

37



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**COMUNICACIONES: CABLES DE FIBRA OPTICA**

**TRABAJO DE SEMINARIO**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A :**

**ENRIQUE GARCIA RODRIGUEZ**

ASESOR ING. JORGE RAMIREZ RODRIGUEZ

287172



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN**  
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS  
 N.º DE  
 LEY

U. N. A. M.  
 FACULTAD DE ESTUDIOS  
 SUPERIORES-CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE  
 EXAMENES PROFESIONALES

**DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO**  
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
 PRESENTE

ATN. Q. Ma del Carmen García Mijares  
 Jefe del Departamento de Exámenes  
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:  
 "Comunicaciones. Cables de Fibra Óptica".

que presenta el pasante: Enrique García Rodríguez  
 con número de cuenta: 9034389-4 para obtener el título de  
Ingeniero Mecánico Electricista

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

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
 Cuautitlán Izcalli, Méx. a 13 de septiembre de 2000

MODULO	PROFESOR	FIRMA
I	Ing. Jorge Ramírez Rodríguez	<i>Jorge Ramírez Rodríguez</i>
III	Ing. Rodolfo López González	<i>Rodolfo López González</i>
II	Ing. Vicente Magaña González	<i>Vicente Magaña González</i>

**A MIS PADRES Y HERMANOS**

**EN RECONOCIMIENTO A TODO EL APOYO BRINDADO A TRAVÉS DE MIS ESTUDIOS Y SABIENDO QUE JAMÁS EXISTIRÁ UNA FORMA DE AGRADECER EN ESTA VIDA DE LUCHA, Y SUPERACIÓN CONSTANTE, Y CON LA PROMESA DE SEGUIR SIEMPRE ADELANTE, DESEO EXPRESARLES QUE MIS IDEALES, LOGROS Y ESFUERZOS HAN SIDO TAMBIÉN SUYOS Y CONSTITUYE EL LEGADO MÁS GRANDE QUE PUDIERA RECIBIR, CON CARÍÑO, ADMIRACIÓN Y RESPETO.**

**ING. ENRIQUE GARCÍA RODRÍGUEZ**

# **Indice**

## **PROLOGO**

## **INTRODUCCION**

### **INTRODUCCIÓN A LOS CABLES DE FIBRA ÓPTICA**

Introducción .....	1
--------------------	---

## **CAPITULO 1**

### **MARCO HISTORICO**

Marco histórico en el desarrollo de las comunicaciones	
Por cables de Fibra óptica.....	4
Las Fibras ópticas en las telecomunicaciones.....	7
Redes de computadoras.....	12

## **CAPITULO 2**

### **CONCEPTO DE TRANSMISIÓN POR FIBRA ÓPTICA**

Las Fibras Ópticas.....	13
La Longitud de Onda.....	16
Indice de Refracción.....	18
Ley de Snell.....	19
Propagación de la luz en la Fibra Óptica.....	23
Apertura Numérica .....	24
Angulo de aceptación.....	26
Atenuación y dispersión .....	27
Coefficiente de atenuación y dispersión.....	28
Factores que propician la atenuación.....	31
Características de los sistemas de	
Comunicación por Fibra Óptica.....	34
Ventajas de las Fibras Ópticas.....	34
Desventajas de las Fibras Ópticas.....	37

## CAPITULO 3

### TIPOS DE FIBRAS ÓPTICAS

Estructura de las Fibras Ópticas.....	38
Fibras Multimodo.....	40
Fibras Multimodo de Índice Escalonado.....	42
Fibras Multimodo de Índice Gradual.....	44
Recomendación de la G.651 de la ITU-T.....	48
Fibras Monomodo.....	49
Recomendación G 6.52 de la ITU-T.....	52
Fibras con Dispersión Modificada.....	53
Fibras con Dispersión Corridas.....	53
Fibras con Dispersión Suavizada.....	55

## CAPITULO 4

### FABRICACIÓN DEL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Fabricación del Cable de Fibra Óptica.....	57
Técnicas de Fabricación de Preformas.....	58
Método VAD.....	58
Método OVD.....	60
Método MCVD.....	62
Método PCVD.....	64
Estiramiento de la Preforma y Recubrimiento de la Fibra Óptica.....	66
Situación Tecnológica y Prestaciones de fabricación.....	68
Factores para el Diseño del Cable de Fibra Óptica.....	70
Consideraciones de Diseño.....	72
Microcurvatura.....	72
Curvatura.....	73
Deformación.....	73
Humedad.....	74
Consideraciones Constructivas.....	74
Elementos de resistencia Mecánica.....	75
Cubierta de Cable.....	75
Conductor Metálico.....	75
Protección contra la Humedad.....	76
Armadura.....	76
Reellenos.....	76

---

## CAPITULO 5

### CARACTERISTICAS DE CABLES DE FIBRAS ÓPTICAS COMERCIALES

Cables ADFOC comerciales foca..	78
Cables GASLCV instalación aérea...	79
Cables GASLTLV instalación Subterránea Directa.	80
Cables GNALHV instalación en Ductos.	81
Cables GNKD instalación en Interiores.	82
Cables GNSLCV instalación aérea	83
Cables GNSLSLDV instalación aérea...	84
Cables GNSLWLV instalación Subterránea Directa.	85
Cables OPGW comerciales foca...	86
Cables SASLBTV instalación submarina...	87

CONCLUSIÓN.....	88
-----------------	----

GLOSARIO.....	89
---------------	----

---

# PROLOGO

Esta tesina fue diseñada como texto para un curso de comunicaciones por Cable de Fibra Óptica a nivel licenciatura. Mientras que tales cursos se encuentran con frecuencia en los programas de maestría o doctorados en comunicaciones o simplemente en algunos cursos especiales que contratan ciertas empresas para la capacitación del manejo de los diferentes tipos de Cables de Fibra Óptica.

Los conceptos y técnicas de elaboración de la Fibra Óptica forman el núcleo del tema, son de importancia fundamental para el desarrollo y el buen entendimiento del uso de los Cables de Fibra Óptica, de hecho el alcance de las aplicaciones reales y potenciales de los métodos de uso y fabricación de los cables continúa expandiéndose al mismo tiempo que los ingenieros se enfrentan a nuevos retos que involucran las transmisiones de datos con un mayor ancho de banda así como la exigencia de una velocidad cada vez mayor y segura.

Por esa razón sentí que al hacer una tesina de Cable de Fibra Óptica no solamente sería una herramienta esencial dentro de los programas de ingeniería en comunicaciones sino que también puede ser uno de los más gratificantes, estimulante y útiles cursos que los estudiantes de ingeniería en comunicación puedan tomar durante su educación a nivel licenciatura.

El tratamiento del diseño de esta tesina está basada esencialmente en cursos impartidos en la escuela de TELECOMUNICACIONES; el enfoque en general del tema de Fibra Óptica ha sido guiado por el hecho de que con los recientes desarrollos y aquellos que se anticipan, en la tecnología para las transmisiones de los diferentes sistemas de comunicaciones, que sean incrementado de forma sorprendente, una nueva forma de comunicación digital se hace a través de Cables de Fibra Óptica logrando una enorme revolución en los medios de comunicación.

Para concluir puedo decir que en estos momentos aun no es muy factible en su totalidad el uso de los Cables de Fibra Óptica esto es debido mas a su costo e instalación; pero por el enorme auge y el rápido desarrollo por el cual está atravesando yo no dudaría que pronto pudiera desplazar otros medios de comunicación.



# INTRODUCCIÓN

A través de los años han aparecido diversos sistemas de comunicaciones desarrollados por el hombre. Las principales motivaciones para crear nuevos sistemas han sido siempre las mismas, mejorar la fidelidad de la transmisión, incrementar la velocidad de la transmisión de datos de manera tal que se pueda enviar una mayor cantidad de datos en un mismo tiempo o incrementar la distancia de transmisión entre estaciones repetidoras. Todos los sistemas de comunicaciones hasta el siglo XIX eran de muy baja velocidad de transmisión de datos y utilizaban principalmente medios acústicos y ópticos.

La invención del telégrafo en 1838 por Samuel Morse, marcó el comienzo de una nueva época en el campo de las telecomunicaciones, las telecomunicaciones eléctricas. El primer servicio telegráfico comercial que usaba cables de alambres metálicos fue implementado en 1844 y en los años siguientes, estos cables se expandieron por todo el mundo. El uso de los cables de alambres metálicos para la transmisión de información se incrementó fuertemente con la puesta en servicio del primer conmutador telefónico en USA en 1878. El cable de alambre metálico fue el único medio para las comunicaciones eléctricas hasta el descubrimiento de la radiación electromagnética por Heinrich Hertz en 1887. El primer sistema que utilizó este descubrimiento fue la radio inventada por Marconi en 1895.

Con el paso de los años, cada vez se fue utilizando una porción del espectro más grande para la transmisión de información desde un lugar a otro. Esto debido a que en los sistemas de comunicaciones eléctricos, los datos son usualmente transferidos a un canal de comunicación mediante la superposición de la señal de información sobre una onda electromagnética que varía sinusoidalmente que se conoce como portadora. En el término de destino, la señal de información es removida desde la señal portadora y luego es procesada.

Debido a que la cantidad de información que se puede transmitir esta directamente relacionada al rango de frecuencia sobre el cual la portadora opera, incrementando la frecuencia de la portadora (teóricamente), el ancho de banda de transmisión disponible permite una mayor capacidad de transmisión de información. Luego, la tendencia en el desarrollo de los sistemas de comunicaciones eléctricos fue el de emplear frecuencias más altas o largo de onda más cortos.

Inicialmente se realizó mucha investigación para utilizar el canal atmosférico (con señales ópticas), pero debido a que presentaba diversos problemas cuyas soluciones eran muy caras y difíciles se llegó al canal de guía de onda de luz es decir la Fibra Óptica.

Un interés mayor en los sistemas de transmisión por cable de fibra óptica comenzó con el invento de las fuentes de luz láser en 1960. A comienzo de los sesenta, las primeras fibras ópticas tenían pérdidas de 100 dB/km, lo que hacía imposible pensar en sistemas de comunicaciones que utilizaran este medio.

En 1966 se descubrió que las pérdidas eran producto de las impurezas del material, debido a lo cual se orientó todo el esfuerzo de la investigación, al desarrollo de mejores métodos de construcción de las fibras para evitar las impurezas.

En 1970 las fibras tenían pérdidas del orden de 20 dB/km. En ese momento la distancia entre repetidores fue igual entre los sistemas de cables de fibra óptica y los sistemas de cables de alambre metálico. En las dos décadas siguientes, la tecnología logró cables de fibras con pérdidas de 0,16 dB/ Km, lo que permite distancias entre repetidores mucho más grandes que los sistemas en base a cables metálicos.

Posterior mente se presentan unos fundamentos y criterios para seleccionar el tipo de fibra óptica en función de cada aplicación, la forma en la que viaja la luz dentro de ella. Además se pretende poner de manifiesto la diferencia entre las fibras disponibles comercialmente y las prestaciones de las fibras obtenidas en condiciones experimentales avanzadas.

Para esto fue necesario mencionarse algunos efectos que afectan a la señal luminosa durante el recorrido que lleva dentro del cable de fibra óptica los cuales son por ejemplo la atenuación y la dispersión; también se mencionan ciertas características físicas que se debe tener al momento de la instalación para evitar al máximo la aparición de estos efectos que afectan a la transmisión .

A estas características se mencionan en los conceptos de transmisión. Así como las ventajas y desventajas de la transmisión de señal mediante los cables de fibra óptica.

Para concluir En el capítulo 5 se describen los métodos más frecuentemente empleados en la fabricación de fibras de alta y media calidad: métodos OVD, VAD, MCVD y PCVD; también se detallan las mejores prestaciones obtenidas hasta la fecha con estos métodos, así como las calidades que cabe esperar en condiciones normales de fabricación. Junto a los métodos para fabricar las preformas, en el capítulo 5 describe también el estiramiento y las operaciones para aplicar los recubrimientos primarios y secundarios (al objeto de proteger mecánicamente a la fibra). El apartado se completa con una revisión de los principales suministradores de fibras así como las tecnologías por ellos empleadas, y las prestaciones de los productos comercializados; de esta manera se facilita el hacerse cargo de la diferencia que existe entre las fibras ofrecidas en catálogo y las posibilidades que han puesto de manifiesto los distintos métodos

# CAPITULO 1

## **MARCO HISTORICOS EN EL DESARROLLO DE LAS COMUNICACIONES POR FIBRA ÓPTICA**

Las ondas de luz, al igual que las de radio, son una forma de energía electromagnética, y la idea de transmitir información por medio de la luz, como portadora, tiene más de un siglo de antigüedad. Hacia 1880, antes de la invención del teléfono, Alexander G. Bell construyó el llamado «fotófono» , que enviaba mensajes vocales, a corta distancia, por medio de la luz. Sin embargo, esa aplicación de las ondas luminosas no fue viable por la falta de fuentes de luz adecuadas y de un medio de propagación de bajas pérdidas.

Con la invención y construcción del láser en 1960 , volvió a tomar cuerpo la idea de utilizar la luz como soporte de comunicaciones fiables y de alta potencialidad de información. De hecho, la disponibilidad de una fuente de luz coherente y monocromática estimuló la exploración de las comunicaciones ópticas como soporte de altos flujos de información debido a la alta frecuencia de la portadora ( $10^{14}$  Hz). Por entonces comenzaron los estudios básicos sobre los procesos de modulación y detección de la luz. Los primeros experimentos sobre transmisión por la atmósfera pusieron de manifiesto diversos obstáculos

Escasa fiabilidad debida a las precipitaciones (lluvia, nieve), contaminación atmosférica, turbulencias atmosféricas, etc

El empleo de las fibras de vidrio como medio guía no tardó en resultar atractivo: tamaño, peso, facilidad de manejo, flexibilidad y costo (comparado con los sistemas de comunicación por la atmósfera).

Las fibras de vidrio permitían guiar la luz mediante múltiples reflexiones internas de los rayos luminosos. Es muy probable que la potencialidad de guiar luz mediante cilindros transparentes fuese bien conocida por los artesanos del vidrio. En 1910 se realizó, por

Hondros y Debie, el primer análisis teórico, completo, sobre la propagación electromagnética en un medio dieléctrico cilíndrico.

El problema radicaba en que las fibras de vidrio disponibles cuando se inventó el láser presentaban pérdidas de varios miles de decibelios por kilómetro

La primera indicación de una solución viable aparece en 1966, con la publicación por Kao y Hockan en 1966 de un famoso artículo, en el cual señalan que la atenuación observada hasta entonces en las fibras de vidrio no se debía a mecanismos intrínsecos, sino a impurezas originadas en la fabricación y que, por consiguiente, era viable emplear fibras dieléctricas como soporte de información en frecuencias ópticas.

No fue sino hasta 1970 cuando la firma Corning obtuvo unas fibras con una atenuación inferior a 20 dB/km en . En 1972 se dio otro paso importante mediante las fibras con núcleo líquido, reduciendo la atenuación a 8 dB/km. Al año siguiente, 1973, la compañía Corning Glass dejó obsoletas las fibras de núcleo líquido al obtener 4 dB/km por medio de fibras con núcleo de SiO<sub>2</sub> de alta pureza.

Las nuevas posibilidades que ofrecían las fibras estimularon la investigación hacia fuentes y detectores ópticos de pequeño tamaño, buena fiabilidad y pequeño consumo. Los emisores de semiconductores y los detectores de estado sólido parecían los más prometedores. En 1970 se realizó el primer láser de AlGaAs capaz de operar de forma continua a temperatura ambiente (20 – 25 °C); sin embargo, la vida de aquellos dispositivos sólo era de unas pocas horas. Desde entonces los progresos se han multiplicado y hoy es posible encontrar comercializados diodos láser con más de 100.000 horas de vida media.

En lo que respecta a los emisores de luz incoherente (LED), en 1971 se dio un notable paso, cuando C A Burrus desarrolló un LED de pequeña superficie radiante (unos 50µm de diámetro) particularmente idóneo para el acoplamiento con las fibras ópticas.

Volviendo de nuevo a las fibras, en 1976 tuvo lugar un destacado evento. Investigadores japoneses, de la NTT y de Fujicura, obtuvieron fibras con  $0.47 \pm 0.1$  dB/km (fibras de Si-GeO<sub>2</sub> con 0.5 dB/Km a 1.3 y 1.55  $\mu\text{m}$ ) en 1.3 y 1.55  $\mu\text{m}$ , muy cerca ya del límite debido a los factores intrínsecos de atenuación (impuesto por un fenómeno de esparcimiento Rayleigh, que introduce una atenuación inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda).

En 1974 se alcanzaron 0.2 dB/km, sobre fibras monomodo en  $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ .

Junto a los avances en la fabricación de fibra, en 1975 se predijo que las fibras de SiO<sub>2</sub> presentaban una zona de mínima dispersión, alrededor de 1.3  $\mu\text{m}$ ; esto venía a indicar que resultaba posible disponer de amplias anchuras de banda, alrededor de 1.3  $\mu\text{m}$ , por cuanto la dispersión del material de la fibra constituye un factor limitativo intrínseco.

Estos dos aspectos ---bajas pérdidas y baja dispersión--- abrían nuevas posibilidades para transmisiones de alta velocidad y larga distancia. En consecuencia, se estimuló la investigación de fuentes y detectores ópticos aptos para estas longitudes de onda (1.3-1.6  $\mu\text{m}$ ).

En 1999 se presentó un multiplexor capaz de transmitir a una capacidad de 1.28 Tbps sobre una fibra óptica, lo cual significa más de un millón de llamadas de voz simultáneas.

Hoy las fibras ópticas se utilizan para enlaces de larga distancia terrestres y transoceánicos, se espera que un día la conexión de la última milla sea también mediante fibra óptica. Ello permite comunicaciones multimedia de alta capacidad y calidad entre todos los habitantes de la tierra.

A partir de 1990 se han hecho varias mejoras sobre las tecnologías de fibras ópticas que han permitido incrementar la capacidad y reducir el costo de las redes ópticas de hoy.

Los primeros trabajos de WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) fueron realizados en 1994, cuando se utilizaron acopladores bicónicos para combinar dos señales sobre la misma fibra. Otro pilar dentro de las comunicaciones ópticas son los amplificadores del tipo EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*), pues permiten que la señal sea amplificada sin la necesidad de convertirla a una señal eléctrica para su regeneración. Por otro lado reducen enormemente los costos en enlaces de larga distancia en contraste a la utilización de regeneradores eléctricos.

La utilización de amplificadores ópticos dopados con erbio (EDFA) permite la implementación de WDM para el incremento de la capacidad de una fibra, pues este tipo de amplificadores tiene una respuesta plana en el espectro óptico. En los sistemas actuales se utilizan 40, 80 y 128 longitudes de onda sobre la misma fibra óptica, a esto ya se le conoce como DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*).

Otro elemento que permite el incremento de la capacidad lo encontramos en los emisores Laser con ancho de banda angosto, los cuales permiten la combinación de diversas longitudes de onda sobre la misma fibra; además de lograr mayores distancias entre repetidores.

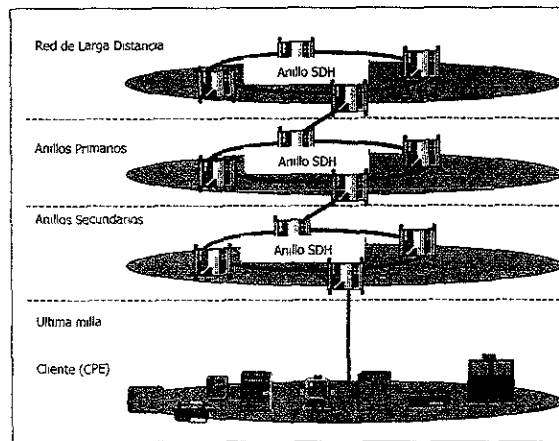
Actualmente se logra visualizar la revolución que provocarán los Lasers sintonizables, los multiplexores WDM y los crossconectores ópticos sobre las redes basadas en fibras ópticas. Se manejarán capacidades inimaginables, además de que se podrán proveer servicios de longitud de onda punto a punto, en donde el protocolo utilizado sobre dicha longitud de onda será independiente.

### **La Fibra Óptica en las Telecomunicaciones.**

En telecomunicaciones el papel de las fibras ópticas ha sido clave. Su utilización la encontramos en redes de larga distancia, redes submarinas, redes de acceso, redes de televisión por cable (CATV). Debido a su gran ancho de banda, el uso de las fibras ópticas dentro de las telecomunicaciones está permitiendo las comunicaciones multimedia de alta velocidad y calidad. Es decir, se están logrando comunicaciones a distancia con la misma

sensación y a través de todos los medios que podrían tener dos o más personas, cuando llevan a cabo una comunicación presencial, lo cual está transformado todas las actividades humanas, como la educación, el trabajo, el entretenimiento, etc.

En redes de larga distancia el uso de las fibras ópticas es el preferido, pues provee la mejor relación costo beneficio, gracias a la gran capacidad de información y a las grandes distancias entre repetidores. Actualmente, cualquier empresa que planea implementar una red de larga distancia de gran capacidad incluye a las fibras ópticas como un elemento estratégico para su éxito. Sin embargo, las inversiones son cuantiosas y su implementación sólo es justificada si se tienen relativamente altos volúmenes de información.



