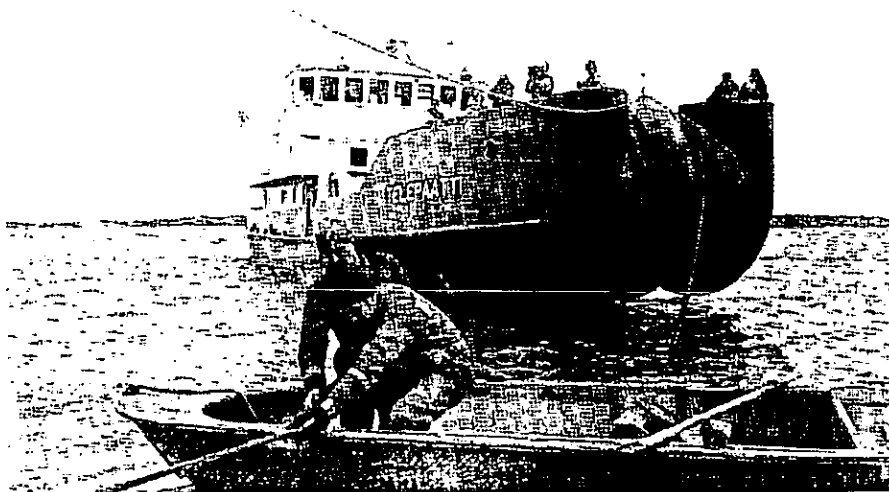


Fig. 4.18 Buque instalando cable óptico submarino¹

A medida que avanza, desde el propio barco se efectúan pruebas para comprobar que la fibra óptica funciona correctamente mientras se despliega en el mar. Por último, otro navío vuelve a realizar el trayecto para asegurarse de que no existe ningún problema en la instalación. Una vez en tierra firme, el cable submarino tiene sus propios enlaces con la red de fibra óptica.

La fibra óptica es una de las más notables tecnologías de comunicaciones del último siglo, y todo apunta a que continuará siéndolo también durante el presente. Conforme se produce el cambio desde la voz en banda estrecha hacia los servicios de banda ancha tales como multimedia y video, la óptica será fundamental para ofrecer capacidades de sistema medidas en trillones de bits de información por segundo (terabits o Tb/s) y, por qué no, de miles de trillones de bits por segundo (petabits o Pb/s).

Una de las características de los primeros sistemas de fibra óptica era que la fuerza de las señales ópticas tenía que ser regenerada electrónicamente con frecuencia, o amplificada, ya que la fuerza de la señal se debilitaba con la longitud de la distancia a recorrer. Esto aumentaba considerablemente el coste de desarrollo de los sistemas ópticos.

Gracias a las enormes distancias que necesitan recorrer los cables submarinos intercontinentales de fibra y la casi imposibilidad de reparar los regeneradores bajo el agua, este sector ha sido, y lo es actualmente, uno de los más innovadores en tecnología óptica. Concretamente, estos hechos favorecieron el desarrollo de amplificadores especiales, conocidos como amplificadores de fibra dopada con Erblio, o EDFAs, que estimulan la fuerza de la señal sin necesitar conversión de formato óptico a eléctrico y viceversa.

Los transmisores de láser de alta potencia, la amplificación para transmisión a ultralarga distancia



y las técnicas avanzadas para erradicar los errores de señal tales como FEC (Forward Error Correction), fueron también desarrollos pioneros impulsados desde el sector del cable submarino.

Mucho antes del nacimiento de la era Tb/s y Pb/s, los volúmenes de tráfico intensificaban su presión sobre la capacidad de las redes ópticas. Teóricamente, mediante la instalación de docenas de fibras adicionales podía resolverse el problema, pero, en realidad, su coste, incomodidad y los márgenes de tiempo convertían en inviable esta solución. Ampliar la capacidad para transportar varias señales ópticas simultáneamente a lo largo de una fibra existente era una propuesta mucho más atractiva. Esto se puede conseguir mediante la transmisión de cada señal a una frecuencia ligeramente diferente, o "color" de luz, mediante una tecnología llamada Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM).

Originalmente desarrollados también para aplicaciones submarinas, los primeros sistemas WDM eran capaces de transmitir 2 ó 4 colores a lo largo de una única fibra. Actualmente, esta cifra ronda los 160 en los sistemas más avanzados de WDM densa (DWDM), y los expertos prevén que la cifra podría alcanzar muchos cientos en un futuro cercano gracias a los sistemas ultra DWDM doblados (U-DWDM). Por otro lado, la capacidad para transportar información de cada frecuencia de luz se está incrementando desde los 10.000 millones de bits por segundo (gigabits) hasta los 40.000 millones de bits por segundo, con el fin de soportar la demanda de ancho de banda generada por el crecimiento de Internet.

Conforme el número de longitudes de onda de cada fibra aumenta, WDM y DWDM han encontrado un mayor número de aplicaciones. Ambas se despliegan en el núcleo principal de las redes terrestres y empiezan a aparecer en redes metropolitanas que están conectadas por las redes principales terrestres.

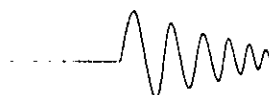
La conmutación óptica, en la cual los caminos de la luz se enrutan a sus destino sin necesidad de conversión a formato eléctrico y posteriormente al de luz, también juega un importante papel en el núcleo de la red para gestionar estas enormes cantidades de tráfico en tiempo real. Dado que la luz transportada por la fibra no puede ser "consumida" por un usuario en su estado puro, las redes tienen que incluir un número de procesos electrónicos en los extremos de los enlaces para convertir las señales de luz en información y servicios útiles. Estas capas sincronas (SDH/Sonet) también ofrecen un medio para gestionar el flujo del tráfico de la red y asegurar que se cumpla la calidad de los niveles de servicio.

Dependiendo del historial de un operador y de la modernidad de su red, las capas podrían incluir la fibra en sí misma, un capa DWDM, dos capas electrónicas intermedias y, en lo más alto, información que puede ser ensamblada en voz, datos, texto, mensajes de video o, en el caso de aplicaciones multimedia, combinaciones de estas. Cada vez más, la capa más alta de este "conjunto" de red óptica está hecha de paquetes de datos de Protocolo Internet (IP).

Ruta Submarina de Telecomunicaciones que enlaza México con el mundo

Actualmente aproximadamente el 65 por ciento del tráfico telefónico que se realiza entre México y Europa se canaliza a través del Cable Transoceánico Columbus II, sistema que permite transmitir con alta calidad voz, fax, video, texto y datos a altas velocidades y con el que se modernizan los servicios de larga distancia del país. Cabe señalar que el porcentaje restante del tráfico telefónico se continúa realizando por vía satélite, pues ambas tecnologías son consideradas complementarias.

Fue a partir de diciembre de 1994 cuando, con la entrada en operación del Columbus II, sistema del que Telmex es socio líder y en el que participan 62 compañías de telecomunicaciones de 48 países, la capacidad y velocidad para transmitir señales de telecomunicación entre México y



Ventajas de la caja de empalme

Las cajas de empalme cumple con los siguientes requerimientos:

- a) Máxima protección ambiental
- b) Diseño mecánico flexible
- c) Facilidad de crecimiento con la red

Para obtener máxima protección ambiental la caja tiene un cierre por manga termocontráctil activada con calor, eléctricamente o con aire, que ofrece máximo desempeño y confiabilidad. Este sistema sella la cúpula o domo a la base y permite fácil reentrada.

Para evitar la entrada de humedad a la caja de empalme, se usa un sistema de bloqueo de humedad en el cable. Además los herrajes de la bandeja organizadora de fibras es de acero inoxidable para evitar la corrosión.

La caja de empalme cuenta con bandejas organizadoras de las fibras ópticas que se pueden aumentar o disminuir según la cantidad de empalmes de fibras ópticas. Cada bandeja puede contener 12 empalmes de fusión y pueden haber hasta 4 bandejas (48 empalmes). Por lo tanto, para 18 o 24 empalmes (cables de 18 o 24 fibras) es suficiente contar con dos bandejas.

La facilidad de crecimiento de la red es posible gracias a que: es fácil la reentrada y el acceso a las fibras una vez instaladas; hasta un máximo de 7 cables pueden ser instalados en la base de la caja; y los cables y bandejas adicionales se instalan sin interrumpir los servicios.

Fijación de la caja de empalme y cable en pozos

Se debe tener especial cuidado en la forma en que se colocan la caja de empalme y el cable excedente (Loop's) en los pozos urbano y suburbano de carretera de empalme, por movimientos que pudieran dañarlos.

La siguiente figura muestra la colocación típica de la caja de empalme y el cable excedente en los pozos preconstruídos.

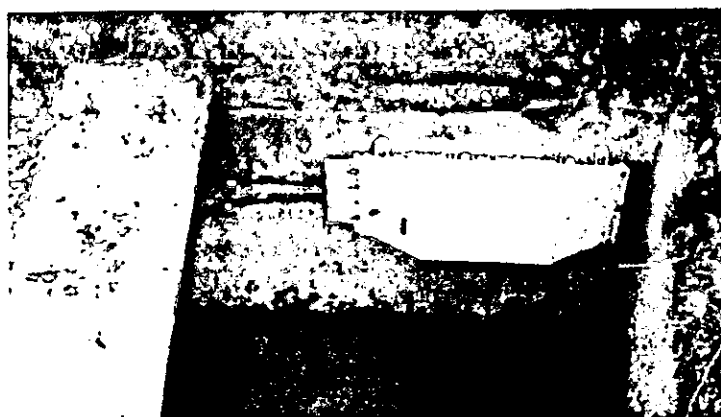
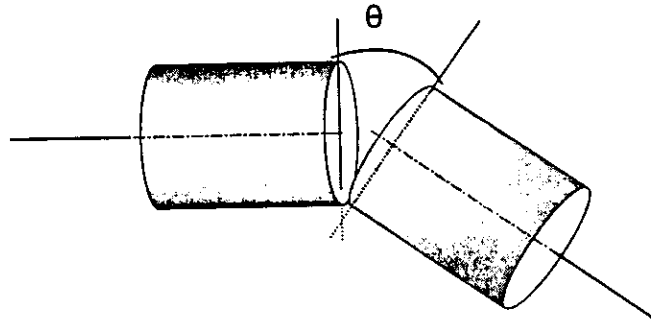


Fig. 4.20 Instalación y fijación de la caja de empalme y cable en pozos urbanos⁴

Falla angular:

Error entre los ejes de las fibras.



En orden general de importancia, las fallas que causan más pérdida son: primero la radial, luego la angular y por último la axial. También se producen pérdidas por otras fallas, como las debidas a imperfecciones de la superficie plana del extremo de las fibras ópticas.

Para evitar lo anterior los conectores requieren de alta precisión dimensional para lograr alinear los núcleos de las fibras ópticas.

De manera general los conectores para fibra óptica deben satisfacer las siguientes exigencias:

- Pequeñas pérdidas de inserción
- Simplicidad de fabricación y montaje
- Repetición de inserciones (conectar – desconectar)
- Insensibilidad a los agentes atmosféricos
- Bajo costo

Clasificación general de los conectores

En relación al método de conexión se clasifican en:

- Conectores con unión directa de las fibras (PC ó de contacto físico)
- Conectores con unión por medio de lentes

De los cuales, los conectores por unión directa de las fibras son los mas populares.

Conectores con unión directa de las fibras (PC) y empalme mecánico

Son conectores de acercamiento mecánico de precisión de los extremos de las fibras. Utilizan estructuras que presentan precisión radial, axial y angular, con el fin de obtener el alineamiento requerido de las fibras ópticas.

