

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



FIBRAS OPTICAS

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA
DIANA AMITA CRUZ HERNANDEZ

ASESOR: ING. LEOPOLDO VILLARREAL

CD. UNIVERSITARIA

OCTUBRE DE 1998

TK5103
59
C7
1998
c.1



1080096918

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



FIBRAS OPTICAS

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA
DIANA AMITA CRUZ HERNANDEZ

ASESOR: ING. LEOPOLDO VILLARREAL

CD. UNIVERSITARIA

OCTUBRE DE 1998

T
TK5103
.59
C7
1998



INDICE

INTRODUCCIÓN1

CAPÍTULO I

Historia de la fibra óptica.....2

CAPÍTULO II

- **Teoría Básica de Operación y Definición6**
- **Tamaños de la Fibra Optica**
- **Ventajas y Desventajas de la Fibra Optica**
- **Aplicaciones**
- **Construcción**

CAPÍTULO III

- **Capacidad de transmisión25**
- **Dimensiones**
- **Naturaleza Ondulatoria de la Luz**
- **Propagación de la luz**
- **Leyes de la reflexión**
- **Leyes de la refracción**
- **Índice de refracción**
- **Apertura Numérica**
- **Modos de Propagación**
- **Pérdidas de transmisión**
- **Señales de Distorsión**

CAPÍTULO IV

- **Fotoemisores.....41**
- **Transmisor**
- **Acoplamiento Mecánico**
- **Fotodetectores**

- **Receptor**
- **Acoplamiento Mecánico**
- **Empalmes y conectores**

- **GLOSARIO.....65**

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de servicios de comunicaciones a hecho necesarias la búsqueda de alternativas frente a la insuficiencia de los cables metálicos que se utiliza para la conducción de señales, dentro de estas alternativas destaca la fibra óptica que empieza a ser utilizada en aplicaciones importantes en nuestro país.

La transmisión de señales eléctricas por conductores metálicos se ha de esta usando hace ya más de un siglo. En los últimos años la tecnología de telecomunicaciones ha experimentado un notable avance que permite, por ejemplo, la transmisión simultánea de 10800 canales telefónicos a través de un único par de conductores coaxiales.

Las características físicas de los cables con conductores de cobre hacen aumentar la atenuación a una razón que depende de la raíz cuadrada de la frecuencia de las señales eléctricas y con el incremento del ancho de la banda de la transmisión de las distancias entre los repetidores disminuye proporcionalmente.

Además de eso, campo electromagnéticos y electrostáticos pueden perturbar las señales conducidas por cables metálicos. La transmisión de señales de telecomunicaciones por cables de fibra óptica ofrece varias ventajas en este sentido. En estos sistemas en lugar de una portadora eléctrica de CA se usa luz con una longitud de onda en la región infrarroja.

Las fibras ópticas pueden ser recomendadas como medio de transmisión ideal en todos los casos en donde es probable encontrar fuertes interferencias, como por ejemplo en sistemas de alta tensión, para comunicaciones de voz y datos en las compañías proveedoras de energía eléctrica.

La información siguiente describe las ventajas de los sistemas de comunicación por medio de fibras ópticas comparadas con sistemas convencionales.

VENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA SOBRE LOS SISTEMAS CONVENCIONALES DE COMUNICACIONES

- **Gran ancho de banda de transmisión**
- **Baja atenuación**
- **No hay diafonía**
- **Distancias grandes entre repetidores**
- **Prácticamente inmune a las condiciones ambientales (radiación, agua)**
- **No afectadas por la interferencia electromagnética**
- **No se genera IEM ni IRF**
- **No se afecta por iluminación**
- **No hay problemas de aterrizaje, pues el conductor no es metálico**
- **Cables ligeros y de diámetro pequeño**
- **Disposición ilimitada de materia prima**
- **No se afecta por circuitos de corriente alta**

No es, por lo tanto, solamente en el campo de las telecomunicaciones , particularmente en sistemas de larga distancia y banda ancha, que estas características específicas de las fibras ópticas están abriendo vastas posibilidades, a pesar de su gran importancia en este sector.