**Fig. 1.1 Estructura de redes de Larga distancia y acceso mediante Fibra óptica.**

El costo de implementación de fibra óptica por kilómetro oscila entre los \$10,000 y los \$20,000 USD, dependiendo del tipo de terreno. Por lo que una red de apenas 1000 Km. de distancia se encuentra ya en el orden de los millones de dólares.



Durante la apertura de las telecomunicaciones en México se han hecho fuertes inversiones en redes de larga distancia basadas en fibra óptica. Además de la red de Telmex que cuenta con más de 13,500 Km. en las 56 ciudades más importantes del país, destacan las redes de ALESTRA y AVANTEL con 4,300 Km. y 5,500 Km. respectivamente.

En la tabla 1.1 se muestran las principales redes de larga distancia instaladas en México antes y después de la apertura de las telecomunicaciones en 1997. Los datos que se presentan en dicha tabla corresponden a cifras oficiales en 1997 presentadas en las concesiones otorgadas a cada una de las empresas respectivamente, sin embargo las cifras reales se han ido modificando por diferentes causas, las cuales escapan del objetivo de este texto.

Empresa	Inversión en MDD (5 años)	Km. de FO (5 años)	Cobertura (Ciudades en 5 años)
ALESTRA	1,000	8,600	32
AVANTEL	1,800	20,000	33
BESTEL	200	2,250	60%
IUSATEL	1,200	7,500	69
MARCADEL	2,500	1,300	61
MIDITEL	300	Red Satelital	5,000
PROTEL	412	1,600	36
TELMEX	12,000*	30,000**	20,554

\* Esta fue una inversión de Telmex previa a la apertura de las telecomunicaciones.

\*\* Esta red de fibra óptica ya estaba instalada antes de la apertura de las telecomunicaciones. Incluye el proyecto Columbus II de cable submarino.

Tabla 1.1 de Redes de larga distancia

Por otro lado, en redes de acceso las fibras ópticas también se están implementando a gran escala. La estrategia consiste en establecer anillos metropolitanos como red primaria, enlazando sitios o edificios estratégicos y de ahí derivar diversos anillos secundarios para contar con varios puntos de presencia, también sobre edificios estratégicos. Los objetivos son poder brindar servicio a las empresas localizadas en los edificios incluidos en los anillos y tener un punto cercano a muchos otros edificios, en donde la implementación de enlaces de microondas punto a punto (PAP) o punto a multipunto (PAM) y enlaces por cobre con otras tecnologías sea factible.

En México, dentro del marco de apertura y adicionalmente a la red de TELMEX, se están implementado redes de acceso local basadas en fibra óptica, tanto para nuevos operadores de redes de acceso o CAPs ( *Competitive Access Provider*) o bien operadores de telefonía local o CLEC ( *Competitive Local Exchange Carrier*). Como ejemplo de estos nuevos operadores encontramos a AXTEL, ALESTRA, AVANTEL, MAXCOM, MCM, MetroRed, MetroNet, PEGASO, UNEFON etc, los cuales comenzaron operaciones en 1999

Empresa	Tipo de red y servicios	Inversión en MDD	Tecnología	Ciudades con presencia
AXTEL	Acceso y telefonía inalámbrica fija	1 200	Anillos de fibra óptica, SDH y TDMA	Todo el país Inicialmente México Monterrey y Guadalajara
AVANTEL	Acceso y telefonía	ND	Anillos de fibra óptica, SDH, PAP y PMP	México, Monterrey y Guadalajara
MAXCOM	Acceso y telefonía	ND	Anillos de fibra óptica, SDH, PAP y PMP	Inicialmente México y Puebla
MCM	Acceso y telefonía	ND	Anillos de fibra óptica, SDH, PAP	México, Monterrey y Guadalajara
METRORED	Acceso y telefonía	ND	Anillos de fibra óptica, SDH, PAP	México, Monterrey y Guadalajara
METRONET	Acceso y telefonía		Anillos de fibra óptica, SDH, PAP	México, Monterrey y Guadalajara
PEGASO	Telefonía inalámbrica fija y móvil	900	PAP, CDMA	Todo el país Inicialmente, Tijuana, Guadalajara, Monterrey y México
TELMEX	Acceso, telefonía y telefonía inalámbrica fija	ND	Anillos de fibra óptica, SDH, PAP y PMP	Todo el país
UNEFON	Telefonía inalámbrica fija y móvil	1 450	PAP, CDMA	Todo el país

**Tabla 1.2 de Redes CAP y CLEC En México**

En redes submarinas el uso de la fibra óptica ha sido un factor importante dentro del concepto de la globalización, haciendo desaparecer las fronteras, pues con ella las comunicaciones entre continentes de gran capacidad, de gran calidad y de bajo costo han sido posible.

Existen decenas de cables submarinos instalados y decenas de proyectos por instalar. Por mencionar algunos sistemas de cable submarinos tenemos al sistema Columbus II, con 12,300 kilómetros entre América y Europa y en donde México tiene participación a través de TELMEX. Otro proyecto importante es el de OXYGEN, el cual se perfila como una plataforma para la INTERNET2, para permitir las comunicaciones multimedia de las que hemos hablado y así el concepto de la supercarretera de la información se haga una realidad.

Este proyecto, cuya primera fase se concluirá en el 2003, comprende 168,000 Km de FO en 78 países, con tecnologías SDH/DWDM y a velocidades de 1 28 Tbps. Finalmente, tenemos el proyecto de Global Crossing que pretende unir 156 ciudades alrededor del planeta.



**Fig. 1.2 proyecto Global Crossing de fibra óptica submarina y terrestre (solo se muestra una parte del proyecto)**

La última aplicación que mencionaremos de las fibras ópticas dentro del ámbito de las telecomunicaciones se refiere a las redes de televisión por cable (CATV). En redes de CATV existe una gran planta instalada, sin embargo aquí se está invirtiendo en fibra óptica en los segmentos troncales para formar redes híbridas de fibra y coaxial o HFC como se les conoce por sus siglas en inglés, permitiendo con esto aumentar su capacidad de aplicaciones y servicios. Los operadores de redes de cable están viendo en la fibra un aliado para rediseñar su negocio y proyectarse hacia el futuro como una red que además de ofrecer servicios de distribución de video, ofrece el acceso a Internet, telefonía y sobre todo contenido.

## **Redes de computadoras**

En redes LAN la utilización del par trenzado tiene gran aceptación, pues es mucho más económico para el cableado horizontal en donde se requieren distancias menores a los 100 m y con lo que se obtienen velocidades en el orden de los Mbps. Para el cableado vertical se prefiere la utilización de fibras ópticas por las distancias y las capacidades utilizadas. Y es ahí en donde éstas están encontrando una gran aceptación dentro del mercado de las computadoras.

Por otro lado, también se pretende la utilización de fibras ópticas y transmisores LED y LASERs dentro de los equipos de cómputo y de comunicaciones, con el fin de aumentar las velocidades internas, proteger en contra de interferencias y eliminar las radiaciones que estos equipos generan.

# CAPITULO 2

## CONCEPTO DE TRANSMISIÓN POR FIBRA ÓPTICA

### **Las Fibras Ópticas.**

Las fibras ópticas son filamentos de vidrio de alta pureza que conduce la luz, están construidas de dos materiales dieléctricos transparentes (substancias sin conductividad eléctrica tales como vidrio y plástico). Uno de los materiales forma el núcleo y el otro material forma el revestimiento además son extremadamente compactas: El grosor de una fibra es similar a la de un cabello humano. Las fibras ópticas están arregladas para conducir la luz dentro del núcleo utilizando el fenómeno de reflexión total.

Fabricadas a alta temperatura con base en silicio, su proceso de elaboración es controlado por medio de computadoras, para permitir que el índice de refracción de su núcleo, que es la guía de la onda luminosa, sea uniforme y evite las desviaciones, entre sus principales características se puede mencionar que son compactas, ligeras, con bajas pérdidas de señal, amplia capacidad de transmisión y un alto grado de confiabilidad debido a que son inmunes a las interferencias electromagnéticas de radio-frecuencia. Las fibras ópticas no conducen señales eléctricas por lo tanto son ideales para incorporarse en cables sin ningún componente conductivo y pueden usarse en condiciones peligrosas de alta tensión. Tienen la capacidad de tolerar altas diferencias de potencial sin ningún circuito adicional de protección y no hay problemas debido a los cortos circuitos. Tienen un gran ancho de banda, que puede ser utilizado para incrementar la capacidad de transmisión con el fin de reducir el costo por canal; De esta forma es considerable el ahorro en volumen en relación con los cables de cobre.

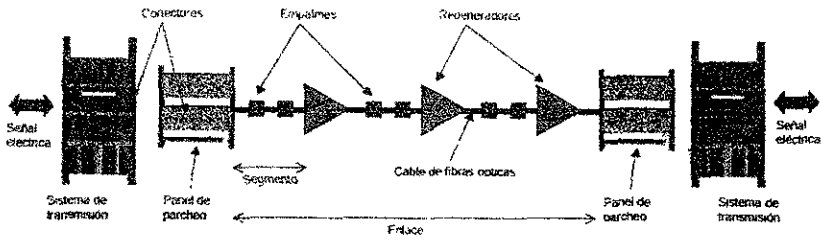
Por ejemplo, con un cable de seis fibras se puede transportar la señal de más de cinco mil canales o líneas principales, mientras que se requiere de 10,000 pares de cable de cobre convencional para brindar servicio a ese mismo número de usuarios, con la desventaja que este último medio ocupa un gran espacio en los ductos y requiere de grandes volúmenes de material lo que también eleva los costos

Comparado con el sistema convencional de cables de cobre donde la atenuación de sus señales, (decremento o reducción de la onda o frecuencia ) es de tal magnitud que requieren de repetidores cada dos kilómetros para regenerar la transmisión, en el sistema de fibra óptica se pueden instalar tramos de hasta 70 Km. Sin que halla necesidad de recurrir a repetidores lo que también hace más económico y de fácil mantenimiento este material.

Originalmente, la fibra óptica fue propuesta como medio de transmisión debido a su enorme ancho de banda; sin embargo, con el tiempo se ha planteado para un amplio rango de aplicaciones además de la telefonía, automatización industrial, computación, sistemas de televisión por cable y transmisión de información de imágenes astronómicas de alta resolución entre otros.

En un sistema de transmisión por fibra óptica existe un transmisor que se encarga de transformar las ondas electromagnéticas en energía óptica o en luminosa, por ello se le considera el componente activo de este proceso. Una vez que es transmitida la señal luminosa por las minúsculas fibras, en otro extremo del circuito se encuentra un tercer componente al que se le denomina detector óptico o receptor, cuya misión consiste en transformar la señal luminosa en energía electromagnética, similar a la señal original. El sistema básico de transmisión se compone en este orden, de señal de entrada electromagnética , amplificador, fuente de luz, corrector óptico, línea de fibra óptica (primer tramo), empalmes, línea de fibra óptica (segundo tramo), corrector óptico ó regeneradores, receptor, amplificador y señal de salida electromagnética.

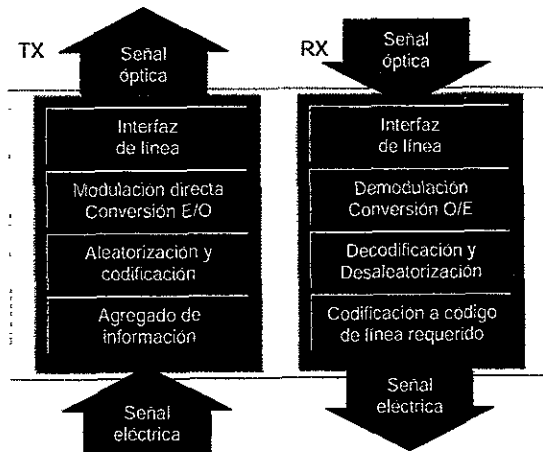
Para poder entender mejor esto, lo visualizar en la figura 2.1 que nos representa un diagrama de un enlace por fibra óptica.



**Fig. 2.1** Diagrama de un enlace por Fibra Óptica.

Para poder explicar los procesos que se general tanto al principio de la transmisión como al final de esta lo explicaremos solamente con la figura 2.2 ya que el tema aquí es solamente cables de fibra óptica por lo tanto no se profundizara con estos procesos, ya que son muy extensos.

En la figura 2.2 se aprecia las etapas que debe seguir la transmisión de señal antes de poder viajar por todo el sistema de enlace de fibra óptica.



**Fig. 2.2** Diagrama de bloque de un sistema de transmisión óptico.

Entra una señal eléctrica se le monta la información que se desea transmitir, se codifica la señal, se modula y se convierte de una señal eléctrica a una óptica, se lleva a una interfaz para poder ser mandada ya como una señal óptica. El proceso que se realiza en el otro extremo es el mismo pero en una forma inversa.

En resumen, se puede decir que este proceso de comunicación, la fibra óptica funciona como medio de transportación de la señal luminosa, generado por el transmisor de LED'S (diodos emisores de luz ) y lasers.

Los diodos emisores de luz y los diodos lasers son fuentes adecuadas para la transmisión mediante fibra óptica, debido a que su salida se puede controlar rápidamente por medio de una corriente de polarización. Además su pequeño tamaño, su luminosidad, longitud de onda y el bajo voltaje necesario para manejarlos son características atractivas.

Para poder entender mejor esto se profundizara un poco mas en algunos principios y definiciones de ciertos fenómenos que se producen en las fibras ópticas y por lo mismo son piezas esenciales en las fabricación y funcionamiento de las fibras ópticas.

### **La Longitud de onda**

Hablar de los parámetros Frecuencia, medida en Hz; y Longitud de Onda, medida en m, es hablar del mismo concepto en señales ópticas. Estos dos parámetros son equivalentes e inversamente proporcionales. Entre más grande sea la frecuencia de una señal, menor será su longitud de onda; y entre más pequeña sea su frecuencia, mayor será su longitud de onda. El símbolo utilizado para la longitud de onda es la letra griega lamnda. Y su expresión formal es la siguiente:



$$\lambda = \frac{c}{f}$$
$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Fig. 2.3 Ecuación de la longitud de Onda

Si el parámetro Frecuencia nos indica cuántas veces se repite una señal en una unidad de tiempo, el parámetro Longitud de Onda indica cuánto mide esa señal en el espacio, y se mide en metros (m) o más adecuadamente en nanómetros (nm).

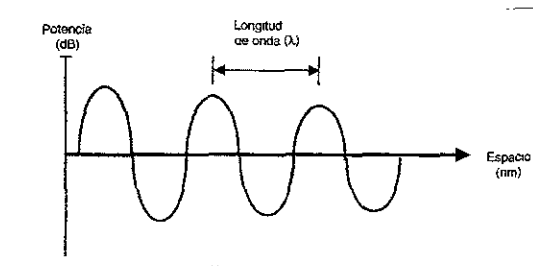


Fig. 2.4 La longitud de onda

En la figura 2.4, se ha dibujado una potencia decreciente de la señal, dado que la representación gráfica en este caso está en función del espacio, es decir de la distancia que recorre la luz. Conforme más distancia recorre, más potencia va perdiendo. Este fenómeno se observará sobre distancias del orden de los kilómetros.

## El Índice de Refracción

Hemos escuchado que la luz viaja a 300,000 Km./ seg., o lo que es lo mismo a  $C=3 \times 10^8$  m donde C es la constante universal de la aceleración de la luz en el vacío. Sin embargo, no siempre viaja a esa velocidad. Esa velocidad corresponde al vacío, cuando la luz alcanza su máxima velocidad. En otros medios, como el aire, la luz viajará a otra velocidad que será menor a C. Aproximadamente la luz viaja en el aire a una velocidad de 290,000 Km./ seg; en el vidrio viaja a una velocidad de 200,000 Km. / seg. Cada cuerpo tiene una resistencia natural al paso de la luz, entre más opaco sea un material, mayor resistencia tendrá al paso de la luz y menor será la velocidad de la luz en ese medio.

Este parámetro de cada cuerpo que determina la velocidad de la luz en él, se llama Índice de Refracción. Este Índice de Refracción indica cuantas veces es menor la velocidad de la luz en ese cuerpo, con relación a la velocidad de la luz en el vacío. Su notación es la siguiente:

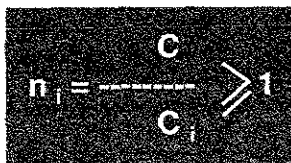

$$n_i = \frac{c}{c_i} \geq 1$$

Fig. 2.5 El Índice de Refracción

Tomemos el caso del aire. La velocidad de la luz en el aire es  $C_{\text{aire}} = 290,000$  Km/seg; y  $C=300,000$  Km/seg. Por lo tanto, el Índice de Refracción del aire es  $n_{\text{aire}} = 1.03$ . Para el vidrio,  $C_{\text{vidrio}} = 200,000$  Km/seg, entonces  $n_{\text{vidrio}} = 300/200$ ,  $n_{\text{vidrio}} = 1.5$ .

Todos los Índices de Refracción son mayores a 1, sólo para el caso del vacío éste es igual a 1. Entre más grande sea el Índice de Refracción de un material, menor será la velocidad de la luz en ese medio.

**El Índice de refracción de un material indica la velocidad de la luz en ese material.**

## La Ley de Snell

Ya sabemos qué le pasa a la luz cuando viaja dentro de un material con un Índice de Refracción  $n_1$ , su velocidad se reduce en  $n_1$ . Ahora veremos qué le ocurre a la luz cuando pasa de un medio 1 a otro medio 2 con Índices de Refracción  $n_1$  y  $n_2$  respectivamente.

Cuando hablamos de dos medios con diferente Índice de Refracción, implícitamente hablamos de la frontera que se forma entre esos dos medios.

Un ejemplo: en una frontera la tenemos en la ventana de una casa. La ventana tiene vidrio y al interior hay aire, entonces la superficie interior del vidrio de la ventana es una frontera, dado que se unen el propio vidrio y el aire del interior. En el exterior de la ventana se formará otra frontera.

Para ver en qué consiste la Ley de Snell tomemos el mismo caso de la ventana antes mencionada. En la figura 2.6, observamos el medio 1 que podría ser el aire interior y el medio 2 que podría ser el vidrio de la ventana del ejemplo.

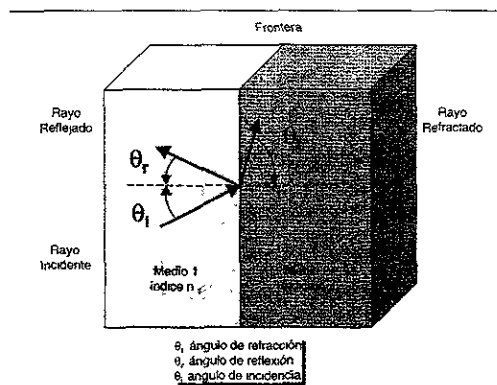


Fig. 2.6 Reflexión y Refracción

Cada medio cuenta con un Índice de Refracción y entre ambos medios tenemos formada la frontera. Tenemos listo el escenario para saber lo que indica la Ley de Snell.

Cuando se hace incidir un haz de luz sobre una frontera con un ángulo  $\theta_i$  medido a partir de una línea normal o perpendicular a la frontera, este haz de luz se dividirá en dos partes:

Una parte del haz de luz incidente pasará al otro medio y cambiará su dirección a un ángulo  $\theta_t$ . Decimos que aquí hay una Refracción.

Otra parte del haz de luz incidente se quedará en el mismo medio y regresará con un ángulo  $\theta_r$ . Decimos que aquí hay una Reflexión.

Intuitivamente podemos decir que el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia, pero, ¿Qué valor toma el ángulo de refracción? ¿De quién depende la desviación que sufre un haz de luz al pasar de un medio a otro?

Las relaciones entre los ángulos participantes en este fenómeno están perfectamente determinadas y expresadas en la Ley de Snell que iguala el ángulo de incidencia con el ángulo de reflexión. Para el ángulo de refracción tendremos.

---

$$\underline{n_1 \text{ sen } \theta_i = n_2 \text{ sen } \theta_t}$$

Fig. 2.7 LEY SNELL

Como vemos, la dirección que tome el haz de luz refractado depende en primera instancia, de la dirección del haz de luz de incidencia y también depende directamente de la relación que haya entre los Índices de Refracción.