La siguiente figura muestra dos tipos de conectores PC (conocidos también como "empalmes mecánicos", porque aunque pueden deshacerse, no son propios para estarse conectando y desconectando, pues su proceso de ajuste del alineamiento de las fibras es laborioso y aleatorio en cada conexión, por lo que en cada conexión suelen obtenerse pérdidas diferentes).

Especificaciones de jumpers

Un jumper esta formado por una fibra óptica (rodeada para protección con una cubierta plástica ceñida y de un refuerzo con fibras de nylon) con conectores en ambos extremos.

Las especificaciones de los jumpers mas comunes se dan en la siguiente tabla.

Tabla 4.1 Especificaciones de jumpers⁶

| CARACTERISTICAS | UNIDADES | ESPECIFICACIONES |
|--------------------------|----------|-------------------------------|
| TIPO DE CONECTORES | | FCPC |
| TIPO DE FIBRA | | INIMODO DE DISPERSIÓN CORRIDA |
| LONGITUD | m | 6 |
| MATERIAL | | PVC ANTIFLAMA |
| COLOR | | AMARILLO |
| ELEMENTO DE REFUERZO | | KEVLAR |
| TEMPERATURA DE OPERACIÓN | °C | -20 A +70 |
| PERDIDA DE INSERCIÓN | dB | ≤ 0.5 |
| PERDIDA DE RETORNO | dB | ≤ 35 |
| ATENUACIÓN (A 1550 μm) | dB | 900 ± 100 |
| FABRICANTE | | CORNING |
| MODELO | | SMF/CPC3 |

Especificaciones de pigtails

Un PIGTAIL es igual a un jumper, con la diferencia de contar con solo un conector en alguno de sus extremos. De hecho los pigtails suelen obtener al cortar un jumper en algún punto de la sección que contiene la fibra (esto cuando se requieren dos pigtails con determinado largo).

Son muy útiles cuando su fibra, del extremo libre, se empalma por fusión de arco eléctrico a las fibras ópticas de un cable, para darle al cable la posibilidad de acabar sus fibras en un conector y poderse adaptar a los paneles de distribución de señal óptica, localizados en centrales telefónicas terminales o en repetidores intermedios de una ruta.

Por lo tanto, los pigtails cumplen con las mismas características de los jumpers.

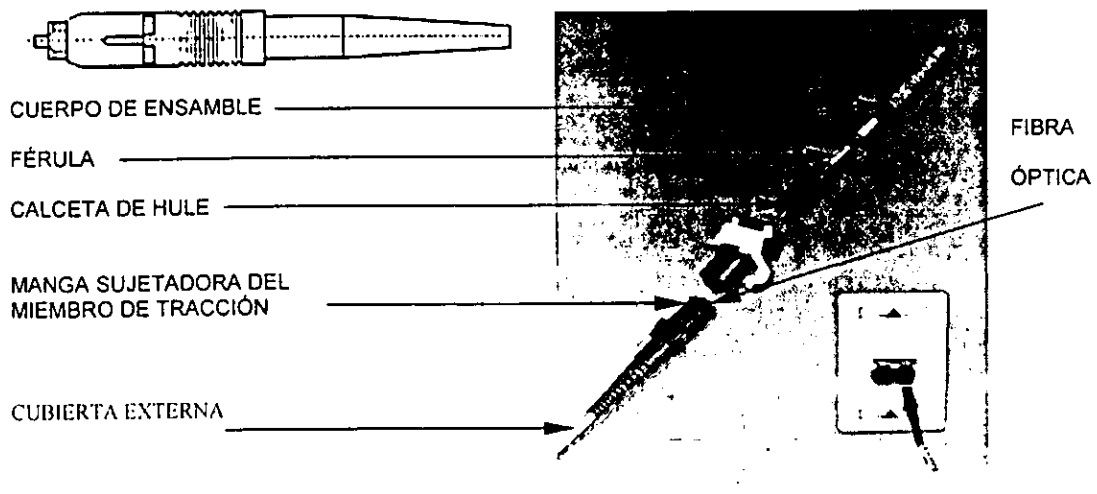


Fig. 4.32 Pigtail⁶

Conectores bicónicos

Esta tecnología es ampliamente utilizada para conectorizar la fibra unimodo, y es usada en telecomunicaciones para la transmisión de datos. Consiste en dos conos concéntricos que se encargan de alinear la fibra en el casquillo. El casquillo es de cerámica encapsulada en metal, y la cubierta es de cuarzo combinado con materia epóxico. Incluye un resorte para ajustar el punto de contacto. Las pérdidas de estos conectores son inferiores a 1 dB.

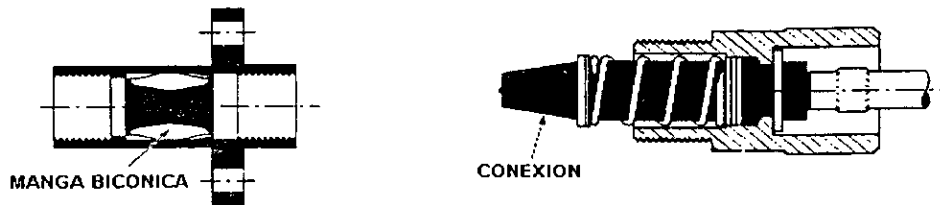


Fig. 4.33 Conector bicónico⁶

Conectores de excentricidad ajustable

Con 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 una señal de luz, inyectada a través del conector, es máxima. Una vez hecho el montaje de la fibra en el conector, se fija para que no se mueva. La precisión de alineamiento lograda mediante este conector es excelente. En estos conectores se obtienen pérdidas menores a 0.5 dB, en fibras unimodo.

Sin Embargo, la necesidad de hacer un ajuste, la mayor complejidad del conector y su mayor costo son desventajas.

Como ejemplo de este tipo de conector esta el fabricado por diamond, en el cual debe ajustarse el centrado de la fibra con un microscopio (contiene un casquillo que puede rotar 30° con respecto al eje del conector).

Otra variedad son los "conectores radiales" con tecnología "optaball", que consisten en dos alineamientos: primero el de la fibra en el casquillo, donde se ajusta radialmente la fibra, auxiliándose de un patrón de luz emitido a través del conector y radiado por una potente luz blanca, haciéndose el ajuste mediante cuatro tornillos radiales diferenciales, con auxilio de una herramienta especializada el segundo alineamiento se lleva a cabo entre los casquillos a unir, los cuales son insertados en una esfera con un orificio en el centro, asegurándose así que los ejes axiales de ambos casquillos coinciden.

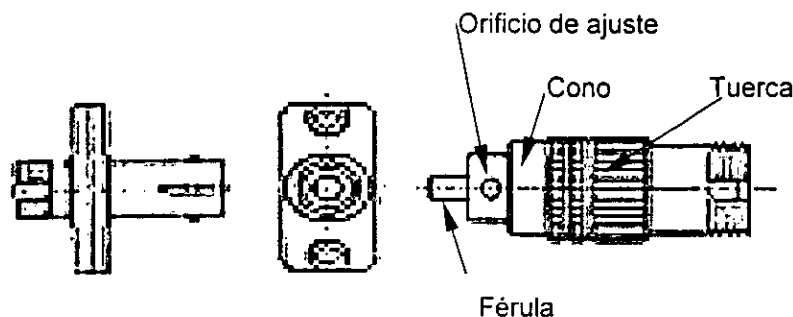


Fig. 4.34 Conectores de excentricidad ajustable⁶

4.9 MONTAJE DE CONECTORES.

Conector de férula

La siguiente figura muestra el procedimiento general de ensamble de un PIGTAIL, con conector FC (férula cilíndrica). Se siguen los pasos siguientes:

- 1) Inserción de la cubierta (calceta de hule)
- 2) Remoción de la cubierta ceñida de la fibra óptica
- 3) Limpieza de la fibra
- 4) Relleno de resina epóxica en la cavidad del conector
- 5) Inserción de la fibra
- 6) Curado de la resina epóxica
- 7) Corte de la fibra
- 8) Pulido plano de la férula y la fibra
- 9) Observación del pulido al microscopio

Costo de conectores

En cuanto se reducen los diámetros del núcleo y la pérdida de los conectores, se aumentan los costos de fabricación.

Conectores de bajo costo

Para bajas velocidades de transmisión y enlaces de fibra óptica de corta distancia, el costo de los componentes resulta muy importante. Es por ello que para estas aplicaciones son empleadas fibras con núcleo de diámetro grande 100 a 200 μ y fuentes de luz con LED (diodo emisor de luz) de bajo costo.

Para operar con estas fibras y fuentes se requieren conectores plásticos sencillos con características de operación limitadas. Uno de los más conocidos es el "optimate" que es simple de instalar, de bajo costo y adecuado en enlaces cortos.

Conectores de costo medio

Cuando se requieren mejores características en la calidad de la transmisión y estrictas tolerancias dimensionales en el tipo posicionamiento de la fibra, se emplean los conectores tipo "SMA".

Estos conectores son moderados en costo, de fácil manejo para instalación en el campo, y útiles para usarse en fibras ópticas multimodo. La pérdida típica en estos conectores es el orden de 2 dB, aunque se pueden obtener valores inferiores.

Conectores de alto costo

En aplicaciones donde se requieren alta calidad de transmisión y/o altas velocidades en la comunicación de datos, se recomiendan conectores con "alta precisión mecánica". Tal es el caso de los conectores FCPC, ya que están diseñados para usarse con fibras ópticas unimodo y presentan pérdidas menores a 0.5 dB.

Lo anterior permite aprovechar al máximo el rango dinámico de operación del sistema de comunicaciones óptico de la red de larga distancia con fibras ópticas, basado en fuentes de luz y de diodo láser y detectores con fotodiodo de tipo avalancha.



4.10 DIMENSIONES Y PÉRDIDAS TÍPICAS DE CONECTORES

En la siguiente tabla se muestran las pérdidas típicas de algunos tipos de conectores, respecto al diámetro de su núcleo:

TABLA 4.2 Pérdidas en los conectores⁶

| Tipo de conector | Rango del diámetro del núcleo [μm] | Pérdida típica [dB] |
|------------------|------------------------------------|---------------------|
| OPTIMATE | 100 - 1000 | ≤ 3 |
| SMA | 50 - 200 | ≤ 2 |
| FC | 9 - 50 | ≤ 1 |

Debido a la gran variedad de conectores agrupados en estas tres áreas, la utilización de los mismos esta determinada básicamente por el fabricante de los equipos optoelectrónicos, terminales y en función de la calidad de transmisión del sistema.

4.11 TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO SOBRE CABLES DE FIBRAS ÓPTICAS

Para la protección y continuidad de servicio de las fibras ópticas del cable, instalado en la red de fibras ópticas de larga distancia, se han tomado todo tipo de precauciones posibles para proteger los cables, sus empalmes y cada una de las terminaciones de los enlaces, una vez terminadas las instalaciones.

Para el cable directamente enterrado o en flexoducto, que va por el derecho de vía de las carreteras, se utiliza la señalización superficial y subterránea para indicar y prevenir a la gente de la existencia del cable y de los pozos de empalme. Esto es útil, luego de la instalación, para trabajos de mantenimiento o para pedir precaución cuando se realicen trabajos de cualquier índole en estas zonas.

También, el cable se protege físicamente, en la forma adecuada, según el lugar en donde vaya a ser alojado. Por ejemplo, en puentes se colocan dentro de canaletas de fierro galvanizado; en cruces de carretera, caminos, canales y vías férreas va por tubería de acero galvanizado; en tramos que van por el acotamiento o la carpeta asfáltica de las carreteras se protege con flexoducto o tubos abiertos lateralmente (openflex).