La utilización, de las fibras ópticas en el campo de las industrias también es muy importante y atractiva .En ésta área su inmunidad a interferencias causadas por campos electromagnéticos ,el aislamiento de altas tensiones y la seguridad de los circuitos son factores que proporcionan a las fibras ópticas ventajas al ser usadas en las conexiones de procesamiento de datos, terminales remotas, entre computadoras que efectúen el control de procesos y puntos de medición remotos o dispositivos de monitoreo.

A continuación se enumeran algunas áreas en donde pueden emplearse sistemas de comunicación que utilicen fibras ópticas.

- **Redes de telecomunicaciones .**
- **Sistemas troncales.**
- **Conexiones con conmutadores locales**

- **Conexiones con abonados.**
- **Redes de comunicaciones de ferrocarriles.**
- **Redes de compañías públicas de comunicaciones.**
- **Redes privadas (Transmisión de voz y datos).**
- **Redes de estudios, cables para cámara.**
- **Redes industriales (por ejemplo, conexiones entre puntos de medición).**
- **Transmisión de señales EDP (Electronic data procesing).**
- **Computadora a computadora.**
- **Conexión de circuitos dentro de instrumentos.**
- **Aplicaciones de control (plantas y otras maquinarias).**
- **Motores de vehículos, aviones y barcos.**

CAPITULO I

HISTORIA DE LA FIBRA OPTICA

Desde el inicio de los tiempos la comunicación entre los seres vivos ha sido indispensable, tanto para la subsistencia individual como para la propia especie. Hoy en día las telecomunicaciones engloban a todos aquellos sistemas, equipos y métodos que facilitan la transmisión de información, generalmente por métodos electrónicos.

A continuación se describe cronológicamente como ha sido el desarrollo que se ha tenido en el campo de las fibras ópticas:

-1870	Tyndall demostró que la luz podía ser conducida dentro de un chorro de agua.
-1880	Alexander Graham Bell estudió la posibilidad de transmitir la palabra en un rayo de luz.
-1910	Hondros y Debye estudian el aspecto de la guía de onda dieléctrica.
-1920	Shriever experimenta con la guía de onda dieléctrica.
-1934	Norman Frech hizo el primer intento de conducir la luz con fines de aplicación en Estados Unidos. Construyó un teléfono óptico y logra transmitir audio a distancias muy cortas utilizando barras de vidrio rígidas
-1954	Van Heel, Hopking y Kapany desarrollan la guía de onda dieléctrica recubierta.
-1958	A. Schalow y G.H. Towne inventan el rayo láser.
-1959	T. Maiman desarrolla la primera aplicación del láser en HUGHES RESEARCH LABORATORIES.
-1962	Se desarrollan el LASER semiconductor y fotodiodos semiconductores.
	Experimentos de ondas de luz para transmisión en telecomunicaciones. Charles Kao y G. Hokman sugieren que se utilice la fibra óptica como medio de comunicación. Para esto debería de lograrse una atenuación de 20 db/Km contra los 1000 db/km que se tenían en el año de 1966.

-1960's	Tyndall demostró que la luz podía ser conducida dentro de un chorro de agua.
-1970	La firma Corning Glass Work obtiene una fibra con atenuaciones de 20 dB/km.
-1971	Desarrollo del láser de onda continua.
-1972	El nivel de atenuación de la fibra fabricada entonces llegó a alcanzar valores de 4 dB/km. Desarrollo de fibras con núcleo líquido.
-1973	Corning desarrolla fibra óptica con atenuación de 2 dB/km.
-1976	Se instala en Alemania una red de Servicios Integrados (ISDN), con cobertura de 2.1 km.
-1977	MIT desarrolla una fibra con 0.2 dB/km. Experimentos prácticos en Canadá por Bell-Northern.
-1989	Se ha logrado fabricar Fibra Óptica con niveles de atenuación muy bajos, del orden de 0.16 dB/km y con perfiles de índice de refracción excelentes, lográndose por consecuencia, anchos de banda muy grandes.