Imaginemos y analicemos qué es lo que pasaría si incrementamos el ángulo de incidencia de la figura 2.6 de reflexión y refracción. Primero, el ángulo de reflexión siempre será igual al ángulo de incidencia. Segundo, el ángulo de refracción alcanzará poco a poco un valor de 90 grados, es decir, alcanzará la frontera. En ese preciso momento decimos que no hay refracción y al valor del ángulo de incidencia correspondiente se le llama ángulo crítico  $\theta_c$

Si se continuara incrementando el ángulo de incidencia, es decir, si se excediera el ángulo crítico ocurre el fenómeno llamado Reflexión Interna Total. En esta condición, no pasa ningún haz de luz al otro medio, hay cero refracción y toda la luz se refleja al mismo medio 1. Este procedimiento lo tenemos descrito en las tres etapas que vemos en la figura 2.8

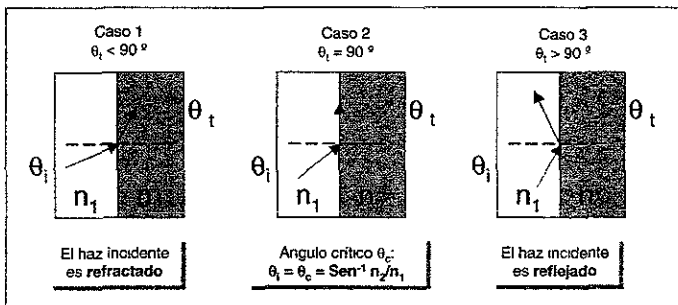


Fig. 2.8 Variación del ángulo de incidencia

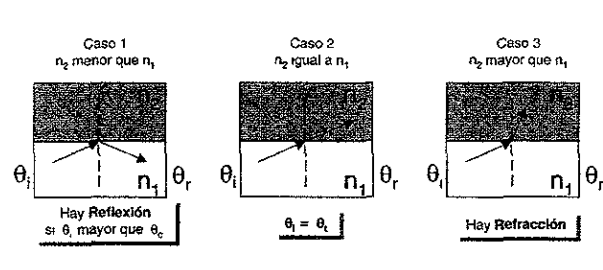
Como conclusión de los tres casos anteriores anotemos lo siguiente:

- 1- El ángulo crítico  $\theta_c$  es determinado únicamente por los Índices de Refracción de los dos medios que forman la frontera.
- 2- Si el haz de luz incidente tiene un ángulo menor a  $\theta_c$ , entonces pasará al medio 2, ocurriendo así una refracción.
- 3- Si el haz de luz incidente tiene un ángulo mayor a  $\theta_c$ , entonces regresará hacia el medio 1, ocurriendo así una reflexión

Veamos ahora qué pasa si en lugar de variar el ángulo de incidencia con índices de refracción constantes, tomamos una dirección de incidencia constante, un medio 1 con Índice de Refracción constante y un Índice de Refracción del medio 2 variable.

Para esta segunda demostración, hemos puesto la frontera en forma horizontal y no vertical como en el caso de la figura 2.8. Esto no causará ninguna modificación en cuanto al comportamiento de la Ley de Snell, pero sí servirá para comprender posteriormente como se propaga la luz dentro de las fibras ópticas

Tomando diferentes valores de  $n_2$ , veamos qué resultados obtenemos, en la figura 2.9.



**Fig. 2.9 Variaciones en el Índice de Refracción**

Como conclusión a estos tres últimos casos, anotemos lo siguiente

- 1- Si  $n_2$  es menor que  $n_1$ , donde  $n_1$  es el Índice de Refracción del medio 1 y donde inicialmente se encuentra el haz de luz incidente; y si el ángulo de incidencia es mayor al ángulo crítico, entonces ocurrirá el fenómeno de Reflexión Interna Total.
- 2- Si los Índices de Refracción de ambos medios son iguales, no habrá ninguna desviación en la dirección del haz de luz, es como si fuera el mismo medio
- 3- Si el Índice de Refracción del medio 2 es mayor, habrá refracción.

De los casos analizados en la figura 2.8, nos va a interesar el primer caso, donde es posible pasar de un medio a otro, hay una refracción, en una frontera vertical.

De los casos analizados en la figura 2.9, nos va a interesar el primer caso, donde permanecemos en el mismo medio con reflexiones totales internas, en una frontera horizontal.

Ahora si con estos principios podemos hablar de la propagación de la luz en la fibra óptica

### Propagación de la luz en las fibras ópticas

Veamos ahora esta nueva representación en perfil de la capa longitudinal central de la fibra, en la figura 2.10 para ver detalladamente como sigue su trayecto la luz al propagarse al interior de la fibra

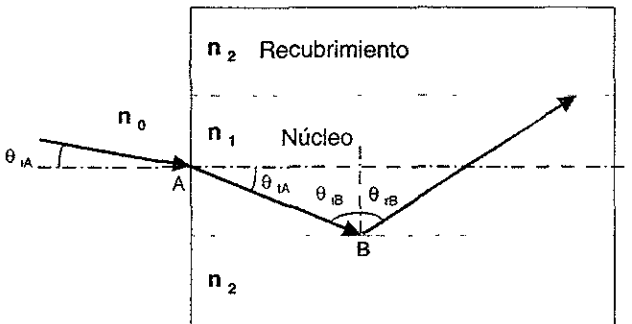


Fig. 2.10 Perfil de una fibra óptica

Para analizar esta gráfica partamos de la frontera vertical que se forma entre el medio 0 y el núcleo que es el medio 1. Dado que hay una frontera, entonces existe un ángulo crítico que depende de  $n_0$  y  $n_1$ . Para que el haz de luz en el punto A pueda traspasar al núcleo es necesario que incida en esta frontera con un ángulo menor a ese ángulo crítico determinado por  $n_0$  y  $n_1$ . En otras palabras, requerimos de una refracción en el punto A.

Una vez que el haz de luz ha entrado al núcleo, éste debe incidir en la frontera horizontal formada por el núcleo y el recubrimiento, de tal manera que haya una reflexión total interna. Para hacer eso posible, el ángulo de incidencia en el punto B debe ser mayor al ángulo crítico determinado por  $n_1$  y  $n_2$ . Dado que el ángulo de reflexión es el mismo que el ángulo de incidencia, el haz de luz saldrá del punto B con la misma dirección con la que llegó y llegará al siguiente punto de la frontera núcleo-recubrimiento con las mismas condiciones y se tendrá en ese siguiente punto otra vez una reflexión interna total. Estas reflexiones ocurrirán tanto como sea larga la fibra óptica, que puede ser hoy día de hasta 15 kilómetros.

Para lograr la reflexión interna total en el punto B es que se dopó el núcleo, alterando su Índice de Refracción con respecto del Índice de Refracción del recubrimiento.

En resumen teórico, la luz entra al núcleo refractándose en la frontera formada por los medio 0-1; posteriormente, se irá rebotando a lo largo de la fibra mediante reflexiones internas totales en las fronteras formadas por los medios 1-2.

### **La Apertura Numérica**

Como lo hemos visto en la explicación anterior, existen dos puntos donde la luz está sometida a la Ley de Snell. En el punto A debe haber una refracción y en el punto B debe haber una reflexión. En cada punto hay un ángulo crítico; en el punto A este ángulo crítico  $\theta_{cA}$  está determinado por  $n_0$  y por  $n_1$ ; mientras que en el punto B este ángulo crítico  $\theta_{cB}$  está determinado por  $n_1$  y  $n_2$ .

Para garantizar que haya una propagación de la luz al interior de la fibra, se deben de cumplir dos condiciones:



La primera es que el ángulo de incidencia sobre el núcleo sea menor al ángulo  $\theta_{cA}$ , con el fin de que haya refracción en el punto A

La segunda es que el ángulo de incidencia en la frontera núcleo-recubrimiento, que será la misma dirección con que saldrá refractado del punto A, sea mayor al ángulo  $\theta_{cB}$ , con el fin de que haya una reflexión en el punto B.

El cumplimiento de estas dos condiciones se puede resumir en un solo parámetro que se llama la Apertura Numérica, NA. Este parámetro resultó de un análisis trigonométrico sobre A y B y su resultado fue un sólo valor dependiente estrictamente del Índice de Refracción del núcleo  $n_1$  y del Índice de Refracción del recubrimiento  $n_2$ , su expresión es la de la figura 2.11

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Fig. 2.11 La Apertura Numérica NA

Este parámetro indica en forma directa y proporcional qué tanto margen en dirección tenemos para incidir sobre el punto A teniendo la garantía de que una vez dentro, la luz refractada en A, se reflejará en B.

Hagamos un ejemplo numérico tomando valores típicos de  $n_1=1.5$  y  $n_2=1.47$ . El valor de NA es 0.2984.

## El Angulo de Aceptación

Para saber más exactamente el margen que tenemos en la dirección del haz de luz incidente, se ha definido otro parámetro más, que es totalmente equivalente a la NA. Este parámetro es el Angulo de Aceptación  $\theta_a$ , medido en grados y que nos indica más fácilmente cuál es la región en que debemos incidir el haz de luz sobre A para garantizar la propagación.

$$\sin \theta_a = NA$$

Fig. 2. 12 El Angulo de Aceptación  $\theta_a$

Sustituyendo  $NA = 0.2984$  en la fórmula de la figura 2.12 y despejando el ángulo  $\theta_a$ , tenemos que:

$\theta_a = 17.3$ . Este es el ángulo límite máximo para garantizar la propagación de la luz en una fibra óptica con  $n_1 = 1.5$  y  $n_2 = 1.47$ , si se incide con un ángulo mayor, no habrá propagación

**La Apertura Numérica indica cuanto margen se tiene para incidir sobre una fibra óptica y lograr la propagación**

Para poder concluir solamente nos falta mencionar dos parámetros de suma importancia y son: La Atenuación Dispersión

## Atenuación y Dispersión

Al propagarse la luz a lo largo de la fibra va a sufrir algunos cambios debidos a características de la fibra óptica

### Definiciones

Los fenómenos que ocurren son prácticamente dos: la atenuación y la dispersión. La atenuación es la pérdida de potencia conforme la luz se propaga; entre más camino recorra la luz, mayor será la atenuación y por lo tanto menor será la potencia de la luz a su llegada al otro extremo del enlace. La dispersión es un fenómeno un poco más complejo. Consiste en el retardo que toma parte de la luz al viajar a lo largo de la fibra óptica.

Lo anterior lo podemos visualizar mejor si imaginamos un pulso de un segundo de duración y ese pulso lo hacemos entrar a un extremo de la fibra. Del otro extremo de la fibra obtendremos ese pulso con menor potencia, debido a la atenuación; pero su duración ya no será de un segundo sino de 1.2 segundos. Esto es la dispersión. La dispersión es el ensanchamiento en el tiempo de la luz. Entre más camino recorra la luz, mayor será el ensanchamiento y por lo tanto mayor será la duración total del pulso de la luz a su llegada al otro extremo del enlace.

Estos dos fenómenos los podemos ver en la ilustración de la figura 2.13.

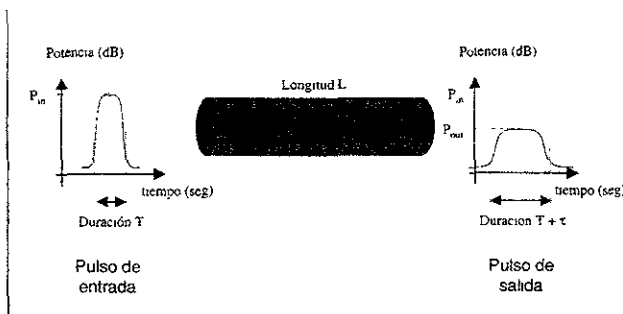


Fig. 2.13 La Atenuación y la Dispersión

Apreciemos cómo un pulso de luz que inicialmente tiene una potencia de entrada  $P_{in}$ , va perdiendo esta potencia conforme viaja a lo largo de una fibra de longitud determinada  $L$ , en kilómetros. Al recuperar ese pulso en el otro extremo, el pulso tiene ahora tan sólo una potencia de salida  $P_{out}$  considerablemente menor a  $P_{in}$ . La diferencia  $P_{in}-P_{out}$  es directamente proporcional a  $L$ .

Apreciemos también que la duración inicial del pulso es de  $T$  segundos, mientras que a la salida de la fibra, este pulso ha prolongado su duración en  $\tau$  segundos, para tener una duración total de  $T + \tau$  segundos. El ensanchamiento  $\tau$  es directamente proporcional a  $L$ .

### **Coefficientes de Atenuación y Dispersión**

Del caso anterior, o sobre cualquier segmento de fibra óptica, es posible medir cuánta potencia se pierde en el trayecto, recordemos que esas pérdidas son debidas a diferentes causas. Para hacer tal medición bastaría con medir la potencia en la entrada, luego medir la potencia en la salida y la diferencia entre ambas equivaldría a la atenuación total de esa fibra. Entre más pequeña sea esta atenuación, la fibra tendrá una mejor calidad. Pero esta medición depende de la longitud del segmento de fibra.

Para manejar un parámetro que no dependa de la longitud de la fibra y que exprese la calidad de la fibra, se habla del coeficiente de atenuación ( $\alpha$ ), que indica cuánta potencia se pierde en cada kilómetro recorrido de fibra. Para el caso de la figura 2.13, este valor de coeficiente se puede obtener de la siguiente manera:  $(P_{in} - P_{out}) / L$ .

Lo anterior es posible dado que las pérdidas en la fibra óptica son lineales, por lo tanto, el coeficiente de atenuación ( $\alpha$ ) es una constante. Un  $\alpha$  constante indica que se perderá la misma cantidad de potencia en el primer kilómetro recorrido que en el último kilómetro del enlace. Así, la unidad del coeficiente de atenuación ( $\alpha$ ) es dB/Km, es decir unidad de potencia sobre unidad de distancia.

Recordando el inicio de las fibras ópticas, cuando se empezó a fabricar las primeras fibras, este coeficiente era de 1000 dB/Km, algo totalmente inadmisibles para un medio de transmisión. En los 70's se logró construir los primeros prototipos para comunicaciones, con coeficientes  $\alpha$  de tan sólo 20 dB/Km; pero aún era demasiada pérdida en las fibras. Hoy en día se fabrican fibras ópticas con atenuaciones del orden de 0.17 dB/Km.

**$\alpha$  es el coeficiente de atenuación y se mide en dB/Km**

Para la dispersión podemos hacer un análisis similar. Del caso anterior, o sobre cualquier segmento de fibra óptica, es posible medir cuánto tiempo de más tiene un pulso dado al recorrer un trayecto. Así como hay diferentes causas para la atenuación también hay diferentes causas para la dispersión; ambas se estudiarán posteriormente. Para hacer tal medición bastaría con medir la duración del pulso a la entrada de la fibra, luego medir la duración a la salida y la diferencia entre ambas equivaldría al ensanchamiento sufrido por el pulso. En el caso de la figura 2.13, este ensanchamiento es  $\tau$ . Entre más pequeño sea este ensanchamiento, el enlace óptico tendrá un mejor desempeño y por lo tanto la fibra tendrá una mejor calidad. Al igual que para la atenuación, esta medición depende de la longitud del segmento de fibra.

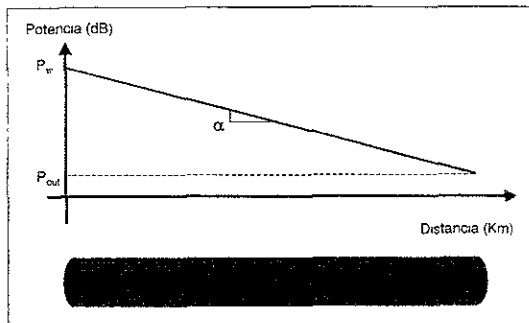
Para manejar otro parámetro independiente de la longitud de la fibra y que exprese el ensanchamiento, se ha definido el coeficiente de dispersión  $\sigma$ , que indica cuánto tiempo se ensancha un pulso por cada kilómetro recorrido. Para el caso de la figura 2.13, este valor de coeficiente se puede obtener de la siguiente manera:  $\tau / L$ .

Lo anterior es posible dado que el fenómeno de la dispersión en la fibra óptica es lineal, por lo tanto, el coeficiente de atenuación  $\sigma$  es una constante. Un  $\sigma$  constante indica que un pulso se ensanchará la misma cantidad de tiempo en el primer kilómetro recorrido que en el último kilómetro del enlace. Así, la unidad del coeficiente  $\sigma$  es s/Km, es decir unidad de tiempo sobre unidad de distancia. En la práctica se usa un submúltiplo del segundo y se habla de ns/Km

**$\sigma$  es el coeficiente de dispersión y se mide en ns/Km**

Los dos coeficientes anteriormente estudiados pueden emplearse en representaciones gráficas de un enlace óptico.

A continuación tenemos una representación gráfica, llamada Presupuesto de Potencia, en esta gráfica se aprecia cómo se va perdiendo la potencia a lo largo de la fibra. Para el caso de la figura 2.14 sólo se aprecian las pérdidas debidas a la fibra, es decir al coeficiente  $\alpha$ .



**Fig. 2.14 Presupuesto de Potencia con  $\alpha$**

En esta gráfica se muestra cómo la potencia se va perdiendo linealmente a una pendiente de atenuación ( $\alpha$ ).

La gráfica de la figura 2.15 nos muestra cómo una señal no tiene ningún ensanchamiento al entrar a la fibra, es decir dura su periodo normal. A la salida de la fibra, tendrá una duración igual al periodo inicial más el ensanchamiento que sufrió al recorrer la fibra.

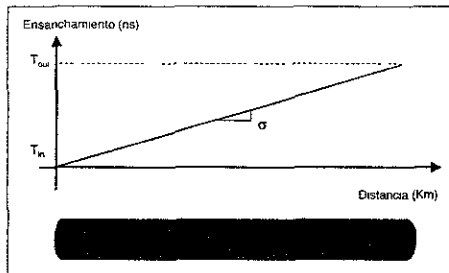


Fig. 2.15 Ensanchamiento de un pulso con  $\sigma$

Así, cualquier señal con un periodo dado, sufrirá un ensanchamiento debido a la fibra óptica.

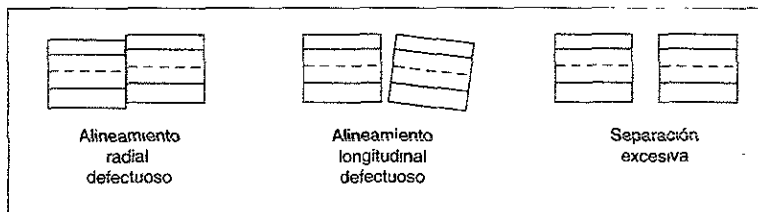
### Factores que propician la atenuación

Podemos distinguir 3 causas de pérdida de potencia en un enlace óptico, que son por absorción, por empalmes y conectores y por curvaturas.

La primera y principal causa de pérdidas es la absorción, que por el simple hecho de propagarse la luz por un medio se perderá potencia irremediablemente. Hay absorción intrínseca y extrínseca, la primera no se puede evitar, por el sólo hecho de viajar la luz, ésta perderá potencia. Por otro lado, hay la absorción extrínseca, que no se debe en si a la naturaleza del vidrio, sino a la forma en que fueron fabricadas. Las impurezas o pequeñas burbujas de aire o de otro material que puedan quedar como remanentes de impureza serán causa de que los fotones choquen y se desvien, perdiéndose así energía. La forma de contrarrestar esta causa es usando luz infrarroja que es la que absorbe menos el vidrio y sometiendo a las fibras a un estricto proceso de purificación. De aquí es de donde resulta el coeficiente  $\alpha$ .

La segunda causa de pérdidas en un enlace óptico son los elementos de unión que pueden ser los conectores o los empalmes. Los conectores los empleamos para unir una fibra con un equipo, y los empalmes los usamos para unir dos fibras y hacer una más grande. Ambos elementos introducen pérdidas; aunque hoy en día han sido apreciablemente reducidas. La razón de porqué un conector o empalme introduce pérdidas es que para la luz esto significa pasar por una frontera, y recordando la Ley de Snell, ello significa reflexiones y refracciones.

Si hay luz reflejada en un conector pasará menor cantidad de luz al otro lado, por tal, se perderá potencia. Si los conectores no quedan bien alineados radial y longitudinalmente, la luz no podrá pasar en su totalidad. Por diferentes métodos de fabricación de conectores y métodos de empalmado, se ha mejorado sustancialmente estas pérdidas.



**Fig. 2.16 Pérdidas por unión**

La tercera causa de pérdidas son las curvaturas. Siempre que haya una curvatura en un cable de fibras ópticas, se introducirá pérdidas, aunque éstas son muchas veces ignoradas por lo pequeñas comparadas a las anteriores. Hay dos tipos de curvaturas, las macrocurvaturas y las microcurvaturas. Las primeras son apreciables a simple vista y pueden despreciarse si no se excede un radio de curvatura igual a 20 veces el diámetro del cable



Si se excede este limite, entonces las pérdidas empiezan a ser considerables y se puede llegar a la pérdida total que es cuando la luz sale del núcleo y no se propaga. Las segundas, las microcurvaturas, no son apreciables a simple vista, son pequeñas torceduras o presiones que sufre la fibra y que también introducen pérdidas. Este tipo de curvaturas ocurren cuando se sujeta demasiado fuerte una fibra.

**La atenuación  $\alpha$  limita la distancia máxima de un enlace óptico**

Si la atenuación limita la distancia de un enlace óptico, La dispersión limita el ancho de banda de tal enlace. Si la fibra empleada en el enlace tiene un coeficiente de dispersión  $\sigma$  muy malo, el ancho de banda será muy pequeño. Si por lo contrario se emplean fibra con coeficiente de dispersión bueno, el ancho de banda que se puede transportar por esa fibra será mayor.