Sin embargo, a pesar de las medidas tomadas para la protección del cable, se pueden presentar daños imprevistos en cualquier parte de los enlaces de la red, como pueden ser roturas de fibras o del cable completo, en zonas urbanas y suburbanas.

El método general para reparar un cable que fue trozado en algún lugar, es hacer un empalme en ese punto. Pero como se puede ver esto es imposible si no contamos con un tramo de sobra de cable que nos permita maniobrar el empalme en su caja y además dejar un tramo de cable de reserva en cada lado de la caja de empalme.



A continuación se analizan tres casos de mantenimiento de cables rotos en zonas suburbanas y urbanas, que son:

- 1) El empalme de un cable roto en zona suburbana, directamente enterrado o en flexoducto
- 2) El empalme de un cable roto en zona urbana, entre un pozo de empalme y un pozo de paso.
- 3) El empalme de un cable roto en zona urbana, entre dos pozos de paso.

El procedimiento a seguir para resolver el problema del cable roto en un punto intermedio entre dos pozos, ya sea en zona urbana o suburbana, de cada uno de los casos anteriores.

- 1) Caso de empalme de cable roto en zona suburbana, directamente enterrados o en flexoducto.

- a) con el OTDR, conectado a las fibras del cable, en el Central telefónica o cualquier repetidor de la ruta donde se rompió el cable, se mide la distancia hasta la rotura y se establece con el plano de la ruta el lugar aproximado de la rotura. Se traslada la brigada de personal de mantenimiento especializado al lugar de la falla.
- b) Ya encontrado el lugar de la rotura del cable, se cortan las puntas de extremos desprendidos del cable, con pinzas cizalla, y se coloca un capuchón en cada punta.
- c) Desenterrar 15 m de cable a cada lado del punto de rotura.
- d) Instalar un pozo de empalme cerca del lugar donde emergen los cables (o sea, aproximadamente 1 m atrás y 15 m adelante del punto de rotura).
- e) Si el cable viene directamente enterrado, cada tramo de 15 m, se mete en su respectivo pozo.

Si el cable viene en flexoducto, se corta el flexoducto hasta el lugar donde se encuentra el pozo (cuidando de no dañar el cable, y dejando un tramo de tubo suficiente para introducirlo al pozo, de unos 10 cm). Suficiente para introducirlo al pozo, de unos 10 cm). en cada pozo, se mete el cable y el tramo sobrante de flexoducto, y se fija el tubo al orificio del pozo por donde entro (avellanando a mano la punta para adaptarla al orificio, sellando con pasta de silicón).

- f) En el caso de cable directamente enterrado, entre ambos pozos se entierra un cable de las mismas características del que se rompió. La longitud total del tramo de cable nuevo es de la distancia entre pozos mas 30 m (aproximadamente 60 m), para que se deje un excedente de 15 m en cada pozo.

Si el cable debe ir en flexoducto, primero se pone el tramo de flexoducto entre ambos pozos (correctamente sujeto a los orificios de ambos pozos, con el avellanado y la pasta de silicón), y luego se introduce el cable por el flexoducto dejando 15 m de cable de reserva en cada pozo. Se pone un tapón a la entrada del flexoducto en cada pozo.

- g) En cada pozo se empalman los cables, usando una caja de empalme.
- h) Después de arreglar y colocar correctamente el cable y la caja de empalme dentro de los pozos, se cierran los pozos, se tapan los pozos y



Retrodispersión y principio de medición con el OTDR

La medición de atenuación y localización de fallas es una de las más importantes etapas de la instalación de la fibra óptica, dado que con ellas se determinará la confiabilidad del equipo instalado. El instrumento más importante para la caracterización de los parámetros más relevantes en la instalación de las fibras ópticas es el reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (OPTICAL TIME DOMAIN REFLECTOMETER, OTDR) y básicamente se mide la potencia óptica transmitida a todo lo largo de la fibra incluyendo conectores y empalmes.

La técnica de medición usando el OTDR se basa en el análisis de la retrodispersión de la luz de la propia fibra, y tiene la ventaja de conectar únicamente un extremo de la fibra al OTDR, quedando el otro extremo libre. Por lo tanto es un equipo muy popular usado para medir las pérdidas de transmisión. Empalmes y terminaciones de un sistema ya instalado. También es útil para determinar y localizar roturas en las fibras, e incluso la distancia donde se encuentra dicha falla.

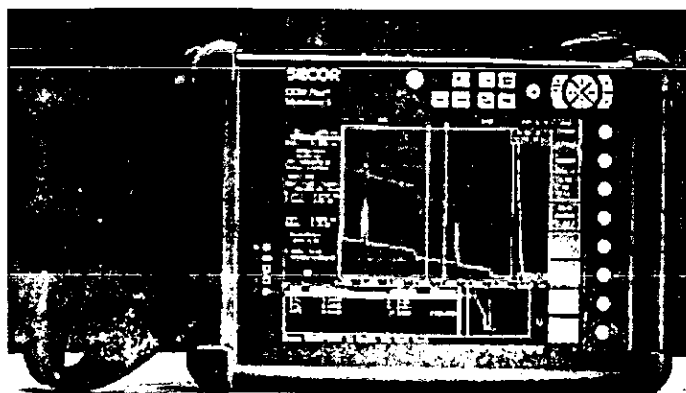


Fig. 4.36 OTDR (SIECOR)⁷

El OTDR es esencialmente un sistema de eco unidimensional cerrado, tipo radar óptico, que funciona enviando pulsos láser periódicos de corta duración (típicamente de 50 ns) Para fibras unimodo a 1550 nm. De longitud de onda y de alta intensidad de luz a través de una fibra óptica bajo prueba (de una terminal a otra), monitoreando la amplitud de la pequeña porción de luz que regresa desde cada punto del enlace (fibra, empalmes, conectores) al OTDR.

Este retorno es causado básicamente por la dispersión continua que sufre el pulso de luz a lo largo de toda la longitud del enlace. El grado de dispersión depende de:

- La reflexión de Fresnel, que ocurre cuando la luz pasa de un medio a otro con diferente índice de refracción.
- La dispersión de RAYLEIGH, que se debe a imperfecciones moleculares en la misma estructura de la fibra óptica.

Respecto a la reflexión de FRESNEL, el porcentaje de potencia reflejada se expresa en función de la variación en los índices de refracción como:

$$\text{Potencia Óptica Reflejada} = \left(\frac{N_f - N_o}{N_f + N_o} \right) * 100 \quad [\%]$$



Refiriéndonos a la dispersión de Rayleigh, la luz de Tyndall reflejada es una señal que se propaga hacia atrás hasta el extremo conectado al OTDR. En fibras ópticas de alta calidad las pérdidas más relevantes se deben a esta dispersión.

La señal de retrodispersión tiene una forma de exponencial decreciente, cuya amplitud es proporcional al producto de la potencia de entrada y del ancho pulso.

En la práctica es muy difícil conseguir una fibra óptica perfecta debido a la presencia de fallas, a los empalmes y a las malas terminaciones, que en conjunto producen reflexiones y retrodispersiones del pulso transmitido, y que gráficamente se manifiesta en forma de picos y degradación en la forma de la curva.

El comportamiento de la potencia mostrada en la curva es debido entre el primer y el tercer punto por un retorno de luz debido a la retrodispersión. En el segundo punto hay un empalme por fusión de arco.

Una vez que el pulso alcanza el tercer punto se encuentra con un conector óptico, resultando una reflexión de la señal que se manifiesta como un pico en la curva que cae de nuevo al nivel de retrodispersión.

En el cuarto punto, la reducción en el nivel de la señal se debe a la presencia de una región de alta atenuación causada por tensiones en la fibra (provocando un efecto de atenuación).

En el quinto punto se manifiesta un pulso de amplitud considerable debido a que nos encontramos en el extremo terminal de la fibra, en el cual se manifiesta la reflexión de Fresnel por los cambios de índices de refracción del vidrio al aire.

Los pulsos de luz de corta duración son producidos por un diodo láser semiconductor. Dicho diodo actúa como convertidor electro-óptico que produce los pulsos de luz que se introducen a la fibra óptica sometida a prueba, pasando antes por un acoplador óptico direccional.

El rayo de luz pulsante es inyectado a través de la fibra, y cuando un pulso se encuentra con alguna imperfección el rayo experimentará una difusión de Rayleigh (a todo lo largo de la fibra) o una reflexión de Fresnel (principalmente en los extremos de la fibra) y parte de la luz del pulso retornará.

Una vez que la luz es reflejada por la fibra bajo prueba, el acoplador óptico direccional se encarga de dirigirla al fotodetector de señales ópticas (un fotodiodo de avalancha, APD) que actúa como conversor opto-electrónico para enviar la señal al amplificador logarítmico y de ahí al osciloscopio donde se analiza y procesa la señal para obtener una gráfica de medición de atenuación & distancia.

El acoplador óptico direccional evita que los pulsos de luz transmitidos pasen directamente al fotodetector, y a su vez que los rayos que retornan pasen al fotodetector sin hacerlo hacia el emisor láser.

Esta señal es una medida directa de la atenuación de la fibra contra la longitud, trazada en una escala semilogarítmica. La pendiente de la curva en cualquier punto representa una atenuación promedio de la fibra.

En el extremo izquierdo de la gráfica atenuación – distancia se presenta una información falsa llamada de "zona muerta", en la que el OTDR no es capaz de estimar ninguna atenuación confiable (regularmente la información perdida en esta zona es de unos 100 m). Para lograr que esta zona no se haga presente en el tramo del enlace que se quiere caracterizar y poder observar dicho tramo completo en el OTDR, se utiliza un tramo de fibra óptica auxiliar entre el OTDR y el

Para la utilización del instrumento, es necesario tomar las precauciones que a continuación se enumeran:

- 1°. Los conectores de entrada y salida del instrumento, deben permanecer cubiertos todo el tiempo en que no estén en uso.
- 2°. Todas las partículas contaminantes deben de ser eliminadas de los conectores con "limpia lentes" o cotonetes impregnados en alcohol.
- 3°. Deben de colocarse conectores perfectamente compatibles.
- 4°. Nunca intentar ver el haz de luz, ya que esta acción puede provocar daño irreversible a la vista.

Medidor de potencia óptica

Este instrumento es también muy versátil, nos permite realizar mediciones de atenuación y potencia óptica; además puede almacenar hasta 10 datos en memoria (EPROM).

Las especificaciones más importantes de operación son⁸:

| | | | |
|--|----------------------------|--------------------|--|
| • Longitudes de onda estándar | 820, 850, 1300, 1550, [nm] | | |
| • Longitudes de onda secundarias | | | |
| 30 calibraciones en intervalos de 10 nm: | 800 a 900 [nm] | | |
| | 1200 a 1350 [nm] | | |
| | 1500 a 1600 [nm] | | |
| • Rango de medición logarítmica | 1300 - 1550 [nm] | + 5 a -73 [dBm] | |
| | 820 - 850 [nm] | + 5 a -62 [dBm] | |
| Rango de medición lineal | 1330 - 1550 [nm] | 3 [mW] a 0.05 [nW] | |
| | 820 - 850 [nm] | 3 [mW] a 0.6 [nW] | |
| • Precisión de medición | | | |
| Logarítmica: | 0.01 [dBm] | 0.01 [dBm] | |
| Lineal: | 0.01 [nW] | 0.01 [μW] | |
| | 0.001 [mW] | | |

Atenuador óptico

Su función es proporcionar atenuación continua en señales ópticas de una onda larga aplicadas en fibra unimodo:

CONCLUSIONES



Las nuevas tecnologías de teleinformación, perfilan a la sociedad, hacia un mundo de comodidades y liderazgo en el plano económico, lo cual implica, que hoy en día, cualquier individuo económicamente activo no pueda darse el lujo de omitir la aplicación, ya sea de un teléfono, fax, PC, radio-localizador, teléfono celular, la Internet, e inclusive los medios de comunicación, pues estas son consideradas una herramienta de trabajo imposible de eludir, puesto que la vida moderna, y no digamos la competencia por mejores mercados, lo exige. Esto quiere decir, si el saber leer y escribir era imprescindible en la vida de cualquier individuo, hoy día, se consideran estas tecnologías como elementos imprescindibles, para la modernización y globalización de la humanidad; por consiguiente, la sociedad en general –individuos, gobiernos, escuelas, etc-, deben de implementar mecanismos que realmente, impulsen el uso de dichas tecnologías.