Todos estos logros se deben al desarrollo acelerado en el área de fibras ópticas, en el que se encuentran comprometidos los principales fabricantes de equipos de telecomunicaciones en el mundo.

Las características de los elementos que forman el sistema de fibras ópticas no solamente han alcanzado valores óptimos de rendimiento propuestos por laboratorios de investigación, sino que son capaces de satisfacer exigentes requisitos físicos y de confiabilidad para aplicaciones que soporten el crecimiento de las telecomunicaciones.

CAPITULO II

GENERALIDADES

TEORIA BASICA DE OPERACION Y DEFINICION

Las fibras ópticas pueden ser definidas como una rama de la óptica con división en la comunicación, para la transmisión de la luz y frecuencias infrarrojas generadas por un LASER o LED'S a través de fibras transparentes de vidrio o de plástico.

Las fibras ópticas son filamentos generalmente en forma cilíndrica, que consisten en un núcleo de vidrio y un revestimiento de vidrio o plástico.

NUCLEO (CORE)

Es la sección a través de la cual viaja el haz de luz.

REVESTIMIENTO (CLADDING)

Es la capa que rodea al núcleo. Su función principal es reflejar la luz hacia el centro de la fibra atrapándola en el núcleo. Ver figura. 2.1

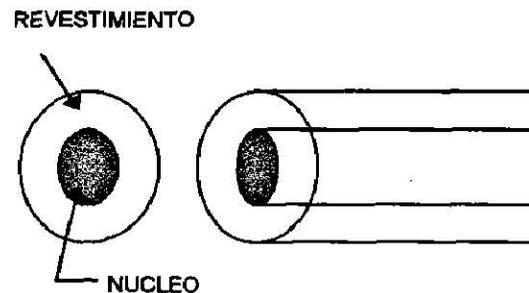


figura 2.1 Núcleo y Revestimiento una Fibra Optica

Tanto el núcleo (core) como el revestimiento (cladding) están conformados de ambos vidrio e plástico. Con la combinación de estos materiales se forman tres tipos de Fibra Optica:

a) Núcleo de plástico con revestimiento de plástico.

b) Núcleo de vidrio con revestimiento de plástico.

c) Núcleo de vidrio con revestimiento de vidrio.

En el caso del plástico, el núcleo puede ser de polietileno o polimetil metacrílico; es generalmente silicón o teflón.