La formula que se emplea para calcular el ancho de banda máximo que puede transportar una fibra es el siguiente:

$$B \leq 1/2\tau \quad \tau = \sigma L$$

Donde B es ancho de banda máximo o velocidad máxima que se puede manejar en una fibra con un coeficiente de dispersión  $\sigma$  y una distancia L. Hoy por hoy las velocidades máximas que se manejan son alrededor de los 10 Gbps

**La dispersión  $\sigma$  limita la velocidad máxima de un enlace óptico**

## **Características de los sistemas de comunicación por F.O.**

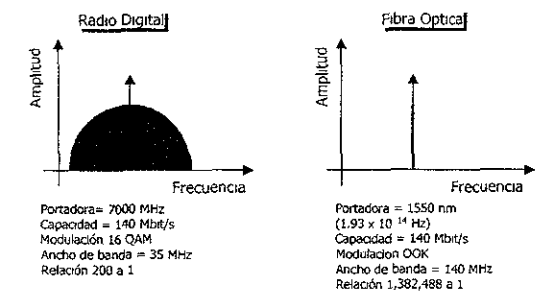
Generalmente, las fibras ópticas se agrupan para formar cables ópticos de 2, 4, 6, 144 o 900 fibras. Se trata de un soporte particularmente eficaz para enlaces digitales punto a punto. Los enlaces multipunto realizados mediante acopladores o estrellas ópticas se puede transmitir en banda base (la información es transmitida por presencia o ausencia de intensidad luminosa) o en analógica (por modulación de la amplitud de la intensidad luminosa)

### **Ventajas de las fibras ópticas**

Encontramos diversas ventajas que favorecen la utilización de las fibras ópticas sobre redes de telecomunicaciones. A continuación las enumeraremos e inmediatamente después comentaremos algunas de ellas

- Muy altas capacidades, en el orden de los Tbps.
- Calidad en la transmisión, en el orden de  $BER = 10^{-12}$
- Niveles bajos de atenuación, en el orden de 0.2 dB/km
- Respuesta a la frecuencia plana dentro de las ventanas ópticas, por lo tanto se prescinde prácticamente de ecualización
- Distancia grande entre repetidores, entre 150 y 600 Km.
- Inmunidad al ruido e interferencias

- Menor costo por circuito que cualquier otro medio.
- Cables más ligeros pequeños y flexibles
- No generan interferencia y por lo tanto no existe la diafonía
- Seguridad en la transmisión
- Facilidad de mantenimiento.
- Gran flexibilidad, el radio de curvatura puede ser inferior a 1 cm, lo que facilita la instalación enormemente,
- Una inmunidad total a las perturbaciones de origen electromagnético, lo que implica una calidad de transmisión muy buena, ya que la señal es inmune a tormentas.
- Gran seguridad: la intrusión en una fibra óptica es fácilmente detectable por el debilitamiento de la energía luminosa en recepción, además, no radia nada, lo que es particularmente interesante para aplicaciones que requieren alto nivel de confidencialidad
- Insensibilidad a los parásitos, lo que es una propiedad principalmente utilizada en los medios industriales fuertemente perturbados (por ejemplo, en los túneles del metropolitano) Esta propiedad también permite la coexistencia por los mismos conductos de cables ópticos no metálicos con los cables de energía eléctrica.;
- Una gran resistencia al calor, frío, corrosión;
- Facilidad para localizar los cortes gracias a un proceso basado en la telemetría, lo que permite detectar rápidamente el lugar y posterior reparación de la avería, simplificando la labor de mantenimiento.



**Figura 2.17** Ejemplo de capacidad de las fibras ópticas

La alta capacidad que se consigue sobre las fibras ópticas se debe al gran ancho de banda que éstas pueden manejar. En la figura 2.17 se compara la capacidad de un enlace de radio digital frente a uno con fibra óptica, en función del ancho de banda de la portadora y la frecuencia de operación. Para el radio digital tenemos un ancho de banda para un enlace de 140Mbps, mediante modulación 16 QAM (*Quadrature Amplitud Modulanon*), de 35 MHz y una frecuencia de portadora de 7 GHz, logrando así una relación de 200 a 1. Para el caso de fibras ópticas tenemos para un enlace de la misma capacidad pero con una modulación 00K (*On-Off Keying*) de 140Mhz, una portadora en la banda de 193 THz (1550nm) y con una relación de 1,382,488 a 1. Esto nos da una idea del número de portadoras que pueden manejarse o del ancho de banda que resta a las fibras ópticas para su utilización

Los cables de fibras ópticas son más ligeros pequeños y flexibles y puede transportar miles (30,000 sobre redes con señales SDH STM- 16) de llamadas pero con un peso del cable hasta de 60 veces menor, mayor flexibilidad, manejabilidad y por supuesto menor costo. Los cables de fibras ópticas ofrecen una muy baja atenuación, en el orden de 0 2dB/Km. Esto permite manejar grandes distancias entre repetidores, en el orden de los 150 Km y los 600 Km. dependiendo de la capacidad del enlace.

## **Desventajas de las fibras ópticas**

A pesar de todas las ventajas que vimos, existen ciertas desventajas que deben ser consideradas al momento de tomar la decisión de instalar un enlace mediante fibras ópticas, ya que dependiendo del escenario podría resultar que la utilización de otro medio de transmisión sea más rentable. A continuación las principales desventajas de las fibras ópticas

- Por el tipo de tecnología utilizada los sistemas de transmisión todavía son más caros.
- Los conectores utilizados sobre fibras ópticas son más caros que los usados en cables metálicos.
- El costo beneficio que se puede obtener depende de la distancia a cubrir, así como el ancho de banda a utilizar.
- La canalización para redes de larga distancia tiene complicaciones dependiendo del tipo de terreno
- La conectorización exige nuevas técnicas y herramientas.
- El manejo de las fibras ópticas requiere mayor adiestramiento y capacitación del personal
- Existe demasiado cobre instalado en la última milla como para pensar que la fibra óptica lo sustituya en el corto plazo.
- La instalación de los cables es más sensible a las curvaturas.
- No presenta difusión natural (se trata de un soporte unidireccional).

# CAPITULO 3

## TIPOS DE FIBRAS ÓPTICAS

En la actualidad el desarrollo de las fibras ópticas se a desarrollado de una forma rápida y un poquito mas complejas dependiendo de las necesidades que va surgiendo por lo mismo la evolución de las fibras óptica a generado diferentes familias dependiendo a sus características pero para pasar a estas familias es necesario poner en claro bien su estructura básica de la fibra óptica.

### Estructura de la fibra óptica

Hemos estudiado estos fenómenos fisicos ya que son ellos los que se utilizan en las fibras ópticas para lograr transmitir un haz de luz al interior de ellas.

Para describir la estructura de las fibras, primero hay que recordar las dimensiones de ellas Se trata de un hilo de vidrio de hasta 15 Km. de largo y de 125 micrómetros de diámetro. Para darnos una idea de su dimensión comparémosla con un cabello humano, de tan sólo 70 micrómetros, o micras, de diámetro, sólo un poco más anchas que un cabello humano. Este hilo de vidrio está formado por dos elementos, el núcleo y el recubrimiento, mostrados en la figura 3 1

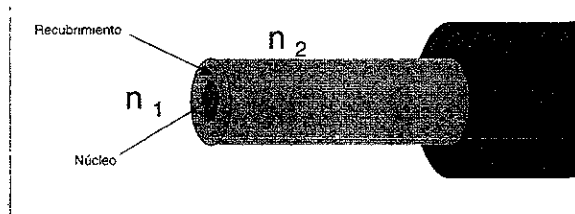


Fig. 3.1 Estructura de la fibra óptica

Ambos elementos son de vidrio, específicamente de sílice (óxido de silicio) y de una pureza muy elevada. Este sílice, como el resto de los vidrios, tiene un Índice de Refracción de 1.47. La razón por la cual se construye una fibra con dos elementos concéntricos es para formar un tubo con Índice de Refracción menor al cilindro que contiene, cuyo Índice de refracción es mayor. De esta manera, El recubrimiento tiene un Índice de Refracción igual a 1.47 y el núcleo tiene un Índice de Refracción igual a 1.5.

Esta estructura obedece a la necesidad de tener una frontera que contenga a la luz siempre en reflexión total interna. Esto se logra con un Índice de Refracción mayor en el medio donde originalmente se encuentra la luz, y una frontera con un medio de Índice menor.

Las primeras fibras comerciales que se utilizaron tenían un núcleo de 62.5 micras de diámetro y un diámetro exterior del recubrimiento, o diámetro de la fibra en sí, de 125 micras. Para designar este tipo de fibras se usa la nomenclatura 62.5/125, que indica los diámetros tanto del núcleo como del recubrimiento.

Posteriormente se fabricaron otros tipos de fibras a los cuales se les redujo el diámetro del núcleo y se les designa 9/125.

Debe quedarnos bien claro que cuando hablamos de una fibra óptica nos referimos a esta estructura que acabamos de describir, en la figura pasada aparece una segunda capa llamada Protección Primaria, que no es más que una capa de pintura cuya función es proteger al conjunto interior, a la fibra óptica. Los fabricantes de este producto, se encargan de construir el núcleo con el recubrimiento y adicionalmente, colocan esta capa de pintura con lo que su producto final alcanza un diámetro de 250 micras, un cuarto de milímetro.

Recordemos que el objetivo primordial de una fibra óptica es conducir luz en su interior por un largo trayecto. Para ello es que se forma esta especie de espejo cilíndrico interno en la frontera núcleo-recubrimiento

Tal comportamiento se logra haciendo que el Índice de Refracción del núcleo sea mayor que el del recubrimiento, es decir que el del óxido de silicio. La solución es sencilla y se llevó a cabo dopando al núcleo. Se introdujeron partículas ajenas al óxido de silicio, moléculas de gases como OH dentro del hilo de vidrio para alterar su Índice de Refracción, específicamente aumentarlo

Una vez que el centro del hilo de óxido de silicio ha sido dopado y que se tiene el exterior del hilo sin dopar, en su estado natural, se tiene entonces una fibra óptica.

**Una Fibra Óptica se compone de un núcleo y un recubrimiento, teniendo un índice de refracción mayor en el núcleo que en el recubrimiento.**

Pero para mencionar los tipos de fibras las vamos a agrupar en dos tipos de fibras principales y de ellas se derivaran los de mas género y son las: Fibras Multimodos y Monomodo. (Estas clasificaciones se tomaron debido al modo en el cual la luz viaja en su interior )

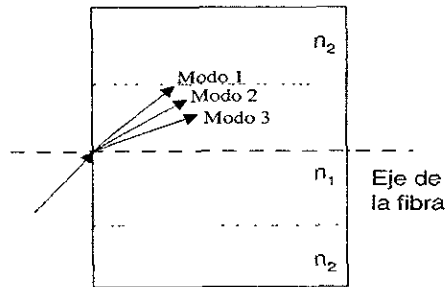
### **Fibras Multimodo**

Esta clasificación corresponde al primer tipo de fibras que se fabricaron para uso comercial, ya no experimental. Recordando un poco la historia de las fibras, las primeras que se empezaron a usar fueron en los 80's y eran fibras multimodo.

El nombre se atribuyó por su funcionamiento interno. Cuando un haz de luz entra refractado al núcleo de una fibra, no toda la energía se propaga por la misma trayectoria. Algunos fotones tomarán una trayectoria otros tomarán otra y otros otra. Puede haber cientos de trayectorias dentro de este tipo de fibras.



Vemos este comportamiento en la siguiente figura 3.2 El haz de luz incidente sobre la frontera aire-núcleo entra al núcleo refractado, pero se refracta en tres direcciones. Los diferentes haces refractados toman diferentes trayectorias que llamamos modos.



**Fig. 3.2 Propagación Multimodal**

El hecho de tener múltiples modos da lugar al nombre de este tipo de fibras.

El gran inconveniente de tener múltiples trayectorias o modos es que unos llegarán más pronto al tener que dar menos rebotes, por lo tanto recorrer menos distancia que otros. Tiempo después llegarán los modos que dieron más rebotes, obviamente llegarán con un retardo en relación a los primeros modos, esto provocará una especie de eco de la señal y como resultado tendremos una señal prolongada en el tiempo

Hemos dicho que este tipo de fibras, las multimodo, fueron las primeras que se fabricaron, pero hubo dos subtipos dentro del tipo multimodo, estos son.

Multimodo de Índice Escalonado

Multimodo de Índice Gradual

### Fibras Multimodo de Índice Escalonado

Este subtipo de las fibras multimodo, es esencialmente lo que se ha dicho hasta ahora de las fibras multimodo. Su núcleo está ligeramente dopado, lo que hace que su Índice de Refracción sea ligeramente mayor que el Índice de Refracción del recubrimiento. Ese dopado es constante en todo el núcleo, en la frontera, el valor del Índice de Refracción cambia abruptamente, disminuyendo al valor del Índice del recubrimiento.

Este cambio abrupto en el valor de los índices y su representación gráfica en el perfil del índice, es lo que da nombre a este subtipo de fibras.

Las dimensiones del diámetro del núcleo han variado y se han fabricado núcleos de 62.5 micras y de 50 micras, siendo más comunes las primeras.

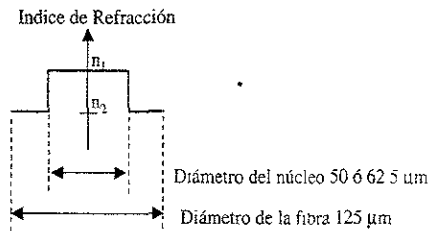
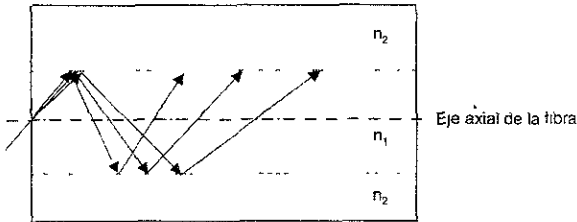


Fig. 3.3 Perfil de fibra multimodo de índice escalonado

Veamos ahora cómo se propaga una señal en un fibra de índice escalonado en la figura 3.4  
Los múltiples modos toman su trayectoria y se propagan en forma independiente



**Fig. 3.4 Propagación de la luz en fibras multimodo de índice escalonado**

Así es como en el otro extremo de la fibra, la señal óptica llega con varios retardos. Estos varios retardos sumados, no son otra cosa mas que el ensanchamiento de una señal, es decir el efecto de la dispersión

El problema de la dispersión era demasiado fuerte en este subtipo de fibras. .

Entre otras características de este tipo de fibras podemos mencionar las siguientes:

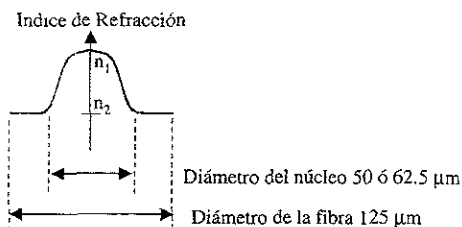
- Fuerte dispersión .
- Producto Ancho de Banda por Distancia pequeño
- Uso de LED's como fuentes ópticas
- Apertura Numérica grande
- Requerimientos más holgados para conectores
- Aplicaciones pasadas: LAN's; distancias cortas, velocidades pequeñas, hoy día en desuso

### Fibras Multimodo de índice Gradual

Este segundo subtipo de fibras multimodo, es totalmente diferente a su antecesor. El dopado en el núcleo va cambiando conforme nos alejamos del eje de la fibra, justo en el centro habrá un nivel  $n_1$  que irá descendiendo hasta llegar al valor  $n_2$  correspondiente al recubrimiento. El dopado no es constante en el núcleo, su valor de índice de refracción va decreciendo en forma gradual hasta llegar al valor del Índice del recubrimiento, donde ya permanece constante.

Este cambio gradual en el valor de los índices y su representación gráfica en el perfil del índice, es lo que da nombre a este segundo subtipo de fibras.

Las dimensiones del diámetro del núcleo son las mismas que se tenían en las fibras de índice escalonado, 62.5 micras y de 50 micras, siendo más comunes las primeras.



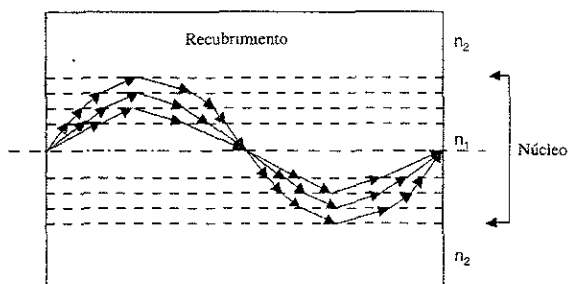
**Fig. 3.5 Perfil de fibra multimodo de índice gradual**

La razón de porqué se pensó en fabricar este tipo de perfil fue por el problema de dispersión tan fuerte que se tenía en las fibras de índice escalonado. En aquél tipo el problema era que los diferentes modos se adelantaban unos de otros.

La solución propuesta por este subtipo de fibras fue hacer que de alguna manera todos los modos se encontraran en el mismo punto y al mismo tiempo, para que ninguno se adelantara de otro

La solución era sencilla, pero no fue tan fácil la implementación de ella. La tarea fue hacer que cada uno de los modos presentes en una fibra multimodo, se reflejara en diferentes radios para que al final en un punto todos confluyeran

Veamos ahora cómo se propaga una señal en una fibra de índice gradual en la figura 3.6 Al inicio los múltiples modos toman trayectorias diferentes, pero conforme viajan por el núcleo que tiene diferentes niveles de dopado, los modos se van reflejando a diferentes radios, es decir según en la frontera donde su ángulo de incidencia ya no les permite refractarse.



**Fig. 3.6 Propagación de la luz en fibras multimodo de índice gradual**

Las líneas punteadas que aparecen en la figura 3.6 actúan como si fueran frontera. Recordemos que una frontera existe cuando se unen dos medios de diferentes índices de refracción. Dado que el índice del centro de la fibra es  $n_1$  y va decreciendo, entonces en un radio dado, podemos decir que hay una frontera formada por los dos valores de índice de refracción decrecientes de  $n_1$ . La aparición de esta frontera va a imponer un ángulo crítico, que en función de la inclinación del ángulo de incidencia, lo refractará o lo reflejará.

Con el anterior razonamiento, vemos porqué el primer modo se refracta en 3 fronteras y se refleja hasta la cuarta frontera. Mientras que el modo 3, se refracta una vez y enseguida se refleja

En la realidad no hay sólo 3 modos, puede haber cientos de ellos. Y en cuanto a las fronteras, en la figura 3.6 sólo aparecen 4, pero en la realidad hay infinitas.

El diseño de las fibras multimodo de índice gradual permite que los modos se propaguen todos al mismo tiempo, además de encontrarse también en el mismo punto del espacio. Podríamos preguntarnos, ¿Cómo es posible que le tome el mismo tiempo al modo 1 recorrer una distancia mayor que al modo 3 recorrer una distancia menor? Ambos llegan al eje de la fibra en el mismo punto y también se encuentran en el mismo instante. Recordemos el significado del Índice de Refracción de un material: indica la velocidad de la luz en ese medio, entre mayor sea el Índice, menor será la velocidad y viceversa.

El modo 3 de la figura 3.6 viaja por medios con Índices de Refracción altos, cercanos a  $n_1$ , esto hace que su velocidad sea baja, pero también es corta la distancia que recorrerá para llegar al eje de la fibra. Por otro lado, el modo 1 entre más se aleja del centro, más viaja por medios con Índices de Refracción menores, es decir a velocidades más altas, esto le permite recorrer más camino en el mismo tiempo que le lleva al modo 1 hacer su trayecto

Lo mismo ocurre con cada uno de los modos, de tal suerte que se ha logrado que todos vayan propagándose casi al mismo tiempo

El avance que representó pasar de un índice escalonado a índice gradual significó una reducción de 10 del total de dispersión que se tenía, en las primeras. Este avance fue muy significativo y hoy en día las fibras, del tipo multimodo que más se usan son las de índice gradual, dejando a las de índice escalonado en total desuso.

Entre otras características de las fibras multimodo de índice gradual, tenemos:

- Producto Ancho de Banda por Distancia mayor que las de índice escalonado.
- Dispersión modal 10 veces menor que en las de índice escalonado.
- Uso de LED's como fuentes ópticas
- Apertura Numérica grande.
- Requerimientos más holgados para conectores.
- Aplicaciones LAN's; distancias cortas, velocidades pequeñas.

Veamos en la tabla 3.1 un ejemplo con valores reales de especificaciones de fibras multimodo.

núcleo/radio micras	atenuación a 1310 dB/km	NA	Producto BxL MHz Km
100/140	1.5 a 2	0.29	500
85/125	0.7	0.26	400
62.5/125	0.6	0.275	1200
50/125	0.6	0.23	1500
50/125	0.5	0.2	2500

**Tabla 3.1 con ejemplos de valores en multimodo**

## La Recomendación G.651 de ITU-T

Para la fabricación de fibras multimodo, la ITU-T ha emitido esta Recomendación de donde podemos comentar los siguientes puntos:

- Fibra multimodo de índice gradual
- Uso en rangos de 850 y 1310 nm
- Diámetro del núcleo de  $50 \text{ mm} + 3 \text{ mm}$  (6%)
- Diámetro de la cubierta de  $125 \text{ mm} + 3 \text{ mm}$  (2.4%)
- Error de concentricidad menor al 6%
- No circularidad del núcleo menor al 6%
- No circularidad de la cubierta menor al 6%
- Variación parabólica del índice de refracción
- Rango de apertura numérica de 0.18 a 0.24 con variación del valor nominal no mayor a 0.02
- Coeficientes de atenuación mejores que 4 dB/Km (2 a 2.5 típico) a 850 nm y 2 dB/Km (0.5 a 0.8 típico) a 1300 nm

**En las fibras multimodo hay dos subtipos: de índice escalonado y de índice gradual**

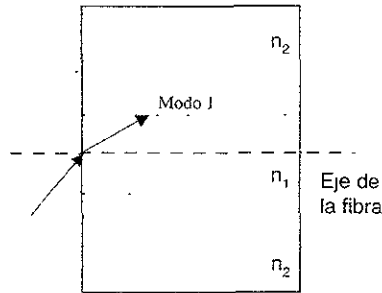


## Fibras Monomodo

Esta clasificación corresponde al segundo tipo de fibras que se fabricaron para uso comercial, ya no experimental. El nombre se atribuyó por su funcionamiento interno. Cuando un haz de luz entra refractado al núcleo de una fibra, toda la energía se propaga por la misma trayectoria. Sólo hay una trayectoria o modo dentro de este tipo de fibras.