Cabe mencionar, que dentro de los principales sistemas de comunicaciones a que hacemos referencia, se encuentran los sistemas satelitales, sistemas por microondas, sistemas por redes físicas; bifilares, coaxiales, fibras ópticas e híbridas, cada una con sus respectivos mecanismos para su uso comercial. Ahora bien, contemplando el crecimiento vertiginoso e incesante de las redes físicas, nos planteamos la necesidad de desarrollar el presente trabajo, en donde hemos efectuado el análisis de las mecánicas a realizar, para la instalación de una red, que para nuestro caso nos llamó la atención la fibra óptica; como medio primordial en la transmisión de grandes volúmenes de información. Fundamentalmente esta inquietud se justifica en conocer y visualizar, esta rama de las comunicaciones; desde un punto de vista técnico-humano; su instalación, conexión y mantenimiento, pues normalmente se desconocen los conceptos y ejecuciones básicas para la instalación de dicho medio.

La fibra óptica ha recobrado espacio en el amplio campo de las telecomunicaciones, y mejor aún en otros campos de la ciencia, tales como la medicina, la biología, física nuclear, etc., gracias a las grandes investigaciones, tanto de físicos como de ingenieros aplicados a la ciencia de materiales y telecomunicaciones. La investigación concerniente a componentes optoelectrónicos y fibras ópticas han traído consigo un sensible aumento respecto a la calidad en el funcionamiento de dichos sistemas.

Los proveedores de servicios teleinformáticos, día a día, implementan nuevas tecnologías en sus redes, pues la creciente demanda de transporte de información en grandes volúmenes lo requiere. Veamos entonces, que los siguientes datos numéricos, nos brindan una clara visión del crecimiento de las redes, como un elemento importante y evolutivo dentro del campo de las telecomunicaciones. En América latina, a finales de 1999 existían aproximadamente 166'000 km de fibra óptica, lo que represento un 123% de crecimiento, en comparación a los 75'600 km reportados en 1998, hacia finales del 2000 se estimó que el total de fibra óptica había pasado a 249'000 km, lo cual significó un crecimiento del 49.8% respecto a 1999. Esto quiere decir que se prevé un crecimiento en América Latina del 29.9% anual hasta el 2004. Este crecimiento ha derivado propiamente en la reducción de costos, tanto en instalación como en tecnología más versátil, y en la expansión de las redes. Ahora bien, dentro de las telecomunicaciones, los

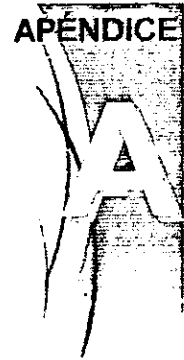


BIBLIOGRAFÍA



- **Electronic measuring instruments**, Anritsu-Wiltron, Japón, 1997.
- **Electrónica, Teoría de Circuitos**, Robert Boylestad – Louis Nashelsky, Prentice-Hall Hispanoamericana, quinta edición, México, abril-1996.
- **Fiber optics**, Robert J. Hoss – Edward A. Lacy, segunda edición, E.U.A., 1982.
- **Fibras ópticas**, Centro de óptica ITESM – Conductores Latincasa, Monterrey, México, febrero-1990.
- **Fibras ópticas**, Telmex, Capacitación tecnológica digital, México, 1998.
- **Física**, Tomo II, Serway Raymond A., McGraw-Hill, segunda edición, México, 1993.
- **Fundamentos de electromagnetismo para ingeniería**, David K. Cheng, Addison-Wesley Iberoamericana, Wilmington, Delaware, E.U.A., 1997.
- **Fundamentos y empalmes de fibra óptica**, Inttelmex, mayo-1997
- **Ingeniería de construcción de redes – Curso sobre cable de fibras ópticas**, L. Cubillo L. – Alcatel Indetel, México, 1994
- **Introduction to optical fiber communications**, Yasuharu Suematsu – Ken-Ichi Iga, John Wiley & Sons, Japón-E.U.A., 1982.
- **Óptica**, Hecht E., Addison-Wesley Iberoamericana, Madrid, 2000.
- **Optical-Fiber Transmission**, E.E. Basch, Howard W. Sams & Co., E.U.A., 1987.
- **Proceso de la construcción de redes ópticas**, Inttelmex, agosto-1995.
- **Redes de computadoras**, Andrew S. Tanenbaum, Prentice-Hall Hispanoamericana, tercera edición, México, marzo-1998.
- **Sistemas de comunicación**, Latí – Bhagwandas Pannalal, Nueva editorial interamericana, Madrid, 1986.
- **Sistemas de comunicación digitales y analógicos**, Leon W. Couch II, Prentice-Hall Hispanoamericana, quinta edición, México, octubre-1998.
- **Sistemas de comunicación**, B. P. Latí, Limusa-Noriega editores, México, 1995.





EL DECIBEL

El decibelio o decibel (dB) es considerado como una unidad de medida fundamental con la cual todos los diseñadores en sistemas de telecomunicaciones, pueden evaluar la eficiencia de cierto sistema. ¿Pero, que es un dB? La respuesta puede ser encontrada al observar los orígenes de la terminología.

Primero fue usado para medir la intensidad de sonido, siendo nombrado decibelio por Alexander Graham Bell. Un decibelio es una manera conveniente para los ingenieros de describir la entrada respecto a las proporciones de salida, ya sea que estemos hablando de voltajes o de energía potencial. Ahora bien el termino *bel* proviene de l apellido de Alexander Graham Bell. Sin embargo, al encontrarse que el bel es una unidad de medida demasiado grande para propósitos prácticos, se tuvo que definir como decibel (dB) de manera que 10 decibeles = 1 bel

Siendo una unidad logarítmica de medición esta es usada para comparar dos niveles de potencia . denotado por P_i el nivel de potencia de referencia, el decibel (dB) se define por la siguiente ecuación:

$$B = Bel = \log_{10} \left(\frac{P_o}{P_i} \right) = 2 \log_{10} \left(\frac{V_o}{V_i} \right)$$

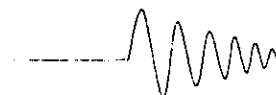
$$dB = decibel = 10 \log_{10} \left(\frac{P_o}{P_i} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{V_o}{V_i} \right)$$

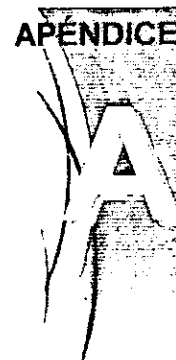
donde: P_i = potencia de entrada (referencia) [watts]
 P_o = potencia de salida [watts]
 V_i = voltaje de entrada (referencia) [volts]
 V_o = voltaje de salida [volts]

Los decibeles también se utilizan para indicar valores absolutos de potencia agregando una tercera letra a la notación.

Ahora bien, recordemos que esta relación de potencias, tanto de salida como de referencia nos puede ofrece una ganancia en decibeles y no mediante una relación común. Por otro lado, si el nivel de referencia P_i es un miliwatt, la potencia P se expresa en "decibeles sobre un miliwatt", en donde la resistencia que se asocia con el nivel de potencia de 1 mW corresponde a 600Ωelegida esta cantidad debido a que se refiere a la impedancia característica de las líneas de transmisión en la comunicaciones electrónicas:

$$G_{dbm} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_o}{1mW} \right)$$





EL DECIBEL

El decibelio o decibel (dB) es considerado como una unidad de medida fundamental con la cual todos los diseñadores en sistemas de telecomunicaciones, pueden evaluar la eficiencia de cierto sistema. ¿Pero, que es un dB? La respuesta puede ser encontrada al observar los orígenes de la terminología.

Primero fue usado para medir la intensidad de sonido, siendo nombrado decibelio por Alexander Graham Bell. Un decibelio es una manera conveniente para los ingenieros de describir la entrada respecto a las proporciones de salida, ya sea que estemos hablando de voltajes o de energía potencial. Ahora bien el termino *bel* proviene de l apellido de Alexander Graham Bell. Sin embargo, al encontrarse que el bel es una unidad de medida demasiado grande para propósitos prácticos, se tuvo que definir como decibel (dB) de manera que 10 decibeles = 1 bel

Siendo una unidad logaritmica de medición esta es usada para comparar dos niveles de potencia . denotado por P_i el nivel de potencia de referencia, el decibel (dB) se define por la siguiente ecuación:

$$B = Bel = \log_{10} \left(\frac{P_o}{P_i} \right) = 2 \log_{10} \left(\frac{V_o}{V_i} \right)$$

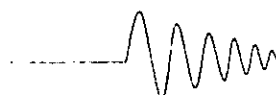
$$dB = decibel = 10 \log_{10} \left(\frac{P_o}{P_i} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{V_o}{V_i} \right)$$

donde: P_i = potencia de entrada (referencia) [watts]
 P_o = potencia de salida [watts]
 V_i = voltaje de entrada (referencia) [volts]
 V_o = voltaje de salida [volts]

Los decibeles también se utilizan para indicar valores absolutos de potencia agregando una tercera letra a la notación.

Ahora bien, recordemos que esta relación de potencias, tanto de salida como de referencia nos puede ofrece una ganancia en decibeles y no mediante una relación común. Por otro lado, si el nivel de referencia P_i es un miliwatt, la potencia P se expresa en "decibeles sobre un miliwatt", en donde la resistencia que se asocia con el nivel de potencia de 1 mW corresponde a 600Ωelegida esta cantidad debido a que se refiere a la impedancia característica de las líneas de transmisión en la comunicaciones electrónicas:

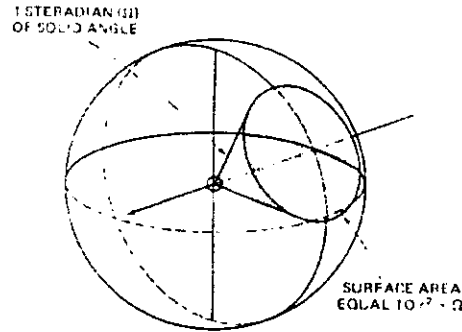
$$G_{dbm} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_o}{1mW} \right)$$



| | |
|-----------|---|
| 1931 | James Chadwick descubrió el neutrón. Los mecanismos de las uniones nucleares y los decaimientos se convirtieron en problemas principales. |
| 1933-34 | Enrico Fermi desarrolló una teoría del decaimiento beta, que introdujo las interacciones débiles. Ésta es la primera teoría que usa explícitamente los neutrinos y los cambios de sabor de las partículas. |
| 1933-34 | Hideki Yukawa combinó la relatividad y la teoría cuántica, para describir las interacciones nucleares sobre la base del intercambio, entre protones y neutrones, de nuevas partículas (mesones llamados "piones"). A partir del tamaño del núcleo, Yukawa concluyó que la masa de las supuestas partículas (mesones) es superior a la masa de 200 electrones. Éste es el comienzo de la teoría mesónica de las fuerzas nucleares. |
| 1937 | Una partícula con una masa de 200 electrones es descubierta en los rayos cósmicos. Mientras que al principio, los físicos pensaron que era el pión de Yukawa, se descubrió más tarde que era un muón. |
| 1938 | E.C.G. Stueckelberg observó que los protones y los neutrones no decaen hacia ninguna combinación de electrones, neutrinos, muones, o sus antipartículas. La estabilidad del protón no puede ser explicada en términos de conservación de energía o de carga; propuso la conservación independiente del número de partículas pesadas. |
| 1941 | C. Moller y Abraham Pais introdujeron el término "nucleón" como un término genérico para los protones y los neutrones. |
| 1946-47 | Los físicos comprendieron que la partícula del rayo cósmico, que se pensaba que era el mesón de Yukawa, es en cambio un "muón", la primera partícula en ser encontrada, de las de la segunda generación de partículas materiales. Este descubrimiento fue completamente inesperado -- I.I. Rabi comentó "¿quién ordenó esto?" El término "leptón" se introdujo para describir objetos que no interactúan demasiado fuerte (los electrones y los muones son leptones). |
| 1947 | En los rayos cósmicos es encontrado un mesón, que interactúa fuertemente, y se determina que es un pión. |
| 1947 | Los físicos desarrollan procedimientos para calcular las propiedades electromagnéticas de los electrones, positrones, y fotones. Introducción de los diagramas de Feynman. |
| 1948 | El sincro-ciclotrón de Berkeley produce los primeros piones artificiales. |
| 1949 | Enrico Fermi y C.N. Yang sugieren que un pión es una estructura compuesta por un nucleón y un antinucleón. Esta idea de partículas compuestas es completamente revolucionaria. |
| 1949 | Descubrimiento de K^+ vía sus decaimientos. |
| 1950 | Es descubierto el pión neutro. |
| 1951 | Se descubren dos nuevos tipos de partículas en los rayos cósmicos. Son descubiertas mientras se observan unas trazas en forma de V; se las descubre al reconstruir los objetos eléctricamente neutros, que tenían que haber decaído, para producir los dos objetos cargados, que dejaron las trazas. Las partículas fueron llamadas la λ^0 y la K^0 . |
| 1952 | Descubrimiento de la partícula delta: eran cuatro partículas similares (δ^{++} , δ^+ , δ^0 , y δ^- .) |
| 1952 | Donald Glaser inventó la cámara burbuja. Comienza a operar el Cosmotrón de Brookhaven, un acelerador de 1.3 GeV. |
| 1953 | El comienzo de la "explosión del número de partículas"-- una verdadera proliferación de partículas. |
| 1953 - 57 | La dispersión de electrones por un núcleo, revela una distribución de la densidad de carga dentro de los protones, y neutrones. La descripción de |



A-4 Steradian
- Ref. Morris Grossman, 1976-



| | | LEDs | | Lasers | | | |
|------------------------------------|---------|-----------------------------|---------------|--------|------------------|------------------|------------------|
| Wavelength | Class | 800-850 | 1300 and 1550 | Class | 800-850 | 1300 | 1500 |
| Material | | GaAlAs | GaInAsP | | GaAlAs | GaInAsP | GaInAsP |
| Spectrum width (nm) | | 30-60 | 50-150 | MM | 1-2 | 2-5 | 2-10 |
| Mode spacing (nm) | | | | MM | 0.3 | 0.9 | 0.13 |
| Line width SM (MHz) | | | | SM FP | | 150 | 150 |
| | | | | DFB | | 10-30 | 10-30 |
| | | | | EC | | 1-10 | 1-10 |
| | | | | EG | | 0.002-1 | 0.002-1 |
| Structure | | | | | PI, CSP, BH | BH | BH |
| Output power (mW) | | 0.5-4.0 | 0.4-0.6 | CSP | 20-50 | | |
| | | | | BH | 2-8 | 1.5-8 | 1.5-8 |
| Coupled power (mW) | | | | | | | |
| 100- μ m core | Surface | 0.1-1.5 | | MM | | 0.5-7.0 | |
| | Edge | 0.3-0.45 | 0.04-0.075 | | | | |
| 50- μ m core | Surface | 0.01-0.05 | 0.015-0.035 | MM | 0.5-2.5 | 0.4-3.0 | 0.5 |
| | Edge | 0.05-0.13 | 0.03-0.06 | SM | 1.5-3 | | |
| Single mode | Edge | | 0.003-0.03 | MM | | 0.25-1 | 0.25-0.8 |
| Extinction ratio | | | | | 25:1 | 25:1 | 25:1 |
| Drive current (ma) | | 50-150 | 100-150 | CSP | 40-80 | | |
| | | | | BH | 10-40 | 25-130 | |
| Rise time (ns) | Surface | 4-14 | | | | | |
| | Edge | 2-10 | 2.5-10 | BH | 0.3-1 | 0.3-0.7 | 0.3-0.7 |
| Modulation frequency (GHz) | | 0.08-0.15 | 0.05-0.3 | BH | 2-3 | 2-4 | 2-3 |
| Temperature drift | | | | | | | |
| Wavelength nm/ $^{\circ}$ C | | 0.3 | 0.6 | | 0.15-0.2 | 0.3 | 0.9 |
| Power, %/ $^{\circ}$ C | | -0.2, -0.5 | -0.9 | | | | |
| Threshold current, %/ $^{\circ}$ C | | | | | 0.8 | 1.6-2 | 3 |
| Linearity | | | | | | | |
| 2nd harmonic | | -30 to -40 dB @ $M_o = 0.5$ | | | | -40 to -55 dB | |
| 3rd harmonic | | -35 to -40 dB @ $M_o = 0.5$ | | | | -50 to -70 dB | |
| Beam width (half) | | | | | | | |
| Parallel | Surface | 120-180 $^{\circ}$ | | CSP | 5 $^{\circ}$ | | |
| Perpendicular | Surface | 120-180 $^{\circ}$ | | CSP | 10-25 $^{\circ}$ | | |
| Parallel | Edge | 180 $^{\circ}$ | | BH | 10-25 $^{\circ}$ | 10-30 $^{\circ}$ | 10-30 $^{\circ}$ |
| Perpendicular | Edge | 30-70 $^{\circ}$ | | BH | 20-35 $^{\circ}$ | 30-40 $^{\circ}$ | 30-40 $^{\circ}$ |
| Lifetime (million hours) | | 1-10 | 50-1000 | | 1-10 | 0.5-50 | 0.5-50 |

MM = Multimode
DFB = Distributed feedback
CSP = Channel substrate planar

SM = Single mode
EC = External Cavity
BH = buried heterostructure

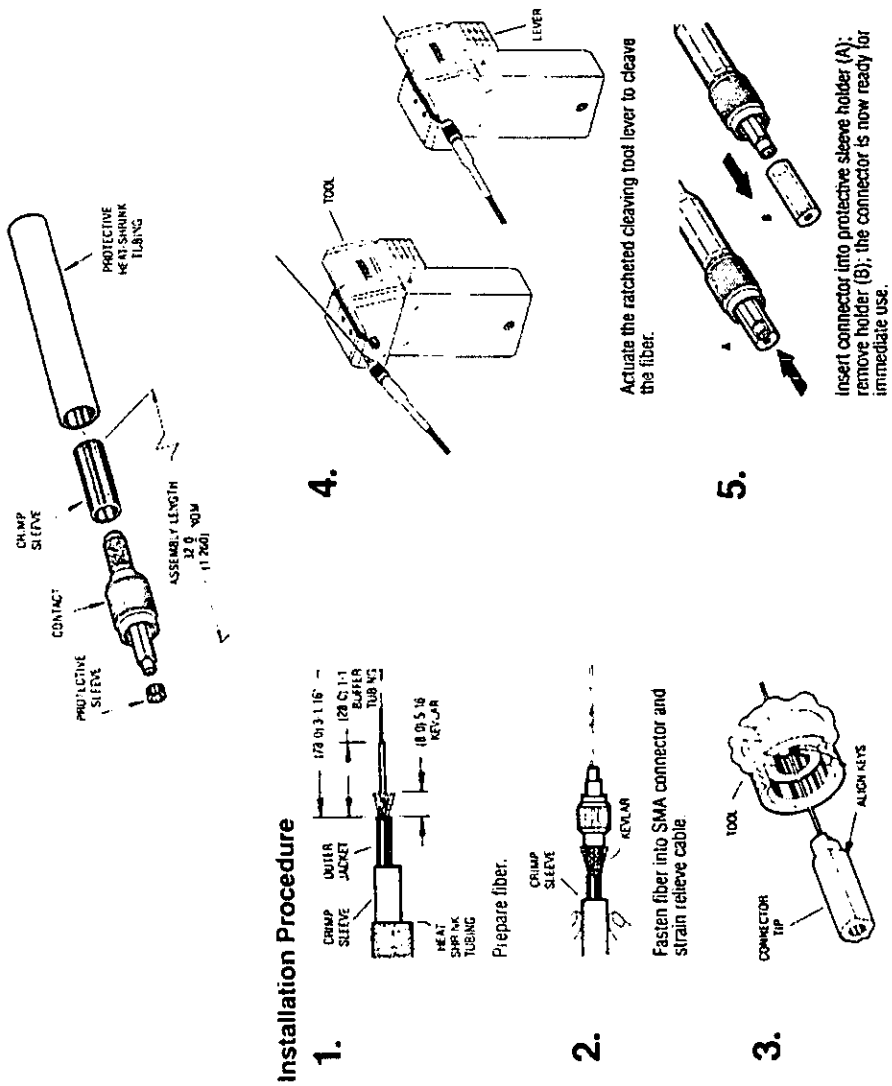
FP = Fabry perot
EG = External grading
PI = Proton implantation

A-5 Características típicas de fuentes ópticas

- Ref. Morris Grossman, 1976-

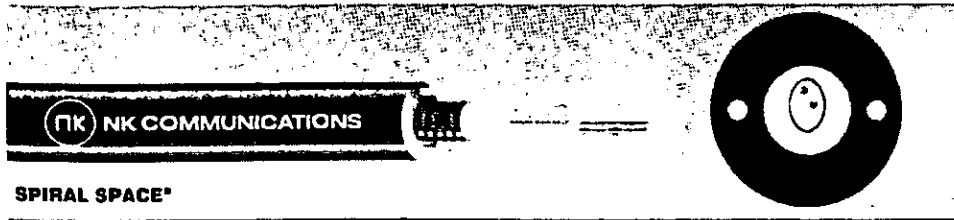
| General class EIA class | Multimode | | | | Single mode | | |
|--------------------------------|------------------------------|----------|----------|----------|----------------------|--------------------|-------------------|
| | IA and IB | IC | II | III | IVA | IVB | IVC |
| Index descriptor | Graded and Quasigraded | Step | Step | Step | Dispersion unshifted | Dispersion shifted | Dispersion flat |
| Core material | Glass | Glass | Glass | Plastic | Glass | Glass | Glass |
| Cladding material | Glass | Glass | Plastic | Plastic | Glass | Glass | Glass |
| Profile (g) | 1-3 graded, 3-10 quasigraded | >10 | >10 | >10 | N.A. | N.A. | N.A. |
| Core dia. (µm) | 50 62.5 85 | 50 100 | 200 600 | 484 980 | 8.7-10 | 7-8.7 | 7-8.7 |
| Clad. dia. (µm) | 125 | 125 140 | 230-650 | 500-1000 | 125 | 125 | 125 |
| Tolerance | | | | | | | |
| Core dia. | ±3 µm | ±3 µm | ±10 µm | | ±8% | ±8% | ±8% |
| Concentricity | <6% | <6% | <10% | | <1 µm | <1 µm | <1 µm |
| Clad dia. | ±2 µm | ±4 µm | ±10 µm | | ±2 µm | ±2 µm | ±2 µm |
| Attenuation (dB/km) | | | | | | | |
| @ 570 nm | | | | 70 | | | |
| @ 650 nm | | | | 130-160 | | | |
| @ 850 nm | 2.6-3.5 | 3.0-4.1 | 3.0-8.0 | | | | |
| @ 1310 nm | 0.7-1.6 | 1.0-1.8 | 1.5-5.0 | | 0.4-0.7 | 0.25-0.3 | 0.4-0.5 |
| @ 1550 nm | | | | | | 0.1 | 0.25-0.3 |
| @ 2.5 µm predicted | | | | | | | |
| Numerical aperture | 0.19-0.25 | 0.24-0.3 | 0.21-0.3 | 0.47 | | | |
| Material dispersion (ps/nm/km) | | | | | | | |
| @ 850 nm | 100-120 | 100-120 | 100 120 | | N.A. | | |
| @ 1300 nm | 0.9-3.5 | 3.0 10 | 3.0-10 | | 0.9-4.0 | 3.5 | 3.5 |
| @ 1550 nm | | | | | 20 | 3.5 | |
| (BW) _{0.5} (MHz-km) | | | | | | | |
| @ 850 nm | 200-600 | 150-500 | 20-500 | 0.5 | 10 ^{5.5} | 10 ^{4.5} | 10 ^{5.5} |
| @ 1300 nm | 400-1500 | 300-1000 | 20-600 | | | | |