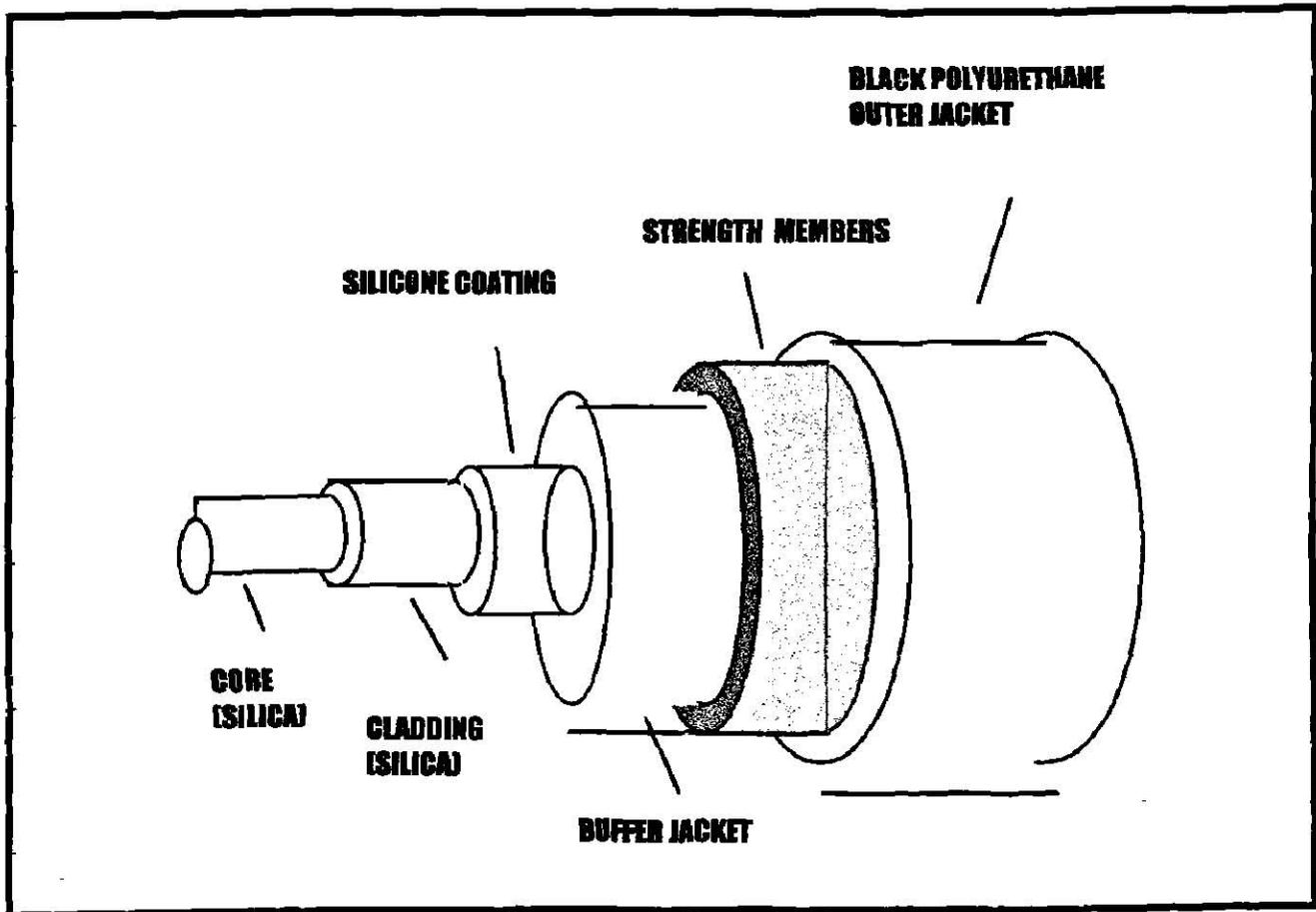
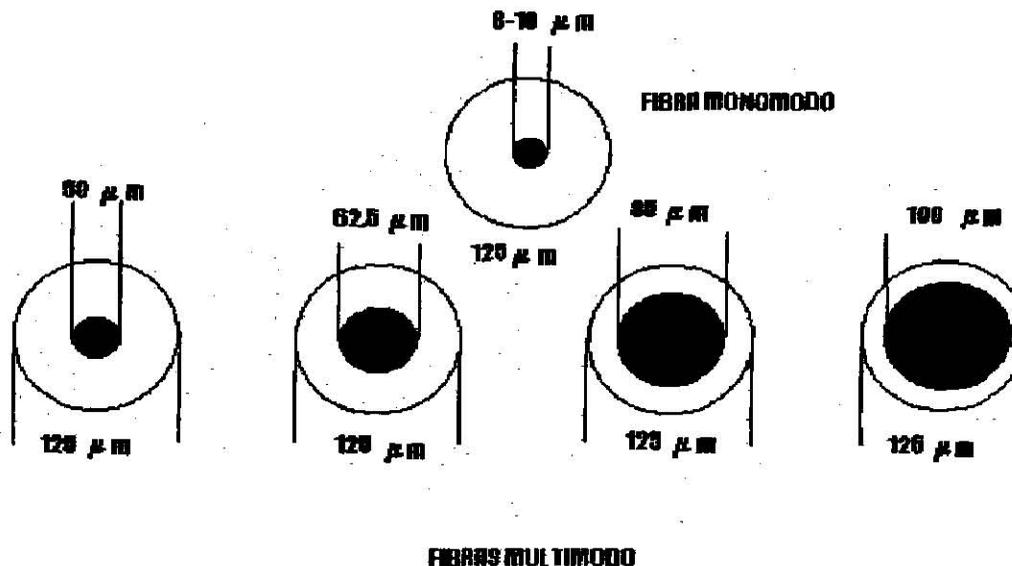


Figura 2.2 Componentes de una Fibra Óptica.