Veamos este comportamiento en la figura 3.7. El haz de luz incidente sobre la frontera aire-núcleo entra al núcleo refractado por una sola trayectoria que se mantendrá a lo largo de la fibra.

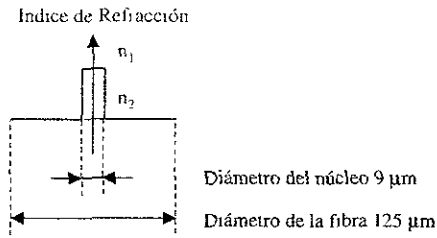
La razón del porqué pensar en la posibilidad de una propagación en un sólo modo fue el problema de la dispersión causada por los múltiples modos, si se podían eliminar las múltiples trayectorias, toda la luz viajaría por una sola evitando así los ensanchamientos o retardos.



**Fig. 3.7 Propagación Monomodal**

Fue posible guardar un sólo modo reduciendo el diámetro del núcleo. De las 62.5 micras que tenían las multimodo, se redujo a 9 micras. Con ello, un solo modo se propagaría.

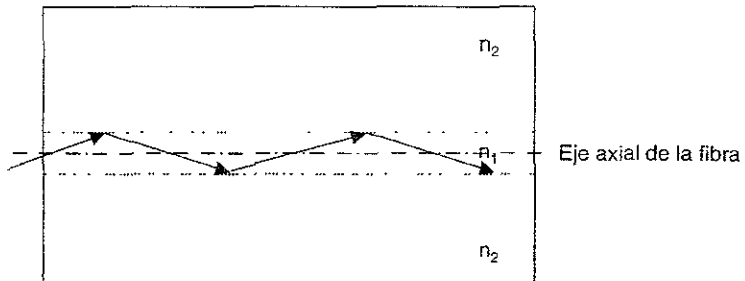
Veamos el perfil de índice de una fibra monomodo en la figura 3.8



**Fig. 3.8 Perfil de una fibra monomodo**

Por la forma en que se dopa al núcleo y a partir de su perfil de índice de refracción, podemos decir que es de índice escalonado; sin embargo, en el campo nos referimos a este tipo de fibras simplemente como monomodo.

Veamos ahora cómo se propaga la luz dentro de estas fibras en la figura 3.9



**Fig. 3.9 Propagación de la luz en una fibra monomodo**

Al ser más pequeño el núcleo, la luz viaja casi paralela al eje de la propia fibra, haciendo menos rebotes o reflexiones. La disminución en el diámetro del núcleo trae un inconveniente, el ángulo de apertura es menor que el que se tenía en las fibras multimodo.

Entre otras características de las fibras monomodo tenemos las siguientes

- El mejor producto ancho de banda por distancia
- No se presenta dispersión modal, sólo cromática
- Requerimientos estrictos para los conectores
- Requieren fuentes de luz muy precisas
- Aplicaciones para altas velocidades y grandes distancias

En las fibras monomodos, la luz se propaga por una sola trayectoria a la que se le llama modo

## La Recomendación G.652 de la ITU-T

En esta Recomendación tenemos las especificaciones necesarias para la fabricación de fibras monomodo

- Uso en rangos de longitud de onda de 1300 nm y de 1550 nm
- Diámetro del núcleo de 9 a 10 micras  $\pm 1$ , 10%
- Diámetro de la cubierta de 125 micras  $\pm 3$ , 2.4%
- Error de concentricidad menor a 1 micra
- No circularidad del núcleo no especificada por ser tan baja
- Longitud de onda de corte en 1260 nm
- No circularidad de la cubierta menor al 2%
- Apertura numérica sumamente baja
- Longitud de onda de cero dispersión en 1300 nm
- Coeficiente de atenuación de 1 dBIK/m en 1300 nm y de 0.5 dBIK/m en 1550nm

En la tabla 3.2 comparativa veremos un resumen de las características de las fibras que hasta ahora hemos estudiado

	Dimensiones	Dispersión	Atenuación
Monomodo	9 / 125	sólo dispersión cromática	baja
Multimodo de índice gradual	50/125 60/125	dispersión modal y cromática	media
Multimodo de índice escalonado	50/125 60/125	dispersión modal y cromática	alta

**Tabla 3.2 comparativa**

A pesar del buen desempeño que tuvieron, y siguen teniendo las fibras monomodo, se requería de hacer modificaciones para elevar aún más su desempeño. Lo que se buscaba era que fueran capaces de funcionar en la ventana óptica de 1550 nm, no sólo en 1350 nm, además, con una muy baja dispersión, cero de ser posible.

Bajo estas premisas se hicieron variantes a las monomodo y surgieron las llamadas fibras de dispersión corrida, de dispersión aplanada o suavizada y las fibras de dispersión modificada

### **Fibras con Dispersión Modificada**

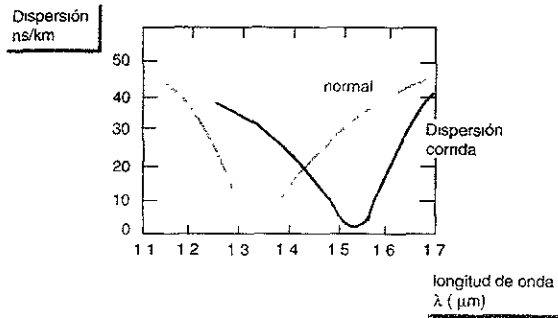
Podemos ver a estas fibras como subtipos de las monomodo. Con un cambio en la estructura de una monomodo se logran cambios en el desempeño de la fibra, específicamente en el comportamiento de la dispersión.

### **Fibras de Dispersión Corrida**

El primer cambio que se pensó hacer sobre las monomodo fue para mejorar su dispersión. Ya sabemos que las monomodo tienen una región óptima de dispersión mínima en la segunda ventana, alrededor de los 1350 nm; sin embargo, la aparición de nuevos elementos como los amplificadores ópticos, propició el uso de la tercera ventana, en 1550nm

En la figura siguiente vemos las respuestas de ambas fibras ópticas, de la monomodo y de la de dispersión modificada. Se está graficando la dispersión en función de la longitud de onda, en las monomodo vemos la zona de óptima dispersión, y es esa zona la que se buscaba tener en la tercera ventana, esto se obtuvo con las de dispersión corrida

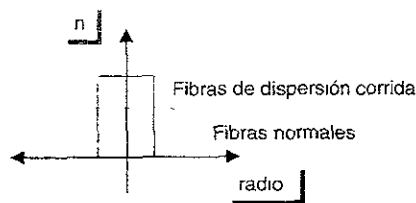
Vemos que la gráfica de la figura 3.10 Del comportamiento se corrió hacia la derecha ganando con esto que la zona óptima estuviera centrada en la tercera ventana.



**Fig. 3.10 Fibras de Dispersión Corrida**

Este primer cambio representó un gran avance en el uso de la fibras ya que se empezó a usar la tercera ventana para aplicaciones de larga distancia, cosa que antes, por la dispersión que tenían las fibras normales no era posible

El tener una dispersión muy cercana a cero en la región de la tercera ventana se logró modificando dos parámetros de las fibras monomodo normales. Se hizo un poco más pequeño el diámetro del núcleo y se elevó el nivel de dopado para incrementar su Índice de Refracción. Este cambio lo podemos ver en el perfil de índice de la figura 3.11



**Fig. 3.11 Perfil de Índice de fibras de Dispersión Corrida**

## Fibras de Dispersión Suavizada

Un avance más en la fabricación de tipos o subtipos de fibras fue en el caso de la fibra de dispersión suavizada o aplanada. Como en el caso de la corrida, su nombre obedece a la forma de la respuesta de la dispersión en función de la longitud de onda.

Una vez que hemos comentado y entendido el cambio que hubo en las fibras de dispersión corrida será más fácil asimilar lo que ocurrió en las suavizadas.

Si en las anteriores se logró correr la zona óptima a la tercera ventana, la intención en éstas era de obtener una zona óptima en ambas regiones, tanto en la segunda como en la tercera, con el fin de hacerla más atractiva y más comerciable.

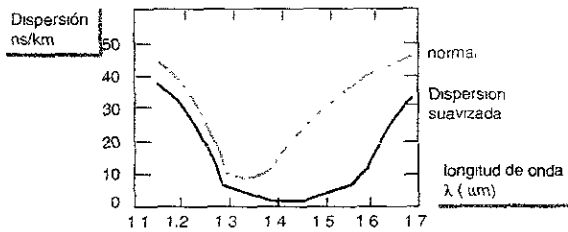


Fig. 3.12 Fibras de dispersión suavizada o aplanada

Y el cambio que se requirió en la estructura de la fibra fue el que se muestra a continuación.

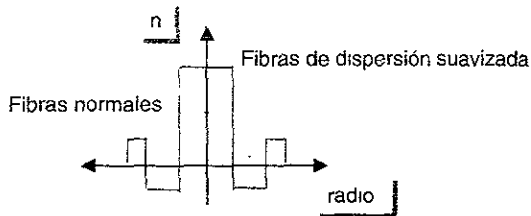


Fig. 3.13 Perfil de Índice de fibras de Dispersión Suavizada

En estas fibras la estructura típica de una fibra cambia radicalmente, pues ahora además del núcleo y recubrimiento final, tenemos dos recubrimientos intermedios, el primero inmediatamente después del núcleo, con un Índice menor que el recubrimiento típico, después un segundo recubrimiento con un Índice con un valor mayor que el del recubrimiento típico y menor que el del núcleo típico. También el núcleo sufrió cambios, como apreciamos esto en la figura 3.13, el valor de Índice de Refracción se elevó y se redujo el diámetro del núcleo.

Posteriormente han aparecido nuevos subtipos de fibras ópticas monomodo con cambios que mejoran sustancialmente su desempeño respecto a la dispersión, hasta lograr las llamadas fibras de cero dispersión o ZDF (*Zero Dispersion Fiber*).

**En fibras tipo monomodo hay tres subtipos que son: de dispersión corrida, de dispersión suavizada y de dispersión modificada.**



# CAPITULO 4

## FABRICACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA

La fabricación de fibras ópticas de vidrio se realiza básicamente por dos tipos de procedimiento. crisol y preforma. El primero se usa para aplicaciones de corto alcance y/o bajo flujo de información (enlaces entre ordenadores, aplicaciones de circuito cerrado, medicina, industria aeronáutica o del automóvil, etc.), mientras que el segundo es aplicado en el campo de las telecomunicaciones para enlaces urbanos, interurbanos o submarinos a 34 Mb/s (480 canales), 140 Mb/s (1 920 canales) o capacidades superiores de información, así como para aplicaciones en área local, para materializar bucles de banda ancha hasta el abonado

La fabricación de fibras por la técnica de preforma, que es la más utilizada, comprende dos etapas

- a) La fabricación de la preforma, propiamente dicha.
- b) El estiramiento de la preforma, de la que se obtiene la fibra

Exteriormente las preformas tienen el aspecto de un cilindro macizo de vidrio de 1 a 2 metros de largo y 10 a 20 mm de diámetro. Sus características macroscópicas son equivalentes a las de las fibras ópticas que de ellas se obtienen por estiramiento (una preforma del metro de largo y 20 mm de diámetro produce unos 20 km de fibra).

## Técnicas de fabricación de preformas

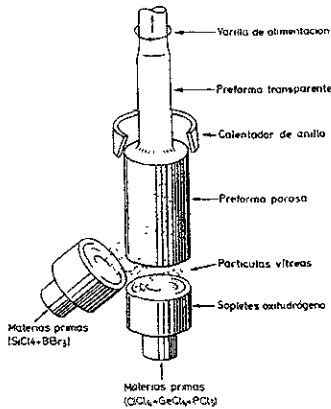
Los métodos más usados para fabricar Preformas de vidrio para fibras de alta calidad son

- a) VAD (Vapor-phase Axial Deposition) desarrollado en Japón por la NTT.
- b) OVD (Outside Vapour Deposition), desarrollado por Corning Glass Works (USA).
- c) MCVD (Modified Chemical Vapour Deposition), desarrollado por los Bell Laboratories. En la actualidad es el método de fabricación más difundido.
- d) PCVD (Plasma Chemical Vapour Deposition), desarrollado recientemente en los laboratorios de Philips, en Eindhoven (Holanda).

### Método VAD

Es el método más utilizado en Japón para la fabricación de preformas.

La principal diferencia con otros métodos es que el crecimiento de la preforma se realiza en la dirección axial ( se observa en la figura 4.1). Partiendo de una varilla de alimentación dispuesta perpendicularmente, se inyectan (mediante soplete en su extremo inferior) las materias primas dopantes; éstas reaccionan hasta formar finas partículas de vidrio (hidrólisis a la llama) y los productos se depositan en el orden y proporción adecuada al perfil de índice deseado. El crecimiento da lugar a una preforma porosa que, sometida a un calentamiento localizado, se contrae hasta formar la preforma definitiva. La deposición de vapores se realiza a 1400-1500°C y la consolidación a la preforma definitiva se realiza a 1800-2000°C. Ambas fases se realizan simultáneamente. La preforma definitiva tiene unos 10 mm de diámetro. Aunque se han realizado algunas que han producido 200 km de fibra, las dimensiones típicas de preformas producen de 10 a 20 km de fibra.



**Fig. 4.1 método VAD**

El crecimiento es del orden de los 0,4 g/min, y la contaminación por agua puede reducirse por debajo de 0,05 p.p.m.

La posición de la llama es muy importante para ajustar el perfil (un perfil próximo al óptimo se obtiene con una inclinación del mechero próxima a los 45°), El ajuste fino del perfil se controla variando la pío porción de H<sub>2</sub> u O<sub>2</sub> en la llama Para fabricar fibras monomodo suelen usarse dos mecheros: uno para el núcleo y otro para el revestimiento.

La tabla 4.1 refleja las características de transmisión de las fibras obtenidas por el método VAD.

	<i>Fibra multimodo</i>			<i>Fibra monomodo</i>	
	0,85	1,3	1,55	1,3	1,55
<i>Longitud de onda (μm)</i>					
<i>Atenuación (dB/km)</i>					
valor típico	2,4	0,7	0,5	0,50	0,35
valor óptimo	2,2	0,42	0,29	0,33	0,22
<i>Ancho de banda (MHz·km)</i>					
valor típico	—	1300	—	> 10000	> 10000
mejor valor	—	9700	—	> 10000	> 10000

**Tabla 4.1 propiedades de transmisión de fibras elaboradas por el método VAD.**

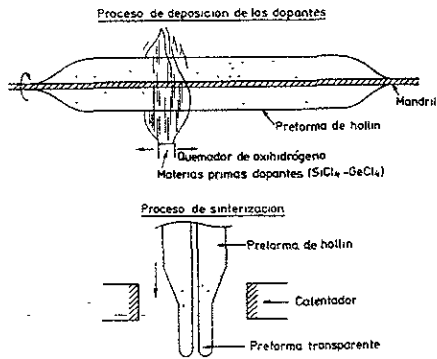
## Método OVD

El método presenta ciertas similitudes con el VAD. En el OVD la preforma se realiza en dos fases: deposición de los óxidos y sinterización o colapso. En la primera (figura 4.1), los vapores se depositan lateralmente sobre un mandril de grafito o de  $Al_2O_3$  de unos 5 mm de diámetro y que gira a una velocidad constante; la llama se va trasladando a lo largo del mandril produciendo, durante diversas idas y venidas, las capas vítreas que darán lugar al perfil del índice deseado. Acabado este proceso se retira el mandril, aprovechando el diferente coeficiente de dilatación respecto al vidrio depositado, y se realiza el proceso de sinterización.

El proceso de sinterización, o colapsado de la preforma en estado poroso, se realiza introduciéndola en un horno a 1500 °C, en una atmósfera de helio con un pequeño porcentaje de  $Cl_2$  con objeto de eliminar la contaminación de grupos OH.

Con el método OVD se han realizado preformas equivalentes a 40 km de fibra y un crecimiento medio de 1,8 g/min para el núcleo y 6 g/min para el revestimiento. En producción normal, las preformas típicas proporcionan unos 10-13 km de fibra, con velocidades medias de crecimiento de 0,7 a 1,3 g/min.

En las fibras de índice gradual, el núcleo está compuesto de unas 1000 capas finas de vidrio. Por lo que respecta a las fibras monomodo, una ventaja de éste método es la relativa insensibilidad de la atenuación de la fibra con la velocidad de crecimiento de la preforma.



**Fig. 4.2 Método OVD.**

La tabla 4.2 refleja las características de transmisión de las fibras obtenidas por el método OVD

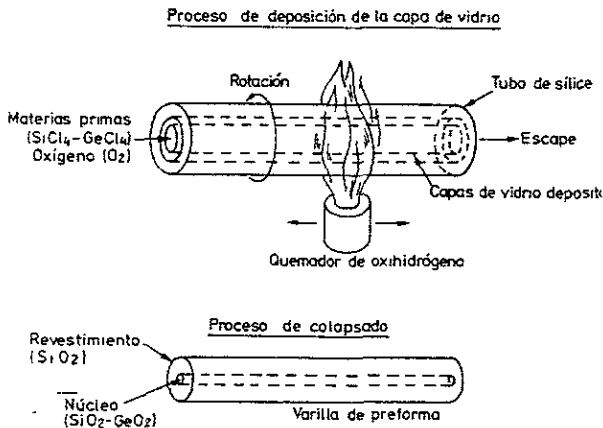
Longitud de onda ( $\mu\text{m}$ )	Fibra multimodo		Fibra monomodo	
	0,85	1,3	1,3	1,55
Atenuación (dB/km)	valor típico	2,4	0,9	0,40
	mejor valor	2,2	0,52	0,27
Ancho de banda (MHz km)	valor típico	800	800	> 10000
	mejor valor	3000	3000	> 10000

**Tabla 4.2 Propiedades de transmisión del fibras elaboradas mediante OVD.**

## Método MCVD

Este método fue divulgado en 1974 y desde entonces ha venido a ser el más usado en todo el mundo para fabricar preformas. Fue desarrollado por los laboratorios Bell y actualmente está en producción en la Western Electric, así como en otras compañías en los Estados Unidos, Europa y Japón

Las líneas generales se esquematizan en la figura 4.3. El proceso parte de un tubo de sílice muy puro en el que se va depositando  $\text{SiO}_2$  junto con otros óxidos dopantes, procedentes de haluros evaporados, cuyas concentraciones relativas y flujo se controlan mediante la circulación de oxígeno por los recipientes que contienen dichos haluros en fase líquida a temperatura constante. El tubo de sílice se calienta con unos mecheros que circulan de izquierda a derecha. En la zona calentada por los mecheros se produce una reacción de los óxidos en fase de gas, dando lugar a la formación del núcleo de la preforma gracias a la sucesiva formación de finas capas de  $\text{SiO}_2$  convenientemente dopadas. La velocidad de deposición es tanto mayor cuanto más grande es la diferencia de la temperatura del gas entre la zona de equilibrio y las paredes del tubo de sílice. Por consideraciones prácticas no es conveniente sobrepasar velocidades de crecimiento superiores a 1 g/min.



Se han obtenido crecimientos de hasta 2,3 g/min a costa de incrementar hasta 14 cm la zona de calor del mechero, esta alternativa tiene el inconveniente de limitar a 0,3 % la máxima diferencia de índices entre núcleo y revestimiento. Además, cuanto mayor es el espesor de las sucesivas capas de vidrio que constituyen el núcleo de la preforma, menos preciso es el perfil del índice, imposibilitando obtener fibras multimodo de elevada anchura de banda

En condiciones especiales se han podido fabricar preformas equivalentes a 40 km de fibra. En condiciones normales de fabricación, las preformas equivalen a 10-14 km de fibra, con velocidades de crecimiento de 0,4 g/min, y eficiencias del 50 % en la deposición del SiO<sub>2</sub> y del 10-20% en la del GeO<sub>2</sub>.

Recientemente, los laboratorios de la Bell han desarrollado una modificación de este proceso, denominada PMCVD, que permite crecimientos de 5 g/min con eficiencias de deposición del 80% para el SiO<sub>2</sub> y para el GeO<sub>2</sub>. Esta variante, la PMCVD, se está perfeccionando para fabricar fibras monomodo de menores atenuaciones .

Una vez depositado el material del núcleo (ya sea por el método MCVD o por su variante PMCVD) se eleva la temperatura del mechero a 1 900 °C y, debido a la tensión superficial, el tubo se colapsa y forma el cilindro macizo de vidrio que constituye la preforma.