A-11 Características típicas de desempeño de cable de fibra óptica
-Ref. R. Hoss, 1990-



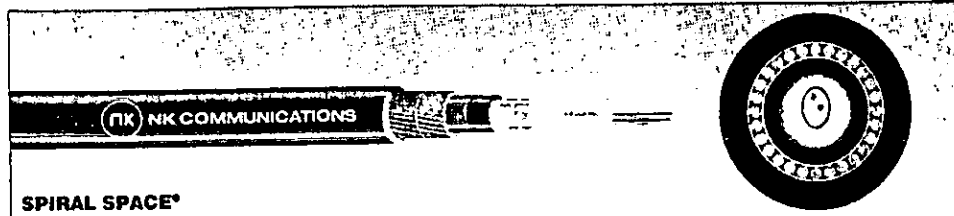
A-19 Procedimiento de preparación de un conector SMA
-Ref. Thomas & Betts-

CABLES ÓPTICOS DE ENTERRAMIENTO DIRECTO



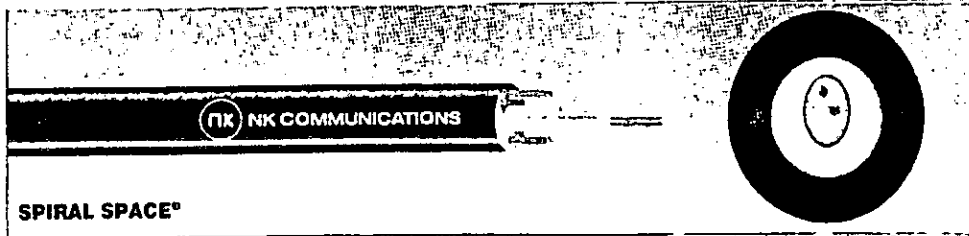
SPIRAL SPACE®

| DIMENSIONS | | 2 1G | 16-36 | 48-60 | 72-96 |
|--|-----------|------------|------------|------------|------------|
| Number of fibres | | 2 1G | 16-36 | 48-60 | 72-96 |
| Nominal outer diameter | mm | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Nominal weight | kg/km | 230 | 260 | 290 | 320 |
| MECHANICAL PROPERTIES | | | | | |
| Crush strength | kN/100 mm | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 |
| Allowable tension during installation | kN | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 |
| Minimum bending radius during installation installed | mm | 400 250 | 400 250 | 450 300 | 450 300 |



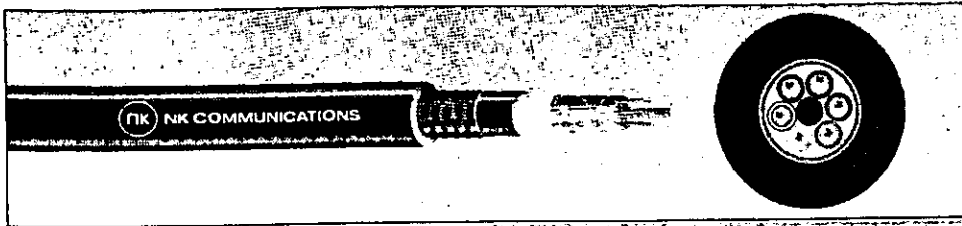
SPIRAL SPACE®

| DIMENSIONS | | 2 1G | 16-36 | 48-60 | 72-96 |
|--|-----------|------------|------------|------------|------------|
| Number of fibres | | 2 1G | 16-36 | 48-60 | 72-96 |
| Nominal outer diameter | mm | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Nominal weight | kg/km | 340 | 380 | 420 | 460 |
| MECHANICAL PROPERTIES | | | | | |
| Crush strength | kN/100 mm | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 |
| Allowable tension during installation | kN | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 |
| Minimum bending radius during installation installed | mm | 400 300 | 400 300 | 450 300 | 450 300 |

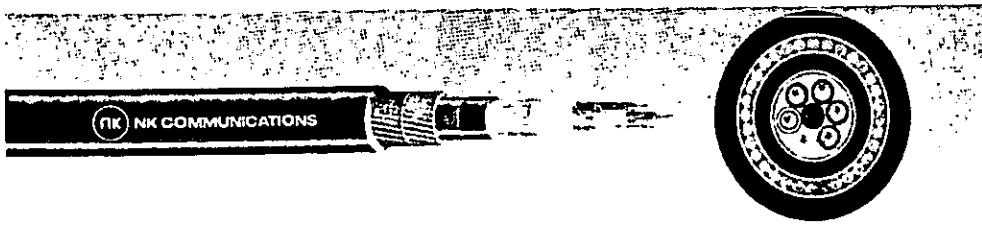


SPIRAL SPACE®

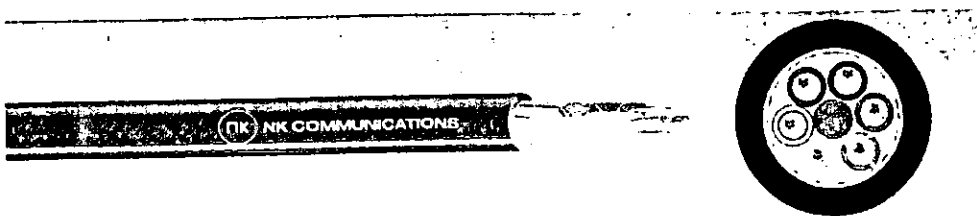
| DIMENSIONS | | 2 1G | 16-36 | 48-60 | 72-96 |
|--|-----------|------------|------------|------------|------------|
| Number of fibres | | 2 1G | 16-36 | 48-60 | 72-96 |
| Nominal outer diameter | mm | 11.5 | 12.5 | 13.5 | 14.5 |
| Nominal weight | kg/km | 110 | 130 | 150 | 170 |
| MECHANICAL PROPERTIES | | | | | |
| Crush strength | kN/100 mm | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 |
| Allowable tension during installation | kN | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 |
| Minimum bending radius during installation installed | mm | 250 150 | 250 150 | 300 200 | 300 200 |



| DIMENSIONS | | | | | |
|--|-----------|------|------|-------|-------|
| Number of fibres | | 2-12 | 6-30 | 10-60 | 12-72 |
| Number of fibres in a tube | | 2 | 6 | 10 | 12 |
| Nominal outer diameter | mm | 12 | 14 | 15 | 16 |
| Nominal weight | kg/km | 180 | 190 | 230 | 250 |
| MECHANICAL PROPERTIES | | | | | |
| Crush strength | MN/100 mm | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| Allowable tension during installation | MN | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Minimum bending radius during installation | mm | 280 | 280 | 310 | 310 |
| | mm | 200 | 200 | 230 | 230 |

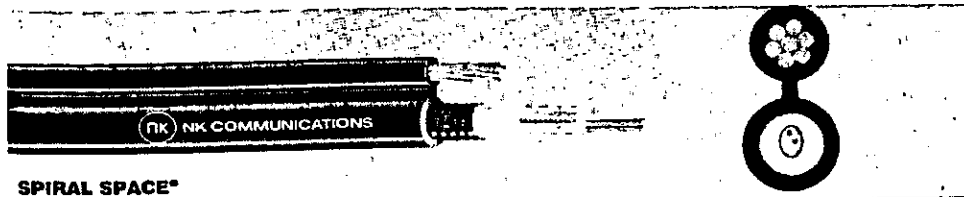


| DIMENSIONS | | | | | |
|--|-----------|------|------|-------|-------|
| Number of fibres | | 2-12 | 6-30 | 10-60 | 12-72 |
| Number of fibres in a tube | | 2 | 6 | 10 | 12 |
| Nominal outer diameter | mm | 12 | 14 | 15 | 16 |
| Nominal weight | kg/km | 180 | 190 | 230 | 250 |
| MECHANICAL PROPERTIES | | | | | |
| Crush strength | MN/100 mm | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| Allowable tension during installation | MN | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Minimum bending radius during installation | mm | 280 | 280 | 310 | 310 |
| | mm | 200 | 200 | 230 | 230 |



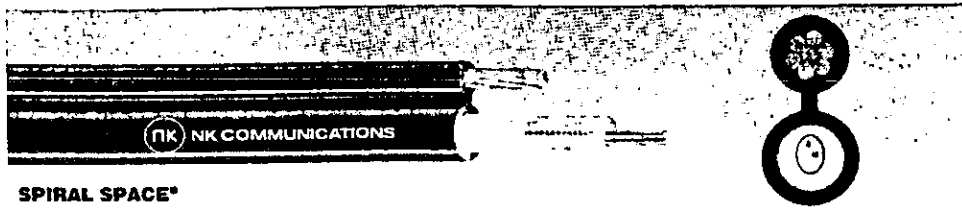
| DIMENSIONS | | | | |
|--|-----------|------|-----|-----|
| Number of fibres | | 6-72 | 90 | 144 |
| Nominal outer diameter | mm | 13 | 15 | 20 |
| Nominal weight | kg/km | 145 | 190 | 300 |
| MECHANICAL PROPERTIES | | | | |
| Crush strength | MN/100 mm | 3.0 | 3.0 | 3.0 |
| Allowable tension during installation | MN | 1.5 | 2.0 | 2.0 |
| Minimum bending radius during installation | mm | 260 | 300 | 400 |
| | mm | 195 | 220 | 300 |

CABLE ÓPTICO AÉREO



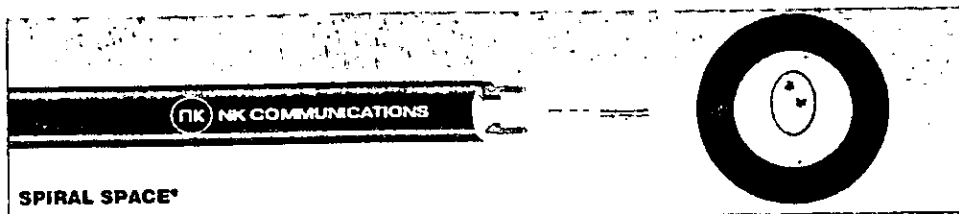
SPIRAL SPACE®

| DIMENSIONS | | 2 - 18 | 24 - 36 | 48 - 60 | 72 - 96 |
|--|-----------|------------|------------|------------|------------|
| Number of fibres | | 2 - 18 | 24 - 36 | 48 - 60 | 72 - 96 |
| External dimensions | mm | 12x23 | 13x24 | 14x25 | 15x26 |
| Nominal weight | kg/km | 280 | 310 | 340 | 370 |
| MECHANICAL PROPERTIES | | | | | |
| Crush strength | kN/100 mm | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 |
| Allowable tension | kN | 7.0 | 7.0 | 7.0 | 7.0 |
| Minimum bending radius during installation installed (without suspension wire) | mm | 240 180 | 260 200 | 280 210 | 300 230 |