TAMAÑOS DE LA FIBRA ÓPTICA



En las fibras ópticas monomodo el tamaño del núcleo está generalmente entre 8 y 10 μm.

En las fibras multimodo existen cuatro estándares del tamaño del núcleo :

- **50,62 y 85μm (todas con un diámetro de cubierta de 125 μm).**
- **100 μm (con 140 μm del diámetro de la cubierta).**

El uso de cada uno de ellas está en función de su aplicación. Los tamaños 50 y 62.5 μm son los más utilizados para aplicaciones en telefonía y en redes locales de datos.

Inicialmente las fibras multimodo fueron utilizadas en todo tipo de aplicaciones telefónicas , debido a su gran núcleo y apertura numérica que les permitía una facilidad de interconexión. Sin embargo, el ancho de banda en fibras multimodo es mucho menor al de la fibra monomodo.

El vidrio está constituido básicamente de sílica, la cual es encontrada en arena. Para la fabricación de la fibra óptica la sílica debe ser extremadamente pura; agregando pequeñas cantidades de partículas de boro, fósforo y germanio es posible cambiar el

índice de refracción de la fibra. El óxido de boro se añade a la sílica para formar el borosilicato de vidrio que se utiliza en algunos revestimientos.

En comparación con el vidrio las fibras de plástico son mas económicas y flexibles. Además son mas fáciles de instalar y conectar, resisten grandes tensiones en comparación con las fibras de vidrio. Como desventaja principal está la mala transmisión de la luz, este ocasiona grandes pérdidas por lo que se recomienda el uso del vidrio para el núcleo de la fibra.

En un sistema de fibras ópticas, se unea tres partes para llevar a cabo esta tarea de comunicación: una fuente de luz (transmisor), una fibra óptica y un detector de luz (receptor). La fuente de luz puede ser de un diodo semiconductor láser o de un diodo emisor de luz (LED). Las fibras ópticas pueden ser de un tamaño corto como 1m. o uno largo como de 10 km. El detector de luz puede ser un fotodiodo PIN (Positive Intrinsic Negative) o un APD (Avalanche Photodiode). Cada uno de estos dispositivos se discutirá mas adelante.

Un sistema de Fibras Ópticas simple, convierte una señal eléctrica a una señal de luz dentro de una fibra óptica o entonces captura la señal en el final cuando es reconvertida en una señal eléctrica.

Son dos los tipos de modulación de onda posibles: Analógica y Digital. En la modulación analógica la intensidad de la luz irradiada por el láser o el LED es variablemente continua. La modulación digital es de forma contraria.

La intensidad es cambiada impulsivamente de un modo ON/OFF, al transmitir luz ON y OFF es una velocidad extremadamente rápida. El modelo mas típico de modulación de pulsos es el PCM (Pulse Code Modulation).

La modulación digital es mas popular ya que permite una transmisión a una gran distancia con el mismo poder de modulación analógica.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FIBRA OPTICA

Las ventajas más notables son aquéllas derivadas del gran ancho de banda y de las bajas pérdidas de la fibra óptica. Existen otras ventajas motivadas por las propiedades físicas de la fibra óptica. Por ejemplo, la inmunidad a la interferencia inductiva o eléctrica, la cual la hace idónea para enlaces de telemetría o de datos en ambientes adversos. La tabla 2.1 nos muestra algunas propiedades y beneficios de la fibra óptica como guía de onda. A continuación se detallarán algunas de las cualidades de la fibra óptica

PROPIEDADES	BENEFICIOS
Bajas pérdidas	Menor número de repetidores
Alta anchura de banda	Bajo costo per canal
Pequeño tamaño, bajo precio y flexibilidad	Facilidad de instalación y transporte
Resistencia a las radiaciones	No precisa apantallamientos
Inmunidad a interferencias electromagnéticas y ausencia de radiaciones	Confiablez
Alta estabilidad con la temperatura	Viabilidad como medio de transmisión en condiciones climáticas adversas
Dificultad para captar sus emisiones	Seguridad
Material dieléctico	Aislamiento eléctrico y disponibilidad de materia prima

Tabla 2.1 Propiedades y Beneficios al utilizar una Fibra Optica

ELEVADO ANCHO DE BANDA

El empleo del láser y de los LEDs en la comunicación con fibra óptica abre una ventana del espectro electromagnético en frecuencias 10 mil veces superiores a las

mayores empleadas en las transmisiones de radio, ya que la capacidad potencial de información se incrementa de modo directamente proporcional a la frecuencia, el láser hace que sea posible transmitir 10^{14} bps.