Durante este proceso, parte del germanio del núcleo se evapora dando lugar a un desviamiento abrupto del índice de refracción en el centro del núcleo (llamado «dip»).

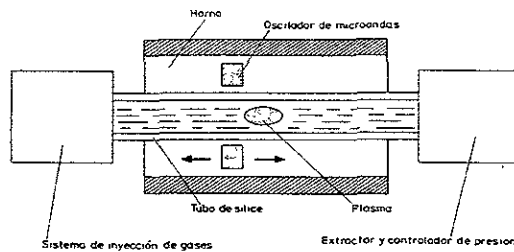
Con el método MCVD se pueden fabricar fibras monomodo y multimodo, optimizadas con una o dos ventanas. La tabla 4.3 refleja las características de transmisión que posibilita este método.

Longitud de onda ( $\mu\text{m}$ )	Fibras multimodo		Fibras monomodo	
	0,85	1,3	1,3	1,55
<b>Atenuación (dB/km)</b>				
valor medio	2,5	0,8 (PMCVD)	0,40 0,55	0,22 0,27
mejor valor optimizadas en doble ventana	2,2	0,45	0,32	0,22
	3,41	1,2	—	—
<b>Ancho de banda (MHz km)</b>				
valor medio	1600	1800	>10000	>10000
mejor valor	4000	4700	>10000	>10000
doble ventana	680	840	—	—

**Tabla 4.3 Propiedades de transmisión de fibra elaborada por el método MCVD**

### Método PCVD

Desarrollado y actualmente en producción por Philips, el método PCVD realiza una deposición en el interior de un tubo de sílice. Se diferencia del PMCVD en que utiliza un plasma no isoterma para iniciar la reacción de los gases. El proceso se esquematiza en la figura siguiente. Un sistema inyecta las materias primas en forma de gas y éste se mantiene a una presión de unos 10 Torr dentro del tubo de sílice, el cual se mantiene dentro de un horno a unos 1200 °C. Dentro de dicho horno se instala un resonador de microondas que se desplaza de izquierda a derecha (a unos 7 u 8 m/min) sobre una longitud de un metro. La energía de radiofrecuencia, de 2 GHz, genera un plasma dentro del tubo, que inicia un proceso heterogéneo de reacción en el interior de las paredes del mismo. La eficiencia de la deposición es del 100 % para el SiO<sub>2</sub> y del 85 % para el GeO<sub>2</sub>. Finalizada la deposición del núcleo, tiene lugar el colapsado a unos 2000 °C.



**Fig. 4.4 Método PCVD**



Mediante este proceso, la energía se acopla directamente al plasma sin que las paredes del tubo de sílice puedan producir un retardo térmico. De este modo el resonador puede desplazarse a velocidades de 7 m/min, depositando unas 700 capas de vidrio (de unos 0,05 mm de espesor) con un índice de refracción bien ajustado, es posible así lograr fibras con un perfil de índice muy próximo al deseado.

Hasta la fecha se han alcanzado crecimientos de hasta 1,3 g/min y preformas equivalentes a 16 km de fibra. En condiciones de producción normales las preformas equivalen a unos 8 km, con crecimientos de 0,5 g/min.

El método PCVD permite elaborar fibras multimodo y monomodo. La tabla 4.4 refleja las características de estas fibras en transmisión.

<i>Longitud de onda (<math>\mu\text{m}</math>)</i>	<i>Fibras multimodo</i>		<i>Fibras monomodo</i>	
	0,85	1,3	1,3	1,55
<i>Atenuación</i>				
valor medio	2,7	0,9	1,0	0,8
mejor valor	<2,4	0,5	0,6	—
doble ventana	—	—	—	—
<i>Ancho de banda</i>				
valor medio	1000	>1000	>10000	>10000
mejor valor	1700	2300	>10000	>10000
doble ventana	1300	1300	—	—

**Tabla 4.4 Propiedades de transmisión de la fibra elaborada por el método PCVD**

## Estiramiento de la preforma y recubrimiento de la fibra

Realizada la preforma, la siguiente etapa es la de estiramiento, que se realiza mediante una técnica cuyo esquema básico se muestra en la figura 4.5

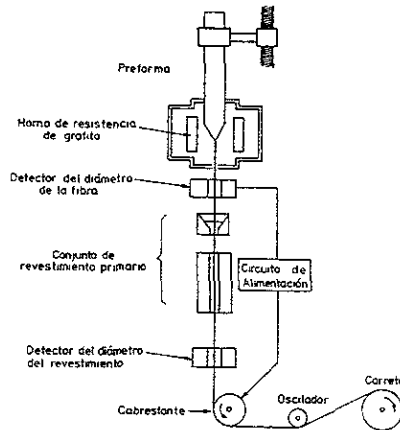


Fig. 4.5 Estiramiento de Preformas

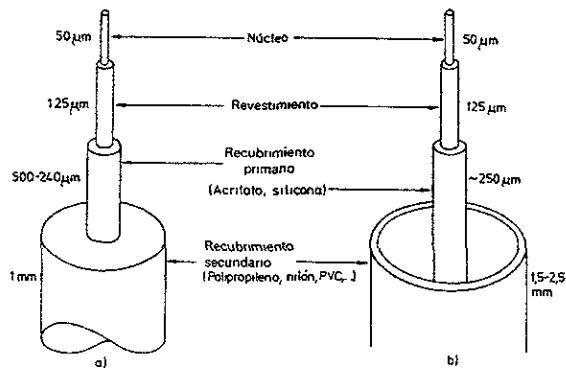
La varilla de preforma (realizada por cualquiera de los anteriores métodos) se introduce en el horno que está a una temperatura del orden de  $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$  en su centro, requiriendo una estabilidad de  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  a fin de reducir las fluctuaciones en el diámetro de la fibra óptica. Una vez que sale del horno, la fibra pasa por un control de diámetro que debe ser capaz de resolver discrepancias de  $\pm 0,2\text{ }\mu\text{m}$ , si bien el margen más corriente de aceptación se halla entre  $\pm 3\text{ }\mu\text{m}$  y  $\pm 6\text{ }\mu\text{m}$ .

Cualquier alejamiento del margen que se establece, detiene el proceso a través del circuito de realimentación, paralizando el cabrestante que origina la tensión de estiramiento.

A continuación, y sin solución de continuidad, se aplica el primer recubrimiento o protección por encima del revestimiento de la fibra. Este primer recubrimiento sirve como protección mecánica de la fibra durante las fases subsiguientes hasta acabar su cableado.

Para este recubrimiento suelen emplearse siliconas o acrilatos y los diámetros exteriores oscilan entre  $250 \pm 15 \mu\text{m}$  y  $500 \pm 25 \mu\text{m}$

El recubrimiento secundario puede ser de dos tipos: ceñido y holgado (como se aprecia en la figura 4.6). El recubrimiento ceñido se realiza mediante un proceso de extrusión (con nylon o poliamidas) directamente sobre la fibra. El diámetro exterior es del orden de 1 mm.



**Fig. 4.6 Fibras con recubrimiento primario y secundarios : a) estructura ceñida b) estructura holgada**

El recubrimiento holgado (figura 4.6) se realiza por extrusión de un tubo (de polipropileno, nylon, PVC, etc.) alrededor de la fibra, los diámetros interiores y exteriores del tubo oscilan entre 1,5 y 2,5 mm. La fibra se ubica libremente en el interior del tubo, lo cual hace posible que no se dañe aunque el cable sufra elongaciones del 0,5 % o mayores. Además, el tubo suele rellenarse con alguna sustancia de baja viscosidad para evitar la entrada de agua o suciedad.

## Situación tecnológica y prestaciones de fabricación

En la tabla 4.5 se han listado algunos de los principales fabricantes de fibras de alta calidad o para enlaces de media y corta distancia. En las dos primeras columnas se han incluido los fabricantes de fibras monomodo y multimodo de alta calidad. La columna de la derecha corresponde a los fabricantes de fibras de vidrio y/o plástico para enlaces de corta distancia y/o capacidad.

<i>Fibras monomodo</i>	<i>Fibras multimodo de alta calidad</i>	<i>Fibras multimodo de salto de índice</i>
Corguide	Corguide	Fibronics
CEG Optical Fibres	CEG Optical Fibres	Focom
Furukawa	FOI	Fort. S.A.
Fujikura	NV Philips	NSG America Inc.
Sumitomo	ITT-EOPD	Poly-Optical
ATT	Siecor	Products, Inc.
	Sumitomo	Quartz Pro Corp.
	Furukawa	Times Fiber
	SEL	Brand-Rex Co.
	Fibronics	FOI
	Times Fiber	ITT-EOPD
	Brand-Rex Co.	Fiberguide Industries
	CLTO	Spectran Corp.

**Tabla 4.5 fabricantes y distribuidores de fibras de alta y baja distancia y/o capacidad**

La tabla que 4.6 especifica los métodos de fabricación para los principales suministradores europeos, americanos y japoneses de fibras multimodo y monomodo de alta calidad.

<i>País</i>	<i>Fabricante</i>	<i>Método</i>	<i>Observaciones</i>
Holanda	Phlips	PCVD	
Alemania	SEL	MCVD	(Patente Británica)
	Siecor	OVD	
Francia	CSF-Thomson	MCVD	
	FOI	Patente propia	(Híbrido del VAD y OVD)
	CLTO	OVD	
Reino Unido	STL	MCVD	(Patente modificada)
	FO	Patente Corning	
Italia	Preli	Patente Corning	
EE.UU.	Western Electric	MCVD	
	Corning GW	OVD	
	Valtec	IVD	(Patente Corning de MCVD)
	Siecor	OVD	
Japón	Fujikura	VAD y MCVD	(Patentes de Corning)
	Furukawa	VAD y MCVD	
	Sumitomo	VAD	
	Ibarga	VAD	
	Fujitsu	MCVD	

**Tabla 4.6 para fabricantes de fibra de enlaces de alta y media capacidad**

Como se observa, el método MCVD es el más utilizado, si bien el método OVD está muy difundido indirectamente, por cuanto importantes fabricantes de cable en Estados Unidos y Europa compran fibras a Corning para después cablearlas en sus factorías.

Durante estos últimos años se observa una tendencia conducente a la asociación entre fabricantes, más que a la proliferación de pequeños productores. Resulta significativo el acuerdo firmado en 1981 por Philips y Valtec y en 1982 la creación de las Fibras Optiques Industrie (FOI) con capital del grupo Saint Gobain (29,4 %) Thomson CSF (30,4 %) y Corning (40 %); así como la constitución de la compañía Siecor (fabricante puntero en fibras y cables) con capital de Siemens y Corning Glas Wosks (Cornguide), y tecnología de este último.

Por cuanto a las prestaciones del producto final, la figura 4.7 refleja el margen de valores en atenuación-ancho de banda, que están comercialmente disponibles. Esta figura se refiere a fibras multimodo de alta calidad optimizadas en primera o segunda ventana. Para fibras multimodo que pretenden trabajar simultáneamente en dos ventanas.

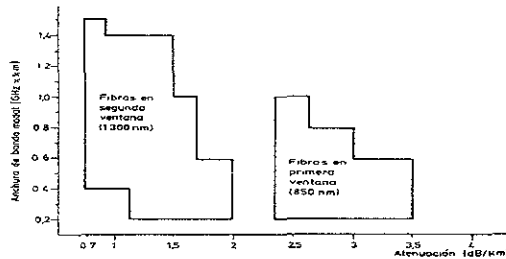


Fig. 4.7 Disponibilidad comercial de fibras multimodo de alta calidad optimizada

## Factores Para el diseño del cable de Fibra Óptica.

El mecanismo de propagación y las propiedades físicas de las fibras ópticas, son diferentes de los conductores metálicos convencionales, pero los objetivos básicos de la construcción de los cables, en ambos casos son iguales:

Mantener estables las propiedades de transmisión y de resistencia mecánica de los cables durante los procesos de fabricación, instalación y explotación.

En cualquier caso, cuando se diseña un cable, deberá asignarse un margen de degradación razonable a ciertas propiedades

Es necesario reconocer que los cables de fibra óptica, al igual que otros cables, están expuestos a fuerza exteriores, tanto naturales como artificiales. En la tabla 4.7, se muestran los efectos de estas fuerzas exteriores

	ELEMENTOS	EFFECTOS EN LA PLANTA EXTERNA
Factores externos naturales	Temperatura Vientos (vientos marino) aguas de lluvia (filtraciones de agua) nieve y hielo humedad descargas de rayos terremotos geografía, terreno efectos solares roedores pájaros insectos	Congelación para cables en curvaturas rotura y contracción debidas a cambios de temperatura deterioro de las cubiertas y empalmes debido a la vibración corrosión, penetración del agua cortes, roturas interrupción de las líneas corrosión, ruptura dieléctrico perforación de la rotura del cable fusión de pares metálicos roturas cortes, caídas por hundimientos desvanecimiento, degradación deterioro de las cubiertas, roturas
Factores artificiales	humo de fábricas automóviles, camiones	corrosión deterioro de las cubiertas y empalmes
	Obras subterráneas de energía de sistemas de comunicaciones corrientes continuas sistemas de tracción de corrientes alterna Líneas de energía eléctricas fugas de gas petróleo sistema de vapor y agua caliente actos de vandalismo	debido a la vibración corte o ruptura del cable deterioro de los cables y rasgos para el personal corrosión electrolytica deterioro de los cables y rasgos para el personal deterioro de los cables y rasgos para el personal deterioro de la cubierta del cable deterioro de la cubierta del cable deterioro de la cubierta, cortes

Tabla 4.7 Factores Externos Naturales y Artificiales

Según se desprende del contenido de la tabla , los cables de fibra óptica deben ser mecánicamente fuertes, químicamente resistentes y su construcción debe adaptarse lo mejor posible a las condiciones del medio ambiente

Al diseñar los cables de fibra óptica, es especialmente importante considerar la protección adecuada de la fibra óptica con el objetivo que no sufra pérdidas adicionales ni deformaciones excesivas en las diferentes condiciones de utilización, teniendo en cuenta siempre los mecanismos de fluctuación de sus propiedades.

Las consideraciones más importantes para los trabajos de instalación y mantenimiento del cable son: facilidad de manipulación, rapidez en las operaciones de empalme y de terminación y la facilidad de reparación. A continuación se listan las diferentes exigencias que se le plantean al diseñador sobre las características de los cables.

<b>Concepto</b>	<b>Propiedades</b>
Facilidad de manipulación	Flexibilidad, identificación de la fibra, peso, resistencia a la flexión, la torsión y vibración.
Tendido del cable	Flexibilidad, peso , deformación límite, flexible torsión abrasión y vibración
Operación de empalme y de terminación	Identificación del cable y de las fibras, facilidades para retirar el recubrimiento o la cubierta, sencillez de corte de la fibra, alineación del cable y de las fibras. Facilidad de protección del punto de empalme.
Facilidad de reparación	Identificación empalmes de cables y de las fibras, rápido, efectos de envejecimiento.
Buenas Características del entorno	Comportamiento climático, resistencia química, resistencia al fuego, resistencia a las penetración del agua.

La forma de construir y los requisitos de construcción dependen de la aplicación, es decir, del uso que vaya a darse a los cables. Deben ser considerados factores tales como la capacidad de transmisión o la estructura de la red y las condiciones del entorno o del medio ambiente donde vaya a ser instalado el cable y la forma como se instalará; por ejemplo: aéreo, subterráneo, en ductos, en túneles, en edificios, subacuáticos, etc.

La planta externa se construye en diversos entornos y está expuesta a condiciones naturales rigurosas, por consiguiente, debe estudiarse con gran atención la construcción del cable para mantener continuamente las características deseadas en condiciones extremas.

### **Consideraciones de diseño**

Las consideraciones de diseño que han de tomarse en cuenta en la construcción de los cables de fibra óptica son las del tipo de esfuerzo a los que los cables pueden estar expuestos durante su fabricación, instalación y explotación.

Los factores más importantes son

#### **Microcurvaturas**

La microcurvatura (microfisura) es causada por esfuerzos laterales localizados a lo largo de la fibra misma. Pueden deberse a deformaciones producidas durante la fabricación o la instalación y también a variaciones dimensionales de los materiales del cable a causa de cambios de temperatura. La sensibilidad a la microcurvatura es función de las diferencias del índice de refracción y de los diámetros del núcleo y de la envoltura. Este factor causa un aumento en las pérdidas ópticas de la fibra. Para reducir su influencia, los cables deben ser fabricados de manera tal, que puedan soportar los esfuerzos laterales que la flexionan.



## **Curvatura**

Las curvaturas de las fibras se produce por el trenzado de éstas al fabricar las cables, por flexión durante su instalación y por variación en el material del cable debido a cambios en la temperatura. El eje de la fibra pueden variar tanto que puede causar pérdidas ópticas por refracción hacia fuera del núcleo de la fibra. También pueden provocarse deformaciones tales que finalmente pueden la fibra óptica. Para evitar los problemas causados por este factor deben considerarse los siguientes elementos en la fabricación de la fibra.

- Ha de elegirse el radio y la longitud adecuados de trenzado para obtener un radio de curvaturas de la fibra suficientemente grande.
- La fibra protegida, con pequeños coeficientes de dilatación térmica, debe trenzarse sobre un elementos con adecuadas propiedades térmica a fin de reducir la influencia de las variaciones de temperatura.

## **Deformación**

La deformación de la fibra puede producirse por tracción, torsión y curvaturas durante la fabricación o instalación del cable, así como por el efecto del entorno operacional. La deformación en la fibra puede causar roturas si se excede el límite aconsejado por el fabricante de la fibra

Durante la fabricación, los cables se prueban hasta un nivel de tensión determinado; se ha demostrado, que para lograr una duración de la fibra de 20 a 40 años, la tensión residual de la fibra no debe ser superior al 20% 30% de la tensión de prueba.

## **Humedad**

La humedad puede penetrar dentro de un cable de fibra óptica. La resistencia a la tracción de las fibras se reduce ante la presencia de humedad, lo cual acelera la posible aparición de una falla por fatiga. Siempre que sea posible, las fibras deben aislarse del agua en estado líquido, ya que algunos materiales internos del cable no son impermeables al agua y, por lo tanto es conveniente utilizar una combinación de las siguientes técnicas para lograr un buen aislamiento de la humedad: Buena aislación plástica (silicona), sustancias de relleno, presurizado de gas.

## **Consideraciones constructivas**

Para lograr evitar cualquiera de los problemas detallados anteriormente, se deben considerar las siguientes condiciones y elementos para diseñar y construir los cables de fibra óptica.

Condiciones requeridas:

- Protecciones de la fibra contra la rotura
- Estabilidad de la pérdida óptica bajo diferentes tensiones
- Facilidad de manipulación
- Confiabilidad a largo plazo
- Facilidad de realización de empalmes

## **Elementos a considerar:**

### **Elemento de resistencia mecánica**

Dado que las fibras se rompen fácilmente, los cables deben incorporar algún elemento de resistencia mecánica que soporte las cargas de tensión, tanto laterales como axiales. Este elemento va en muchos cables colocados en el centro del armado del mismo y en otros en un trenzado de hilos relativos delgados o una combinación de ambos métodos. También, en el caso de cables aéreos, el elemento de resistencia mecánica puede ir colocado exteriormente en una ubicación paralela al cable de fibra óptica propiamente tal; este cable recibe el nombre de autosoportado.

### **Cubierta del cable**

La cubierta del cable protege de las fuerzas mecánicas externas y de los posibles daños causados por el medio ambiente. Debe ser resistente a la humedad, a los posibles daños químicos y al fuego. Además, debería tener una buena estabilidad mecánica, pequeño diámetro y poco peso. Todas las características señaladas, corresponden a una cubierta ideal para una cable de fibra; obviamente, en el momento de evaluar algún tipo de cable se deben tomar en cuenta los costos y la calidad mínima requerida.

### **Conductores metálicos**

Generalmente los cables de fibra óptica, necesitan alambre o de otros materiales (cobre), los cuales se agregan a las fibras. Estos pares metálicos obedecen a algunos de los siguientes fines

- Supervisión del sistema y señales de control
- Alimentación de energía de los repetidores
- Supervisión de la presión de gas

## **Protección contra la Humedad**

Para mejor protección contra la humedad, deben utilizarse capas metálicas. Utilizando láminas entrelazadas de metal, se mejora la resistencia a la humedad. Los materiales no metálicos no son resistentes a la humedad.

## **Armadura**

El objetivo de la armadura, es proteger a los cables de roedores o insectos, siendo además útil contra el fuego, disparos o construcciones. Como armadura pueden utilizarse elementos tales como hilo metálico, cintas de acero, o de aluminio. En todo caso, la armadura reduce la ventaja de la fibra óptica en cuanto a su ligereza y flexibilidad.

## **Rellenos**

Los rellenos de los cables de fibra son útiles para lograr una mayor resistencia a la penetración de la humedad y para lograr un encogimiento axial de los hilos de fibra. Además, permiten una transferencia uniforme, de los esfuerzos al elemento de resistencia central.