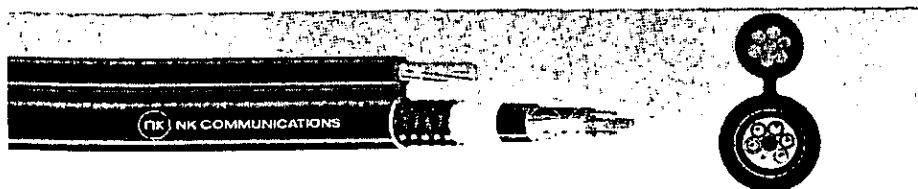
SPIRAL SPACE®

| DIMENSIONS | | 2 - 18 | 24 - 36 | 48 - 60 |
|--|-----------|------------|------------|------------|
| Number of fibres | | 2 - 18 | 24 - 36 | 48 - 60 |
| External dimensions | mm | 11x22 | 12x23 | 13x24 |
| Nominal weight | kg/km | 240 | 260 | 280 |
| MECHANICAL PROPERTIES | | | | |
| Crush strength | kN/100 mm | 6.0 | 6.0 | 6.0 |
| Allowable tension | kN | 7.0 | 7.0 | 7.0 |
| Minimum bending radius during installation installed (without suspension wire) | mm | 220 165 | 240 180 | 260 200 |

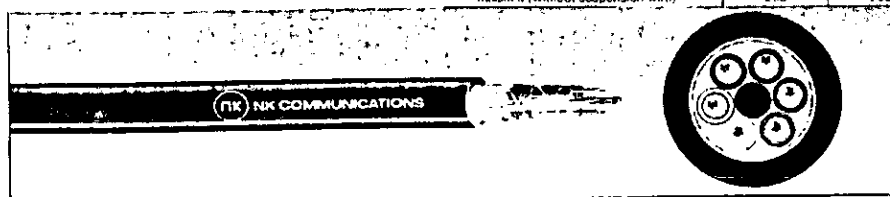


SPIRAL SPACE®

| DIMENSIONS | | 2 - 18 | 18 - 36 | 48 - 60 |
|--|-----------|------------|------------|------------|
| Number of fibres | | 2 - 18 | 18 - 36 | 48 - 60 |
| Nominal outer diameter | mm | 14 | 15 | 5 |
| Nominal weight | kg/km | 7.0 | 11.5 | 19 |
| MECHANICAL PROPERTIES | | | | |
| Crush strength | kN/100 mm | 6.0 | 6.0 | 6.0 |
| Allowable tension | kN | 7.0 | 7.0 | 7.0 |
| Minimum bending radius during installation installed | mm | 280 210 | 300 220 | 320 240 |

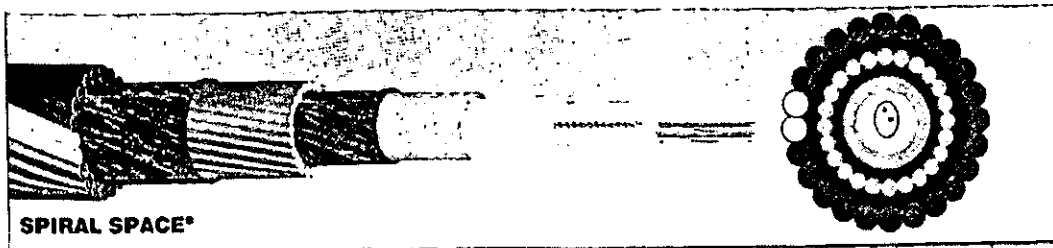


| DIMENSIONS | | | | | |
|--|-----------|-------|-------|-------|-------|
| Number of fibres | | 2-12 | 6-36 | 10-60 | 12-72 |
| Number of fibres in a tube | | 2 | 6 | 10 | 12 |
| External dimensions | mm | 12x23 | 14x25 | 15x26 | 16x27 |
| Nominal weight | kg/km | 300 | 330 | 370 | 390 |
| MECHANICAL PROPERTIES | | | | | |
| Crush strength | kN/100 mm | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| Allowable tension | kN | 7.0 | 7.0 | 7.0 | 7.0 |
| Minimum bending radius during installation | mm | 280 | 280 | 310 | 310 |
| Minimum bending radius installed (without suspension wire) | mm | 200 | 200 | 230 | 230 |

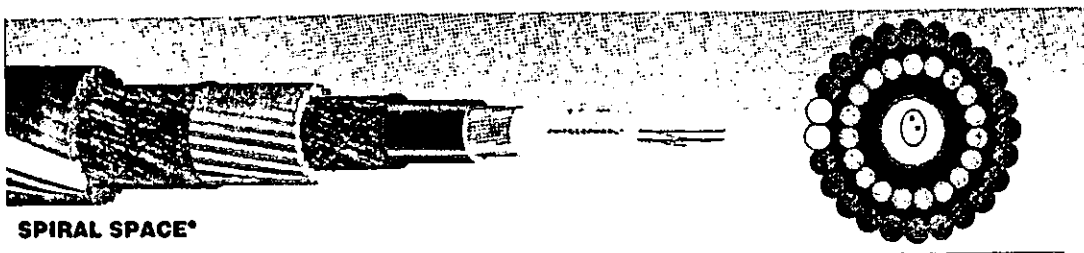


| DIMENSIONS | | | | | |
|--|-----------|-----|-----|-----|-----|
| Number of fibres | | 36 | 48 | 72 | 96 |
| Number of fibres in a tube | mm | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Nominal weight | kg/km | 150 | 160 | 180 | 200 |
| MECHANICAL PROPERTIES | | | | | |
| Crush strength | kN/100 mm | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.2 |
| Allowable tension | kN | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 |
| Minimum bending radius during installation | mm | 260 | 280 | 300 | 340 |
| Minimum bending radius installed | mm | 195 | 210 | 220 | 255 |

CABLES ÓPTICOS PARA INSTALACIÓN SUBMARINA



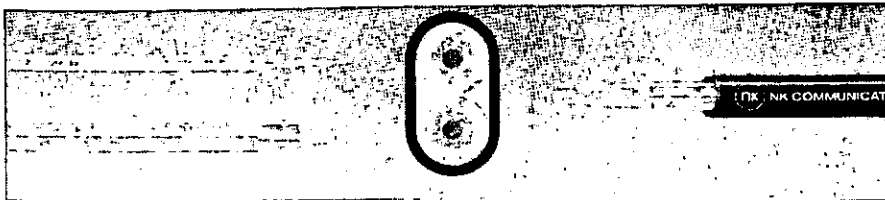
| DIMENSIONS | | FYOLPJW | FYOLPJW | FYOLPJW | FYOLPJW |
|--|----------|---------|---------|---------|---------|
| Number of fibres | | 6-45 | 6-48 | 6-45 | 6-58 |
| Normal wire diameter | mm | 1.4 | 2.5 | 2.7 | 2.7 |
| Number of armouring layers | | 1 | 1 | 1 | 2 |
| Nominal outer diameter | mm | 25 | 31 | 32 | 38 |
| Nominal weight in air | kg/km | 1050 | 1600 | 2600 | 3200 |
| Nominal weight in water | kg/km | 520 | 850 | 900 | 1170 |
| MECHANICAL PROPERTIES | | | | | |
| Crush strength | N/100 mm | 10 | 10 | 10 | 15 |
| Allowable tension during installation | N | 15 | 25 | 100 | 140 |
| Minimum bending radius during installation | mm | 500 | 1000 | 1500 | 500 |
| Installed | mm | 500 | 750 | 750 | 1000 |



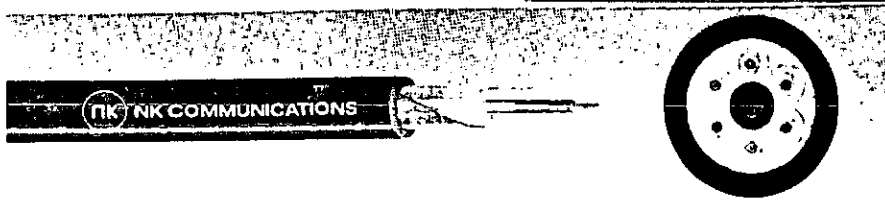
| DIMENSIONS | | FYOCMPJW | FYOCMPJW | FYOCMPJW | FYOCMPJW |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| Number of fibres | | 6-96 | 6-96 | 6-96 | 6-96 |
| Normal wire diameter | mm | 1.4 | 2.5 | 2.7 | 2.7 |
| Number of armouring layers | | 1 | 1 | 1 | 2 |
| Nominal outer diameter | mm | 26 | 31 | 32 | 38 |
| Nominal weight in air | kg/km | 1050 | 1600 | 1700 | 3300 |
| Nominal weight in water | kg/km | 520 | 850 | 900 | 2170 |
| MECHANICAL PROPERTIES | | | | | |
| Crush strength | N/100 mm | 10 | 10 | 10 | 15 |
| Allowable tension during installation | N | 15 | 25 | 100 | 140 |
| Minimum bending radius during installation | mm | 500 | 1000 | 1500 | 500 |
| Installed | mm | 500 | 750 | 750 | 1000 |



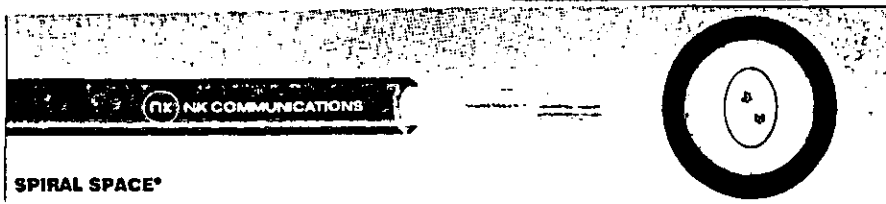
CABLE PARA INSTALACIÓN INTERNA



| DIMENSIONS | | FMS | FMS | FMS | FMS |
|--|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Number and type of fibres single mode multi-mode | | 1xSMT 1xGKT | 1xSMT 1xGKT | 2xSMT 2xGKT | 2xSMT 2xGKT |
| Nominal external diameter | mm | 3 | 2 | 6x3 | 6x5 |
| Normal weight | kg/km | 3 | 4 | 18 | 10 |
| MECHANICAL PROPERTIES | | | | | |
| Crush strength | N/100 mm | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Allowable tension during installation | N | 100 | 100 | 200 | 200 |
| Minimum bending radius during installation | mm | 40 | 40 | 40 | 50 |
| | mm | 30 | 30 | 20 | 40 |



| DIMENSIONS | | | | | | |
|--|----------|------------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|
| Number and type of fibres single mode multi-mode | | (2-6)xSMT (2-6)xGKT | 8xSMT 8xGKT | 12xSMT 12xGKT | 18xSMT 18xGKT | 24xSMT 24xGKT |
| Number of layers | | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Nominal diameter of fibre element | mm | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 |
| Normal outer diameter | mm | 12 | 13 | 17 | 17 | 21 |
| Normal weight | kg/km | 120 | 160 | 260 | 260 | 380 |
| MECHANICAL PROPERTIES | | | | | | |
| Crush strength | N/100 mm | 2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| Allowable tension during installation | N | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| Minimum bending radius during installation | mm | 350 | 400 | 540 | 510 | 630 |
| | mm | 175 | 200 | 270 | 255 | 315 |