BAJAS PERDIDAS

Puesto que intrínsecamente las pérdidas de las fibras ópticas son bajas (menos de 2.5 dB/Km. a 0.85 micrómetros y 0.5 dB/Km. a 1.3 micrómetros en las disponibles en el mercado) el distanciamiento entre repetidores resulta multiplicado en comparación con el exigido por los cables metálicos en condiciones de tráfico análogas. En la actualidad se han superado los 200 Km. entre los puntos de repetición en condiciones experimentales a velocidades de hasta 90 Mb/seg., y se han alcanzado más de 161 Km. para 480 Mb/seg.

INMUNIDAD A LA INTERFERENCIA ELECTROMAGNETICA

La configuración de los campos electromagnéticos que se propagan en la fibra óptica es tal que, en la práctica, se produce un completo aislamiento con el exterior. Así pues, las fibras ópticas no contribuyen a interferir en otros sistemas, y a la inversa, son inmunes a las interferencias originadas por otros portadores.

TAMAÑO Y FLEXIBILIDAD

Un cable de diez fibras ópticas puede tener un diámetro exterior de 8 a 10 mm y ofrecer la misma capacidad de información (aunque con menos repetidores) que un cable coaxial de 10 tubos y 8 cm de diámetro, o de 5 o 10 cables de 2000 pares de 0.8 mm.

La diferencia de tamaño repercute en el peso y la flexibilidad del cable. Dado que el material de la fibra óptica es mas ligero el ahorro económico, de instalación, y transporte es mucho mayor.

AISLAMIENTO ELECTRICO

Las fibras proporcionan un total aislamiento eléctrico entre el transmisor y el receptor. Esto proporciona ciertas ventajas: no se precisa una tierra común para el transmisor y el receptor; puede repararse la fibra aunque los equipos no estén apagados; los cables de fibra pueden atravesar zonas con fuertes inducciones sin peligro de descarga eléctrica ni riesgo de que se originen corte circuitos.

SEGURIDAD

Puesto que las fibras ópticas no radian energía electromagnética la señal transmitida por ellas no puede ser captada desde el exterior. Algunas aplicaciones militares se basan en esta propiedad.

APLICACIONES

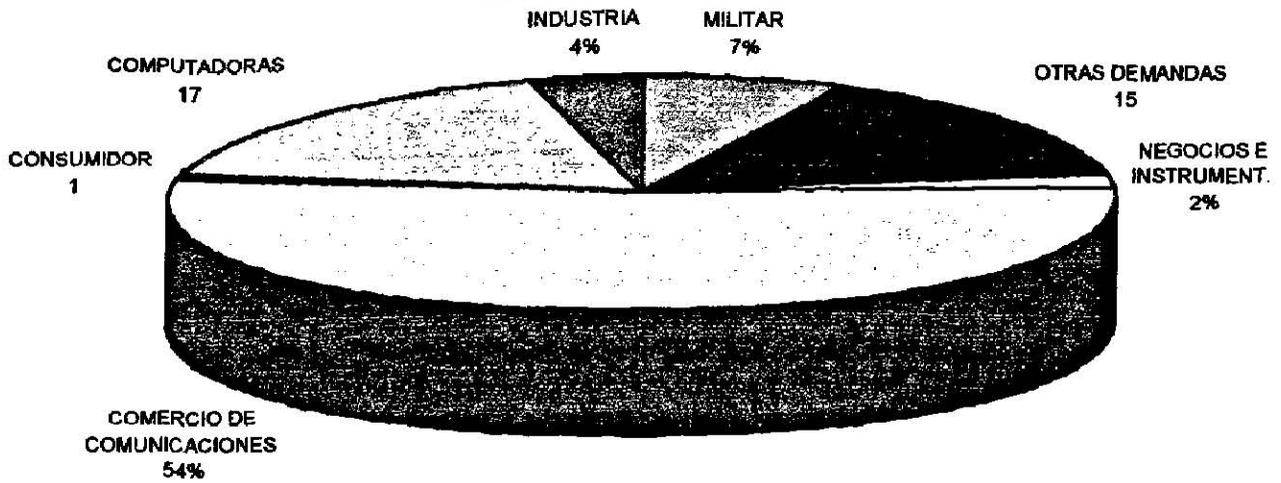
En la actualidad las fibras ópticas tienen toda una gama de aplicaciones. A continuación se mencionarán las más importantes.