Se debe tener un especial cuidado, cuando se utilizan rellenos de tipo "gel", debido a que éstos suelen ser tóxicos y además, presentan grandes problemas para la manipulación del cable durante los trabajos de planta externa ( instalación y reparación)

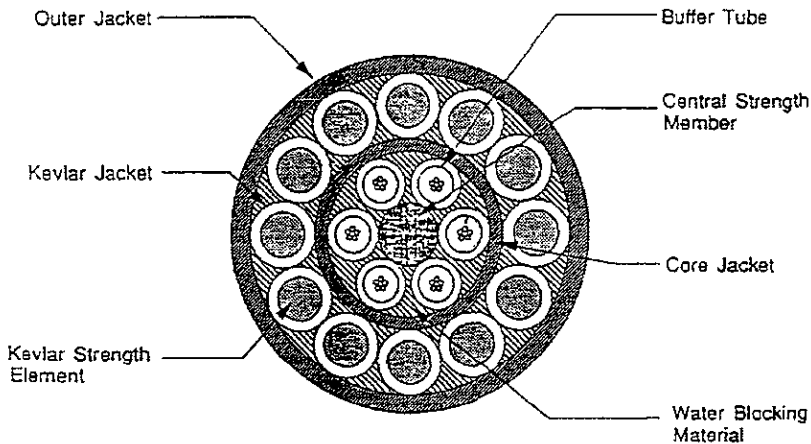
# CAPITULO 5

## CARACTERÍSTICAS DE CABLES DE FIBRA ÓPTICA COMERCIALES

- : Cables ADFOC comerciales . FOCA
- : Cables GASLCV para instalación aérea.
- : Cables GASLTLV para instalación subterránea directa.
- : Cables GNALHV para instalación en dúcto.
- : Cables GNKD para instalación interior.
- : Cables GNSLCV para instalación aérea
- : Cables GNSLSLDV para instalación en aérea
- : Cables GNSLWLV para instalación subterránea directa.
- : Cables OPGW comerciales . FOCA.
- : Cables SASLBTV para instalación submarina.

# CABLES ADFOC COMERCIALES : FOCA

SPECIFICATIONS:		
	English	Metric
Fiber Count:	2 - 36	2 - 36
Span Length:	1200 ft	366 M
Cable Diameter:	0.725 in	18.42 mm
Cable Unit Weight:	0.163 lb/ft	0.243 Kg/M
Minimum Bend Radius:	20 x OD	20 x OD
Zero Fiber Strain Load:	7400 lbs	3356 Kg
Ultimate Breaking Load:	25300 lbs	11473 Kg
Stringing Tension:	1500 lbs	680 Kg
Operating Temperature:	-40 F to + 158 F	-40 C to + 70 C
Loading Conditions:	Meets Nesc Heavy Loading Conditions of 1/2" Radial Ice and 4 PSF Wind	



# GASLCV - Instalación aérea

Diseño de núcleo ranurado, cinta de fibra, 4 - 96 fibras, autosoportado, sección 8

GASLV es un cable de cintas autosoportado para instalación en postes con una distancia máximo de 75m. Para condiciones de sobre carga. Se puede suministrar con 4 a 96 fibras, monomodo

Multimodo o ambas.  
\* Un alambre de acero integrado en la cubierta crea el perfil característicos de sección de 8 bien conocido por su bacil instalación. Este utiliza la misma técnica empleada para cables

De cobre del mismo diseño.  
\* La alta densidad de la fibra es proporcionada con la tecnología de la cinta. Esto permite un diámetro exterior pequeño del cable incluso cuando se emplea un número alto de fibras

## Datos técnicos

Rango de temperatura servicio<sup>(1)</sup> -40 a + 70 °C  
almacenamiento -40 a + 70 °C  
instalación -15 a + 50 °C

Prestaciones de la cinta  
decapado de la cinta mecánico  
fuerza de decapado 10 - 20 N

Radio de curvatura eventual, sin tensión  $\geq 140$  mm  
permanente<sup>(2)</sup> y durante la instalación  $\geq 225$  mm

Repetibilidad de curvatura<sup>(3)</sup> 1000 veces sin romperse

Resistencia a la tracción durante la instalación  $\leq 2.5$  kN  
permanente<sup>(4)</sup>  $\leq 9.3$  kN

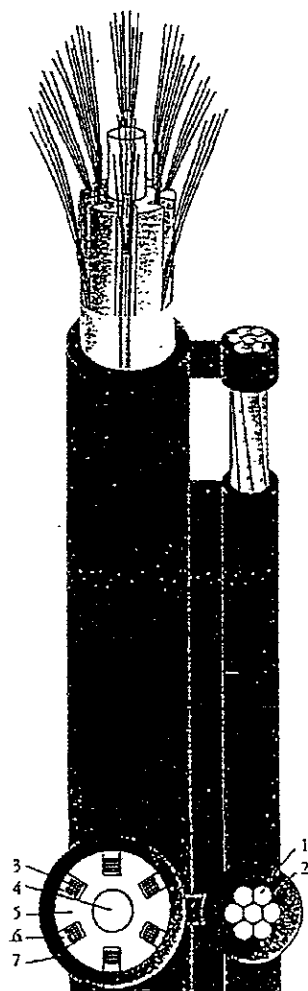
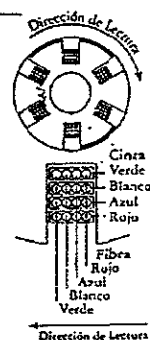
Resistencia al aplastamiento<sup>(5)</sup>  $\leq 6.0$  kN

Estanqueidad Cumple con IEC 794-J-F5

Información logística	4 - 48 fibras	52 - 96 fibras
Peso del cable	210 kg/km	260 kg/km
Longitudes suministradas	2, 4, 6, 8 km	2, 4, 6, 8 km
Diámetro de las bobinas	2 km: 1400 mm 4 km: 2000 mm 6 km: 2400 mm 8 km: 2600 mm	2 km: 1600 mm 4 km: 2200 mm 6 km: 2400 mm 8 km: 2600 mm

Construcción	4 - 48 fibras	52 - 96 fibras
1 Fiador	Hilo de acero 7 x 1.6 mm	$\varnothing 4.8$ mm $\varnothing 4.8$ mm
2 Cubierta	Polietileno (negro)	$\varnothing 8.8$ mm $\varnothing 8.8$ mm
3 Cinta de 4 fibras	Cristal de cuarzo, acrílico	1.1x0.4 mm 1x0.4 mm
4 Elemento central resistente	Plástico reforzado con fibra de vidrio	$\varnothing 3.5$ mm $\varnothing 3.5$ mm
5 Núcleo ranurado	Polietileno (negro)	$\varnothing 8.5$ mm $\varnothing 10$ mm
6 Compuesto de relleno	Gel tixotrópico	
7 Cubierta	Polietileno (negro), e = 1.5 mm	$\varnothing 12$ mm $\varnothing 13.5$ mm

## Código de colores



# GASLTLV- Instalación subterránea directa

Diseño de núcleo ranurado, cintas de fibras, 4 - 96 fibras, blindado con armadura de hilos de acero.

GASLTLV es un cable blindado robusto. El blindaje de hilos de acero proporciona al cable una resistencia mecánica muy grande, permitiendo la instalación en terreno accidentado y fiabilidad operativa en condiciones severas.

El cable se puede suministrar con 4 a 96 fibras, monomodo,

multimodo o ambos.

\* La alta densidad de las fibras es proporcionada con la tecnología de la cinta. Esto permite un diámetro exterior pequeño del cable incluso cuando se emplea un número de fibras alto.

\* El cable de núcleo ranurado tiene alta resistencia al aplastamiento.

La forma radial del perfil del alma ranurada proporciona una cavidad protectora para los tubos que se ubican dentro

## Datos técnicos

Rango de temperatura

Servicio \_\_\_\_\_ -30 a + 70 °C

Almacenamiento \_\_\_\_\_ -40 a +70 °C

Instalación \_\_\_\_\_ -15 a +50 °C

Prestaciones de la cinta

Decapado de la cinta \_\_\_\_\_ mecánico

Fuerza de decapado \_\_\_\_\_ 10-20 N

Radio de curvatura

Eventual sin tensión \_\_\_\_\_ ≥200 mm

Permanente y durante

la instalación \_\_\_\_\_ ≥300 mm

Repetibilidad de curvatura \_\_\_\_\_ 1000 veces sin romperse

Resistencia a la tracción

Durante la instalación \_\_\_\_\_ ≤10.0 kN

Permanente \_\_\_\_\_ ≤6.0 kN

Resistencia al aplastamiento \_\_\_\_\_ ≤7.0 kN

Estanqueidad \_\_\_\_\_ Cumple con IEC 794-I-F5

Información logística 4-48 fibras

Peso del cable \_\_\_\_\_ 550 kg/km

Longitudes suministradas \_\_\_\_\_ 2, 4 ó 6 km

Díametro de las bobinas \_\_\_\_\_ 2 km:1600 mm    2 km:1800 mm

4km:2200 mm    4 km:2400 mm

6km:2400 mm    6 km:2600 mm

Construcción

4-48 fibras 52-96 fibras

1 cinta de 4 fibras \_\_\_\_\_ Cristal de cuarzo, acrilato \_\_\_\_\_ 1.1x0.4 mm 1.1x0.4 mm

2 Elemento central resistente Plástico reforzado

con fibra de vidrio \_\_\_\_\_ Ø 3.5 mm Ø 3.5 mm

Poliétileno \_\_\_\_\_ Ø 8.5 mm Ø 10.5 mm

3 Núcleo ranurado \_\_\_\_\_

Poliétileno \_\_\_\_\_ Ø 12 mm Ø 14 mm

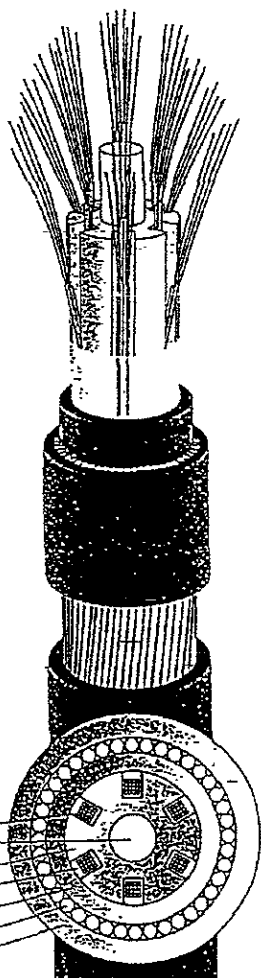
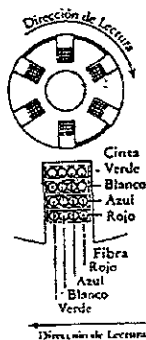
4 Compuesto de relleno \_\_\_\_\_

Hilos de acero \_\_\_\_\_ Ø 15 mm Ø 17 mm

5 Cubierta \_\_\_\_\_

Poliétileno (negro) \_\_\_\_\_ Ø 18 mm Ø 20 mm

Código de colores





# GNALHV - Instalación en Ducto

Diseño concéntrico, 4 - 48 fibras, tubo holgado, protección anti-humedad

GNALHV es un cable económico de diseño concéntrico para instalación en ductos. La lámina de aluminio proporciona una excelente barrera contra la penetración de humedad en

el núcleo del cable. Este diseño de cable se recomienda a menudo en ambientes extremadamente húmedos.

Se puede suministrar con 4 a 48 fibras, monomodo, multimodo o ambos. Ver en las páginas 33 y 34 información sobre fibras y datos técnicos.

## Datos técnicos

### Rango de temperatura

servicio  $-30$  a  $+70^{\circ}\text{C}$   
almacenamiento  $-40$  a  $+70^{\circ}\text{C}$   
instalación  $-15$  a  $+50^{\circ}\text{C}$

### Radio de curvatura

eventual, sin tensión  $\geq 150$  mm  
permanente<sup>1)</sup> y durante la instalación  $\geq 180$  mm

Repetibilidad de curvatura<sup>1)</sup> 1000 veces sin romperse

### Resistencia a la tracción

durante la instalación  $\leq 2.5$  kN  
permanente<sup>1)</sup>  $\leq 1.5$  kN

Resistencia al aplastamiento<sup>1)</sup>  $\leq 3.0$  kN

Estanqueidad Cumple con IEC 794-I-F5

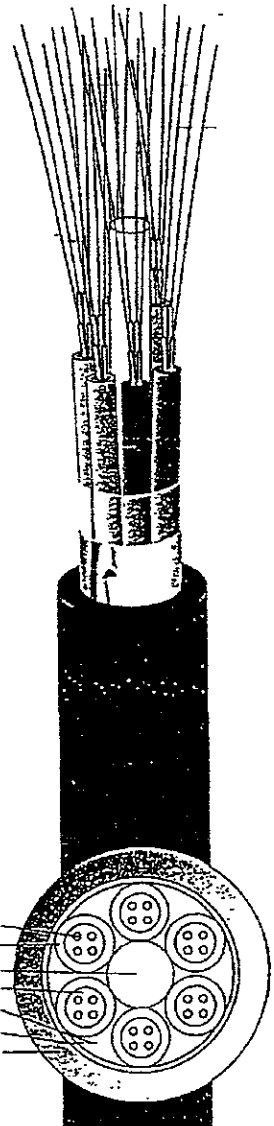
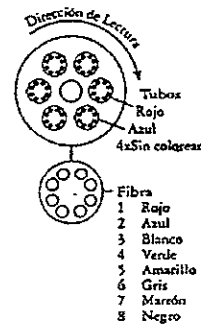
### Información logística

Peso del cable 150 kg/km  
Longitudes suministradas 2 ó 3 km  
Diámetro de las bobinas 2 km: 1200 mm  
3 km: 1200 mm

### Construcción

1 Recubrimiento primario Cristal de cuarzo, acrilato  $\varnothing 0.25$  mm  
2 Tubos holgados Poliámidas  $\varnothing 2.4$  mm  
3 Elemento central resistente Plástico reforzado con fibra de vidrio  $\varnothing 3.0$  mm  
4 Compuesto de relleno Gelatina de polibutano  
5 Compuesto de relleno Gel tixotrópico  
6 Protección anti-humedad Lámina AL-PE  $\varnothing 9$  mm  
8 Cubierta Policileno (negro),  $t = 1.5$  mm  $\varnothing 12$  mm

### Código de colores



# GNKD - Instalación interior

Cable monofibra o bifibra, fibras ajustadas, no metálico

GNKD es un cable flexible, de Combustión lenta, con relleno No gelatinoso recomendado Para uso en instalaciones de Telecomunicaciones para Interconexión entre el troncal Óptica y el repartidor de fibra (ODF). También es apropiado para redes de datos redes LAN

\* Se puede suministrar con 1 ó 2 fibras monomodo a multimodo ajustadas

\* Este cable se puede suministrar terminado con diferentes tipos de conectores.

## Datos técnicos

Rango de temperatura servicio<sup>1)</sup> \_\_\_\_\_ -20 a + 70°C  
almacenamiento \_\_\_\_\_ -40 a + 70°C  
instalación \_\_\_\_\_ -15 a + 50°C

Radio de curvatura para una vez \_\_\_\_\_  $\geq 35$  mm  
para más de una vez \_\_\_\_\_  $\geq 50$  mm

Repetibilidad de curvatura \_\_\_\_\_ 1000 veces sin romperse

Resistencia a la tracción durante la instalación \_\_\_\_\_  $\leq 300$  N  
permanente<sup>2)</sup> \_\_\_\_\_  $\leq 50$  N

Resistencia al aplastamiento<sup>3)</sup> \_\_\_\_\_  $\leq 300$  N

Resistencia al fuego \_\_\_\_\_ Cumple con IEC 332-1

### Información logística

Peso del cable \_\_\_\_\_ 1 fibra = 9 kg/km  
\_\_\_\_\_ 2 fibras = 18 kg/km  
Longitudes suministradas \_\_\_\_\_ 1 km  
Diámetro de las bobinas \_\_\_\_\_ 400 mm

Construcción		1 fibra	2 fibras
1 Recubrimiento primario	Cristal de cuarzo, acrilato	$\varnothing 0.50$ mm	$\varnothing 0.50$ mm
2 Recubrimiento ajustado	Poliamida	$\varnothing 0.9$ mm	$\varnothing 0.9$ mm
3 Elemento resistente	Hilo de aramida	$\varnothing 1.8$ mm	$\varnothing 1.8$ mm
4 Cubierta	PVC	$\varnothing 3.0$ mm	$\varnothing 3.0 \times 6.3$ mm



# GNSLCV - INSTALACIÓN AEREA

Diseño de núcleo ranurado, 4-48 fibras, tubo holgado, autoportado, sección en 8

GNSLCV es un cable autoportado sección en 8 para instalación en postes con una distancia de 75 m. en condiciones de sobrecarga

Se puede suministrar con 4 a 48 fibras, monomodo, multimodo O ambos

Un alambre de acero integrado en la cubierta crea el perfil característico de la sección en 8 bien conocido por su fácil instalación. Esta es la misma técnica empleada para cables de cobre del mismo diseño.

## CONDICIONES TECNICAS

### Rango de temperatura

servicio \_\_\_\_\_ -30a + 70 °C  
Almacenamiento \_\_\_\_\_ -40a + 70 °C  
instalación \_\_\_\_\_ -15a + 50 °C

### Radio de curvatura

Eventual, sin tensión  $\geq 150$  mm  
permanente y durante la tensión  $\geq 225$  mm

Repetibilidad de curvatura \_\_\_\_\_ 1000 veces sin romperse

### Resistencia a la tracción

durante la instalación  $\leq 2.5$  kN  
permanente, con sobrecarga de hielo y viento  $\leq 14.0$  kN

Resistencia al aplastamiento  $\leq 5.0$  kN

Estanqueidad \_\_\_\_\_ Cumple con IEC 794-I-F5

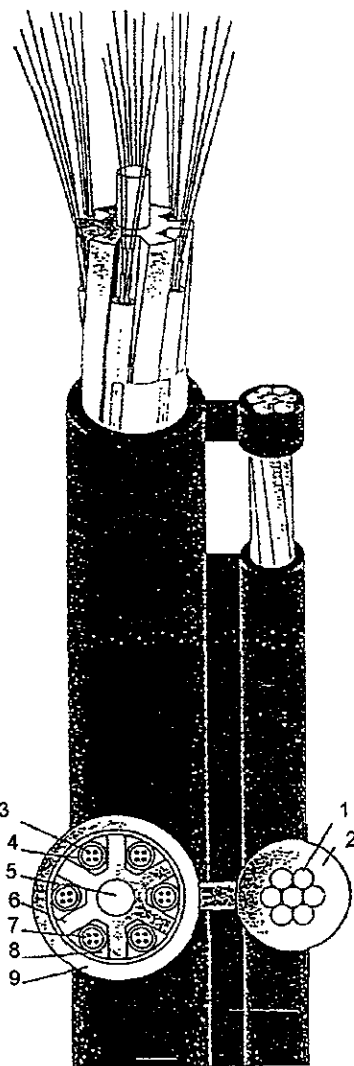
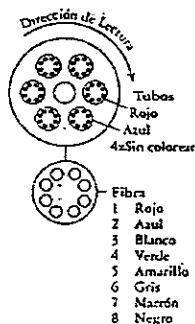
### Información logística

Peso del cable \_\_\_\_\_ 320 kg / km  
Longitud suministradas \_\_\_\_\_ 2,4,6,8 km.  
Diámetro de las bobinas \_\_\_\_\_ 2 km : 1400mm  
4 km : 2200mm  
6 km : 2400 mm

## CONSTRUCCION

1 Fiador \_\_\_\_\_ Hilo de acero 7 x 1.6mm  $\varnothing$  4.8mm  
2 Cubierta \_\_\_\_\_ Cubierta de Polietileno (negro)  $\varnothing$  8.8mm  
3 Recubrimiento primario \_\_\_\_\_ Cristal de cuarzo  $\varnothing$  0.25mm  
4 Tubo holgado \_\_\_\_\_ Poliamida  $\varnothing$  2.2-2.4mm  
5 Elemento central resistente  
plásticos reforzado \_\_\_\_\_ Con fibra de vidrio  $\varnothing$  3.0mm  
6 Núcleo ranurado \_\_\_\_\_ Polietileno  $\varnothing$  11mm  
7 Compuesto de relleno \_\_\_\_\_ Gelatinado de polibutano  
8 Compuesto de relleno \_\_\_\_\_ Gel tixotrópico

### Código de colores



# GNSLSLDV- Instalación aérea

Diseño de núcleo ranurado, 4- 48 fibras, tubo holgado, autoportado, no metálico.

GNSLSLDV es un cable autoportado no metálico diseñado para instalaciones en postes con una distancia máxima de 150 m. Al ser completamente dieléctrico, el cable se puede instalar a lo largo de líneas de energía. Para condiciones de sobrecarga.

\* Se puede suministrar con 4 a 48 fibras, monomodo, multimodo o ambos.  
\* La forma radial del perfil del núcleo ranurado proporciona una protección adicional contra la fuerza de tensión y radiales aplicadas por los accesorios de montaje

del cable.  
\* La baja conductividad térmica reduce al mínimo la acumulación de hielo.  
\* Los movimientos inducidos por el viento, son inhibidas por el perfil redondo.