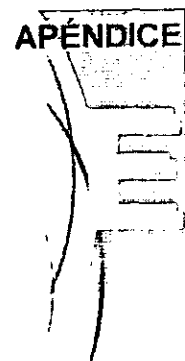


SPIRAL SPACE*

| DIMENSIONS | | | | |
|--|----------|------|-------|-------|
| Number of fibres | | 2-24 | 30-60 | 62-96 |
| Normal outer diameter | mm | 9 | 10 | 11 |
| Normal weight | kg/km | 70 | 80 | 90 |
| MECHANICAL PROPERTIES | | | | |
| Crush strength | N/100 mm | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| Allowable tension during installation | N | 500 | 500 | 500 |
| Minimum bending radius during installation | mm | 270 | 300 | 330 |
| | mm | 135 | 150 | 165 |

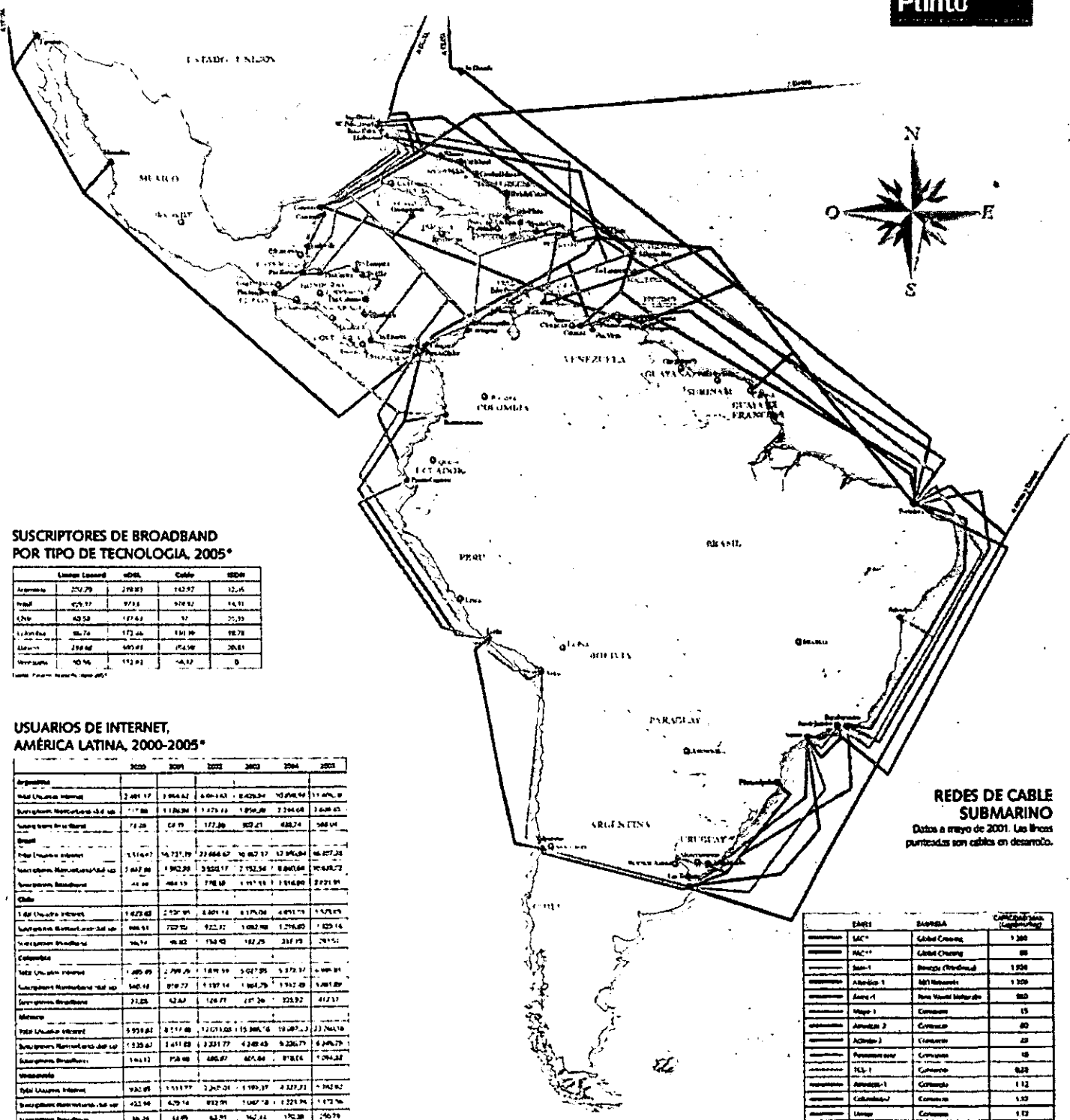
* Fibre optic cables. NK Communications Ltd., Helsinki, Finland, 1992.

MAPAS*



CONECTANDO LAS AMÉRICAS

INFORME PUBLICITARIO
Punto



SUSCRIPTORES DE BROADBAND POR TIPO DE TECNOLOGÍA, 2005*

| País | ADSL | Cable | SD-WAN |
|-----------|--------|--------|--------|
| Argentina | 250.79 | 219.83 | 143.97 |
| Brazil | 429.37 | 97.63 | 978.81 |
| Chile | 60.58 | 177.63 | 57 |
| Colombia | 86.74 | 173.66 | 831.39 |
| Ecuador | 218.68 | 695.61 | 154.58 |
| Venezuela | 10.16 | 112.81 | 46.12 |

USUARIOS DE INTERNET, AMÉRICA LATINA, 2000-2005*

| | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
|-------------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Argentina | | | | | | |
| Total Usuarios Internet | 2,481,117 | 3,956,612 | 6,091,631 | 8,429,234 | 12,078,914 | 17,676,119 |
| Broadband Usuarios | 117,888 | 1,126,284 | 1,725,111 | 1,959,289 | 2,264,648 | 2,609,851 |
| Usuarios de Cable | 71,208 | 67,117 | 177,286 | 302,211 | 688,274 | 968,141 |
| Usuarios de DSL | 46,680 | 149,167 | 228,825 | 163,078 | 121,374 | 164,710 |
| Usuarios de ADSL | 1,114,047 | 16,727,729 | 22,666,427 | 10,802,137 | 12,946,264 | 16,827,228 |
| Usuarios de Broadband | 3,642,008 | 1,902,209 | 3,255,517 | 2,152,541 | 3,840,684 | 916,872 |
| Usuarios de Broadband | 41,800 | 488,115 | 178,189 | 1,197,111 | 1,614,890 | 2,221,911 |
| Brasil | | | | | | |
| Total Usuarios Internet | 1,622,682 | 2,937,991 | 6,861,116 | 8,176,706 | 4,951,753 | 15,725,119 |
| Broadband Usuarios | 966,511 | 722,720 | 622,371 | 1,082,788 | 1,276,670 | 1,822,116 |
| Usuarios de Broadband | 76,714 | 96,882 | 158,192 | 187,259 | 237,719 | 281,511 |
| Colombia | | | | | | |
| Total Usuarios Internet | 1,480,495 | 2,799,279 | 1,819,519 | 5,027,951 | 5,172,317 | 4,999,811 |
| Broadband Usuarios | 160,118 | 978,227 | 1,197,114 | 1,861,279 | 1,912,429 | 1,861,829 |
| Usuarios de Broadband | 37,128 | 62,667 | 126,771 | 157,266 | 228,921 | 417,117 |
| Ecuador | | | | | | |
| Total Usuarios Internet | 5,933,881 | 8,217,488 | 11,011,028 | 15,386,116 | 19,487,112 | 23,766,119 |
| Broadband Usuarios | 1,525,617 | 1,411,828 | 2,251,777 | 4,248,433 | 6,226,771 | 6,246,771 |
| Usuarios de Broadband | 1,641,112 | 178,188 | 685,871 | 871,684 | 871,684 | 1,076,211 |
| Venezuela | | | | | | |
| Total Usuarios Internet | 932,495 | 1,111,777 | 2,267,011 | 1,195,317 | 2,227,311 | 2,762,812 |
| Broadband Usuarios | 421,549 | 629,116 | 892,911 | 1,067,112 | 1,221,311 | 1,172,116 |
| Usuarios de Broadband | 16,211 | 114,679 | 63,911 | 162,211 | 192,311 | 260,719 |

REDES DE CABLE SUBMARINO

Datos a mayo de 2001. Las líneas punteadas son cables en desarrollo.

| Operador | País | Capacidad (Terabits) |
|----------------|---------|---------------------------|
| América Latina | SAC* | Cable Cosmos, 1.200 |
| América Latina | América | Cable Chesapeake, 80 |
| América Latina | América | América (Proyecto), 1.500 |
| América Latina | América | América, 1.500 |
| América Latina | América | América, 800 |
| América Latina | América | América, 15 |
| América Latina | América | América, 80 |
| América Latina | América | América, 20 |
| América Latina | América | América, 18 |
| América Latina | América | América, 820 |
| América Latina | América | América, 1.12 |
| América Latina | América | América, 1.50 |
| América Latina | América | América, 1.12 |

www.ifxnetworks.com



Conocemos el futuro de las comunicaciones. Lo estamos creando.

www.epik.com

EPIK Communications es un agente de comercio electrónico (E-commerce) internacional.

GLOSARIO



Acrilatos.- QUÍM. Sal o éster del ácido acrílico. Nombre químico para el grupo orgánico $H_2C=CHCO$, que existe en el ácido propenoico (ácido acrílico), $H_2C=CHCOOH$, y en los ésteres de este ácido, llamados acrilatos, como por ejemplo el acrilato de metilo, $H_2C=CHCOOCH_3$. Las resinas acrílicas, llamadas también acrílicos, se obtienen por la polimerización de los acrilatos u otros monómeros que contengan el grupo acrílico. Los compuestos acrílicos son termoplásticos (capaces de ablandarse o derretirse con el calor y volverse a endurecer con el frío), impermeables al agua, y tienen densidades bajas.

Ampere (A).- Unidad de intensidad de corriente eléctrica. Corresponde a la carga de un culombio por segundo.

Amplitud Modulada (AM).- La modulación en amplitud es un método de transmitir datos sobre una portadora de corriente alterna (AC).

Bit.- Un dígito binario que puede ser 1 o un 0 en el sistema de numeración binario. Un bit es la unidad de información más pequeña que puede tratar una computadora.

Bps (bits per second).- Es la medida de la velocidad de transmisión de datos en un sistema de comunicaciones.

Byte.- Un grupo de 8 bits, usado para representar valores entre 0 y 255. Cada carácter representa un carácter alfanumérico, un carácter gráfico, o un carácter de control especial. Por tanto, un byte se puede entender como un carácter de información.

Calcetín.- Dispositivo que se emplea para sujetar los extremos de los flexoductos durante la instalación de cables ópticos.

Cable Coaxial.- Medio de transmisión, consiste en un conductor central rodeado de un aislante y encapsulado en un recubrimiento conductor que a su vez está aislado del medio exterior.

Campo eléctrico.- Región del espacio donde existe electricidad capaz de ejercer una fuerza.

Cobra.- Guía de fibra de vidrio.

Cocas.- regiones del cable óptico con torceduras o dobleces, al formar los ochos en un pozo intermedio para su posterior inmersión.

Coulomb.- Es la carga transportada por una corriente de un ampere en un segundo.

Dielectrico.- sustancia que es mala conductora de la electricidad y que amortiguará la fuerza de un campo eléctrico que la atraviese. Las sustancias conductoras carecen de esta propiedad de amortiguación. Dos cuerpos de cargas opuestas situados a cada lado de un trozo de vidrio (un