## Datos técnicos

Rango de temperatura

Servicio \_\_\_\_\_ - 30 a + 70°C  
Almacenamiento \_\_\_\_\_ - 40 a + 70°C  
Instalación \_\_\_\_\_ - 15 a + 50°C

Radio de curvatura \_\_\_\_\_  $\geq 250$  mm

Repetibilidad de curvatura \_\_\_\_\_ 1000 veces sin romperse

Resistencia a la tracción durante la instalación \_\_\_\_\_  $\leq 2.5$  kN  
Permanente con sobrecarga de hielo y viento \_\_\_\_\_  $\leq 10.5$  kN

Resistencia al aplastamiento \_\_\_\_\_  $\leq 6.0$  kN

Estanqueidad \_\_\_\_\_ Cumple con IEC 794-I-F5

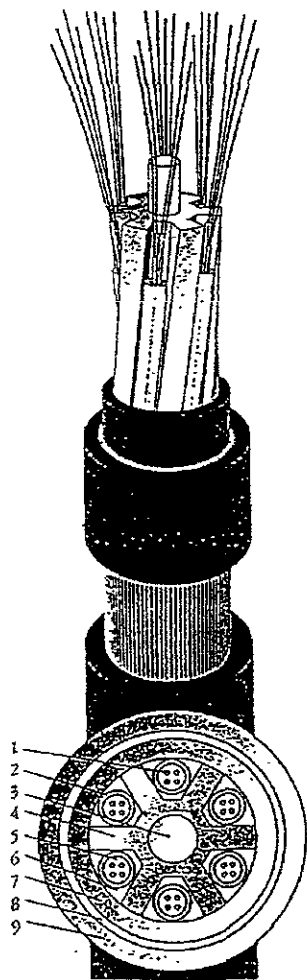
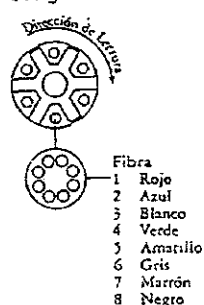
Información logística

Peso del cable \_\_\_\_\_ 260 kg/km  
Longitudes suministradas \_\_\_\_\_ 2, 4 ó 6 km  
Diámetro de las bobinas \_\_\_\_\_ 2 km: 2000 mm  
4 km: 2200 mm  
6 km: 2600 mm

Construcción

1 Recubrimiento primario \_\_\_\_\_ Cristal de cuarzo, acrilato \_\_\_\_\_  $\varnothing$  0.25 mm  
2 Tubo holgado \_\_\_\_\_ Poliamida \_\_\_\_\_  $\varnothing$  2.2 - 2.4 mm  
3 Elemento central resistente Plástico reforzado con fibra de vidrio \_\_\_\_\_  $\varnothing$  3.0 mm  
4 Núcleo ranurado \_\_\_\_\_ Polietileno \_\_\_\_\_  $\varnothing$  11 mm  
5 Compuesto de relleno \_\_\_\_\_ Gelatina de polibutano  
6 Compuesto de relleno \_\_\_\_\_ Gel tixotrópico  
7 Cubierta \_\_\_\_\_ Polietileno (negro) \_\_\_\_\_  $\varnothing$  14 mm  
8 Elemento resistente \_\_\_\_\_ Hilo de aramida \_\_\_\_\_  $\varnothing$  16 mm  
9 Cubierta \_\_\_\_\_ Polietileno de alta densidad (negro) \_\_\_\_\_  $\varnothing$  18.5 mm

Código de colores



# GNSLWLV - Instalación subterránea directa

Diseño de núcleo ranurado, 4 - 48 fibras, tubo holgado, blindado con lamina de acero corrugado.

GNSLWLV es un cable blindado pero para instalaciones subterráneas directas. El blindaje con lámina de acero corrugado proporciona buena protección contra ataques de roedores. De excelente flexibilidad al instalar..

\* El cable se puede suministrar con 4 a 48 fibras, monomodo, multimodo o ambos. Ver en la página 33 y 34 de información sobre fibras y datos técnicos  
\* Este cable se recomienda también para instalación en ducto donde existe un entorno excepcionalmente severo.

\* El cable de núcleo ranurado tiene alta resistencia al aplastamiento. La forma radial del perfil del núcleo ranurado proporciona una cavidad protectora para los tubos que se ubican dentro

Servicio \_\_\_\_\_ -30 a + 70 °C  
Almacenamiento \_\_\_\_\_ -40 a + 70 °C  
Instalación \_\_\_\_\_ -15 a + 50 °C

Radio de curvatura  
Eventual, sin tensión  $\geq 200$ mm  
Permanente y durante  
La instalación  $\geq 300$ mm

Repetibilidad de curvatura\_\_ 1000 veces sin romperse

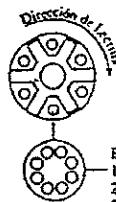
Resistencia a la tracción  
Durante la instalación  $\leq 3.0$  kN  
Permanente  $\leq 1.5$  kN

Resistencia al aplastamiento  $\leq 6.0$  kN

Información logística  
Peso del cable \_\_\_\_\_ 340 kg/km  
Longitud suministrada \_\_\_\_\_ 2,4 ó 6 km  
Dimetro de la bobina \_\_\_\_\_ 2 km : 1600 mm  
4 km : 2200 mm  
6 km : 2400 mm

Construcción  
Recubrimiento primario \_\_\_\_\_ Cristal de cuarzo, acrilico \_\_\_\_\_  $\varnothing$  0.25 mm  
Tubos holgados \_\_\_\_\_ Poliamina \_\_\_\_\_  $\varnothing$  2.4mm  
Elementos central resistente plástico reforzado  
Con fibra de vidrio \_\_\_\_\_  $\varnothing$  3.0 mm  
Núcleo ranurado \_\_\_\_\_ Polietileno \_\_\_\_\_  $\varnothing$  11 mm  
Compuesto de relleno \_\_\_\_\_ Gelatina de polibutano  
Compuesto de relleno \_\_\_\_\_ Gel fixotropico  
Cubierta \_\_\_\_\_ Polietileno (negro), t = 1.5 mm  $\varnothing$  14 mm  
Armadura \_\_\_\_\_ Lámina de acero corrugado  $\varnothing$  16 mm  
Cubierta \_\_\_\_\_ Polietileno (negro), t = 1.5 mm  $\varnothing$  19 mm

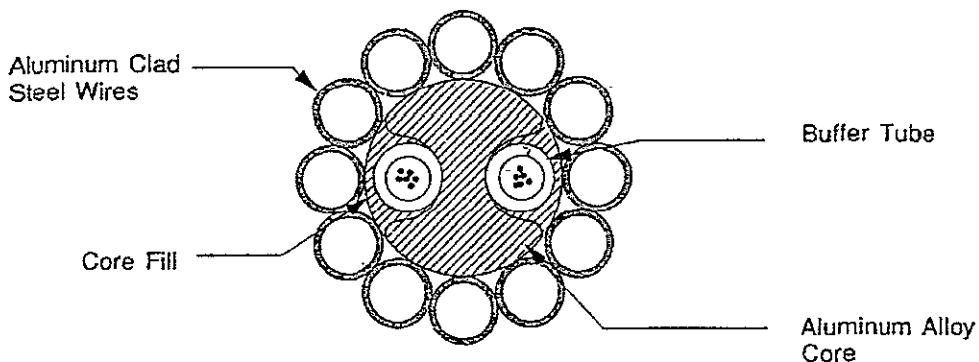
## Código de colores



- Fibra
- 1 Rojo
  - 2 Azul
  - 3 Blanco
  - 4 Verde
  - 5 Amarillo
  - 6 Gris
  - 7 Marrón
  - 8 Negro



## CABLES OPGW COMERCIALES: FOCAS



SPECIFICATIONS:		
	English	Metric
Cable Diameter:	0.547 in	13.89 mm
Core Diameter:	0.325 in	8.26 mm
Core Area:	0.050 sq in	32.26 sq mm
Stranding:		
Aluminum Clad Steel Wire No./Dia.	12/0.1111 in	12/2.82 mm
Rated Breaking Strength:	20,200 lbs	9180 kgf
Rated Fault Current:	80 (KA) sq sec	80 (KA) sq sec
Unit Weight:	0.417 lb/ft	0.622 kg/M
Modulus of Elasticity:	19.44 E 6 psi	13,683 kg/sq mm
Coefficient of Thermal Expansion:	8.07 E -6 /Deg F	14.52 E -6 /Deg C
Cross Sectional Area:	0.166 sq in	107.28 sq mm
Nominal D.C. Resistance @ 20 Deg C:	0.17 ohm/Kft	0.54 ohm/KM
Fiber Count:	2 - 24	2 - 24

# SASLBTV - Instalación submarina

Diseño de núcleo ranurado, 4 - 96 fibras, cinta de fibras, armadura de trenza de acero, cubierta de plomo

SASLBTV es un cable de cinta para instalación submarina. Blindaje de trenza de acero macizo, cubierta de plomo al cable muy buenas propiedades para la instalación

El excesivo peso y las características de la cubierta de plomo impiden las torsiones del cable durante su instalación y aseguran también que repose en fondo, lo que es importante cuando la topografía es irregular

- Se puede instalar hasta 2,000m de profundidad.
- Alta densidad de las fibras es proporcionada con la tecnología de la cinta.
- las características de estanqueidad exigen una cubierta de plomo.

## Datos técnicos

Rango de temperatura

Servicio \_\_\_\_\_ - 30 a 70 °C

Almacenamiento \_\_\_\_\_ - 40 a 70 °C

Instalación \_\_\_\_\_ - 10 a 20 °C

prestaciones de la cinta

Decapado de 5 cintas \_\_\_\_\_ mecánica

Fuerza de decapado \_\_\_\_\_ 10 - 20 N

Radio de curvatura

Eventual sin tensión \_\_\_\_\_  $\geq 400$  mm

Permanente y durante

La instalación \_\_\_\_\_  $\geq 600$  mm

Resistencia a la tracción

Durante la instalación \_\_\_\_\_  $\leq 30$  kN

Permanente \_\_\_\_\_  $\leq 20$  kN

Resistencia al aplastamiento \_\_\_\_\_  $\leq 12$  kN

Información logística \_\_\_\_\_ 4 - 48 fibras

Peso del cable \_\_\_\_\_ 3600 kg / km

Longitudes suministradas \_\_\_\_\_ Máx. 14 km

Diametro de la bobina \_\_\_\_\_ 2 km : 2600 mm

4 km : 3000 mm

6 km : 3300 mm

8 km : 3300 mm

52 - 96 fibras

3900 kg / km

Máx. 14 km

2 km : 2600 mm

4 km : 3300 mm

6 km : 3300 mm

8 km : 3300 mm

Construcción

4 - 48 fibras 52 - 96 fibras

Cinta de 4 fibras \_\_\_\_\_ cristal de cuarzo, acrilato 1.1 x 0.4 mm

Elemento central resistente plástico reforzado

Con fibra de vidrio \_\_\_\_\_  $\varnothing 3.5$ mm  $\varnothing 3.5$  mm

Núcleo ranurado \_\_\_\_\_ Polietileno \_\_\_\_\_  $\varnothing 8.5$  mm  $\varnothing 10.5$  mm

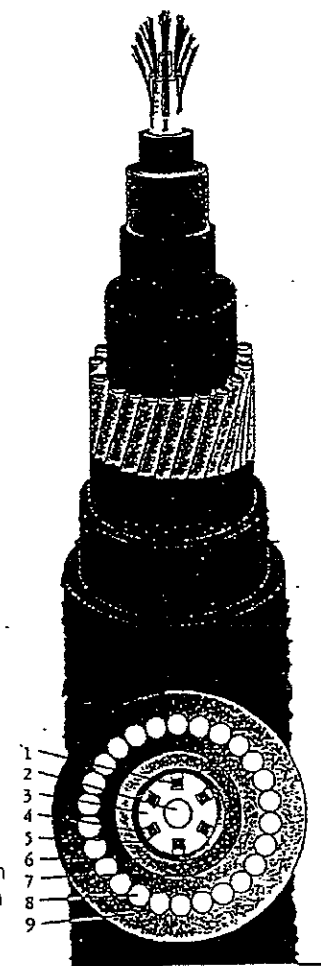
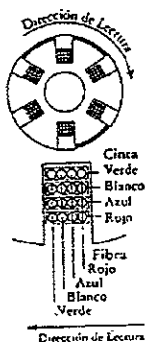
Compuesto de relleno \_\_\_\_\_ Gel tixotrópico

Cubierta \_\_\_\_\_ Plomo \_\_\_\_\_  $\varnothing 17$  mm  $\varnothing 18$  mm

Asiento de armadura \_\_\_\_\_ hilo de yute, compuesto  $\varnothing 23$  mm  $\varnothing 25$  mm

Armadura \_\_\_\_\_ Hilo de acero, galvanizado  $\varnothing 29$  mm  $\varnothing 31$  mm

Protección exterior \_\_\_\_\_ Hilo de yute, compuesto  $\varnothing 37$  mm  $\varnothing 39$  mm



## CONCLUSIÓN

Definitivamente la fibra óptica es uno de los grandes avances tecnológicos de nuestros días, ya que no solamente ha revolucionado la telecomunicación, sino que ha marcado un gran avance tecnológico

En cuanto a las telecomunicaciones hoy en día cuentan con estructuras de redes a larga distancia y acceso mediante la fibra óptica, ya que estas proveen la mejor relación de costo, gracias a la gran capacidad de información que pueden transmitir entre repetidoras que se encuentran a grandes distancias, siendo un elemento estratégico de gran importancia. Sin embargo su implementación es cuantiosa y solo se justificaría si se manejaran grandes bancos de información como AVANTEL, TELMEX, MARCATEL, etc. El cual ha favorecido a otra empresas que no cuentan con el capital suficiente para dicha inversión, esto es mediante redes de acceso a base de fibra de ópticas

Si bien la las ventajas que se han obtenido con la utilización de este material, como la calidad de transmisión, inmunidad de ruido, seguridad de transmisión sus propiedades físicas así como su gran facilidad de mantenimiento, entre otras cosas, de igual forma hay que tener presente las desventajas que esta presenta como lo son la canalización para redes de larga distancia, ya que implica complicaciones en algunos tipos de terrenos, la sensibilidad del cable a las curvaturas, la carente presencia de difusión natural, además del gran capital que se necesita para poder soportar el mantenimiento que esta presenta

Aunque la fibra óptica es el futuro de las telecomunicaciones, no va a reemplazar al satélite, pero si, podría a los cables convencionales para la transmisión de la información, y debido a sus características, son ideales para le transmisión de señales de voz, datos y video en un sistema de gran capacidad de información.

La información que se recabo en esta tesina es una base para la introducción al estudio de las fibras ópticas para los estudiantes que deseen entrar al amplio mundo de las comunicaciones y esperando que les sea de una gran utilidad y puedan obtener el máximo provecho de esta tesina.



# GLOSARIO

**Absorción óptica:** es transformación de la señal óptica (fotones) en señal eléctrica (electrones)

**Ancho de banda eléctrico:** se define el ancho de banda de una señal eléctrica como aquella frecuencia a la cual la amplitud de la potencia lumínica cae 3 dB eléctricos con respecto al valor que ésta presenta a frecuencia nula

**Ancho de banda óptico:** se define el ancho de banda de una señal óptica como aquella frecuencia a la cual la amplitud de la potencia lumínica cae 3 dB ópticos con respecto al valor que ésta presenta a frecuencia nula.

**Ancho de banda:** se define el ancho de banda de una fibra óptica como aquella frecuencia a la cual la magnitud de la función de transferencia decrece hasta una fracción especificada, generalmente 3 dB, con respecto al valor que ésta presenta a frecuencia nula.

**Apertura numérica:** propiedad de la fibra para recolectar la luz y propagarla. Es el valor numérico del seno del ángulo máximo de aceptación del haz lumínico en la fibra. Depende únicamente del valor de los índices de refracción del núcleo y del revestimiento. Es adimensional

**Atenuación:** la atenuación de una fibra óptica es la tasa de decrecimiento de la potencia óptica media con respecto a la distancia a lo largo de la fibra óptica.

**Cable bifibra:** Este tipo de cables consta de dos fibras ópticas y por lo general están confeccionados en estructura ajustada.

**Cable monofibra:** Cable que consiste de una sola fibra óptica y que por lo general están confeccionados en estructura ajustada

**Cable multifibra:** Cable que consta de un número variable de fibras ópticas y que están confeccionados en estructura ajustada.

**Cable óptico:** Elemento que agrupa a una o varias fibras ópticas. Tiene la función de guiar en su interior a las fibras ópticas y protegerlas de todos los agentes que pudieran atacarlas.

**Códigos de línea:** se utilizan durante el proceso de codificación de las señales ópticas. previamente a la propagación de las mismas a través de las fibras ópticas.

**Conector:** Los conectores son uniones removibles empleados para conectar la fibra óptica tanto al transmisor como al receptor.

**Diodo Emisor de Luz (LED):** Los diodos emisores de luz son fuentes de luz con emisión espontánea (no coherente), son diodos semiconductores *p-n* que para emitir luz se polarizan directamente

**Diodo Láser (LD):** Los diodos láser son fuentes de emisión estimulada y contienen dos espejos semirreflejantes para formar una cavidad resonante y así realizar retroalimentación óptica. Son emisores de radiación coherente, es decir, monocromática, de longitud espectral muy pequeña y directiva.

**Dispersión modal:** Es el fenómeno físico de la dispersión entre modos. se produce porque la velocidad de propagación del haz lumínico por el núcleo de la fibra óptica no permanece constante

**Emisor óptico:** Elemento que tiene por función transformar la información en forma de señal eléctrica a información en forma de luz. También se le conoce como modulo de emisión

**Empalme:** Unión permanente entre dos secciones de fibras ópticas mediante un proceso especial (por fusión, arco eléctrico, reacción química o por conectores especiales)

**FDM:** multicanalización por división de frecuencia.

**Fibra de índice escalonado:** Fibra óptica con un cambio súbito del índice de refracción absoluto en la unión del núcleo y el recubrimiento.

**Fibra de índice gradual:** Fibra óptica en la cual el núcleo está fabricado con un material que tiene un índice de refracción absoluta graduado, el cual es mayor en el centro del núcleo y disminuye gradualmente hacia la orilla exterior en la que toca el recubrimiento.

**Fotodetector de avalancha:** Fotodetector que emplea el fenómeno de avalancha de manera controlada (limitando la corriente) para aumentar notablemente la sensibilidad del fotodetector

**Fotodetector PIN:** Los fotodetectores PIN son dispositivos que se forman con una capa de material semiconductor ligeramente contaminado, que se le llama región intrínseca (i), la cual se coloca entre dos capas de material semiconductor, una tipo *n* y una tipo *p*.

**Índice de refracción:** es relación entre la velocidad de la luz en el Vacío (*c*) y la velocidad en el dieléctrico.

**Longitud de onda ( $\lambda$ ):** se define como la relación entre su Velocidad de propagación y su frecuencia.

**Medio de transmisión:** Elemento físico por el cual se transmite (viaja) la información, independientemente del sistema de comunicación empleado.

**Modos:** número de longitudes de ondas que pueden viajar el mismo tiempo en una fibra óptica

**Multicanalización:** transmisión de varias señales en un canal único.

**Núcleo:** Es la zona interior de la fibra óptica y por la que se propaga el haz lumínico.

**Regenerador óptico:** realizan una amplificación y regeneración de la señal óptica presente en su entrada, presentando siempre en su salida una señal óptica.

**Receptor óptico:** Elemento que tiene por función transformar la información óptica recibida en información con la forma de señal eléctrica. También se le conoce como módulo de recepción.

**Recodificación:** la recodificación de las señales consiste en la adición de unos bits redundancia a los símbolos codificados inicialmente para disminuir la probabilidad de error.

**Recubrimiento primario:** Sustancia dieléctrica que recubre al revestimiento de la fibra óptica y es concéntrico con el mismo

**Refracción:** Fenómeno que se presenta cuando una onda de luz pasa de un material a otro provocando el cambio de dirección del viaje de la misma.

**Sistema de comunicación por cable metálico:** Sistema de comunicación que necesita de un medio físico como un canal de transmisión para transmitir la información y que además éste debe ser conductor de electricidad (par de alambres, cable coaxial guía de onda). En este tipo de sistemas la información viaja en forma de ondas o impulsos eléctricos.

**Sistema de comunicación por fibra óptica:** Sistema de comunicación que emplea un medio físico dieléctrico como canal de transmisión. En este tipo de sistemas la información viaja en forma de rayos de luz que son ondas electromagnéticas.

**Sistema de radiocomunicación:** Sistema de comunicación que emplea el espacio como medio de transmisión. En este tipo de sistemas la información viaja en forma de ondas electromagnéticas.

**TDM:** multicanalización por división de tiempo.

**Transductor:** Dispositivo que transforma la manifestación de un fenómeno físico en oscilaciones de voltaje y corriente.

# BIBLIOGRAFÍA

- \* Mediciones en sistemas de transmisión Por Fibra Óptica.  
CINCATEL  
1989
  
- \* Cables de Fibra Óptica  
CINCATEL  
1992
  
- \* Comunicaciones por Fibra Óptica  
Raimundo Díaz de la Iglesia  
1991
  
- \* Curso Interno de Transmisión por Fibra Óptica  
CINCATEL  
1992 México D F
  
- \* Sistemas de Transmisión por Fibra Óptica  
ARSECOM  
[www.asercom.com.mx](http://www.asercom.com.mx)
  
- \* Redes · Tipos de Fibras Ópticas  
CIBERCURSOS  
[www.cibercursos.com](http://www.cibercursos.com)