CAMPOS DE APLICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
- Red de T.V. por cable.	Gran ancho de banda.

- Comunicaciones en instalaciones de energía eléctrica.	No hay interferencia electromagnética.
- Control de plantas nucleares.	Gran ancho de banda sin peligro de incendio y de interferencias electromagnéticas.
- Enlaces entre computadoras.	No existe interferencia electromagnética.
- Armas dirigidas.	Peso pequeño y de ancho de banda grande.
- Transmisiones secretas.	Sin radiación electromagnética.
- Sensores (Presión/Temperatura).	Alta sensibilidad.
- Medicina.	Perfeccionó el endoscopio, aparato que permite explorar el cuerpo humano.
- Redes telefónicas públicas.	Gran ancho de banda.
- Conexión telefónica entre islas por medio de cable submarino.	Gran ancho de banda y garantiza la comunicación aún en condiciones atmosféricas adversas.
- Automóviles.	Decrece el peso del cable e incrementa la velocidad de transmisión de signos al tablero.

Tabla 2.2 Campos de Aplicación y Características de las Fibras Ópticas

USO DE FIBRA EN 1980



USO DE FIBRA OPTICA EN 1985

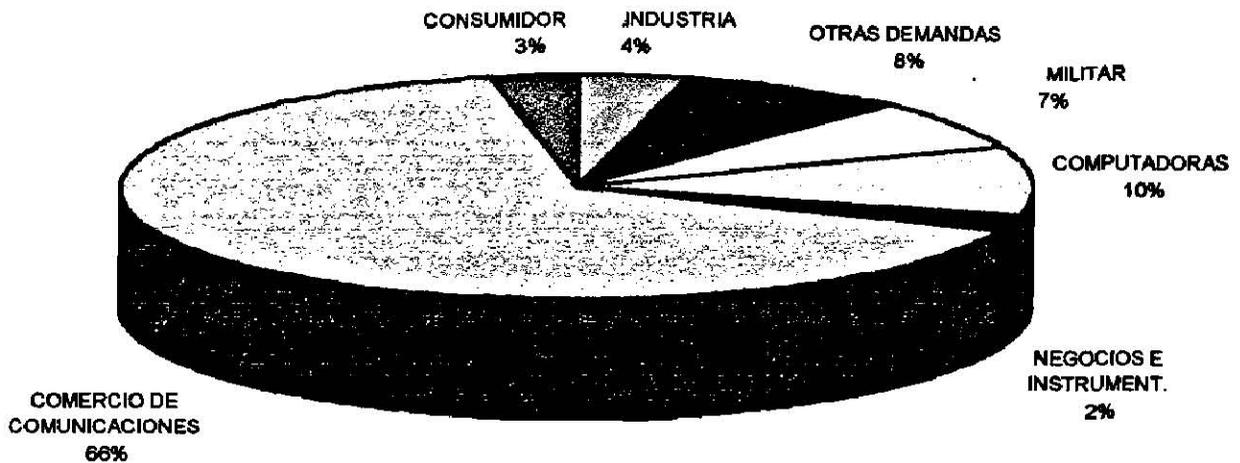


figura 2.3 Uso de las Fibras Opticas en los Ochentas.

USO DE LA FIBRA OPTICA EN 1990

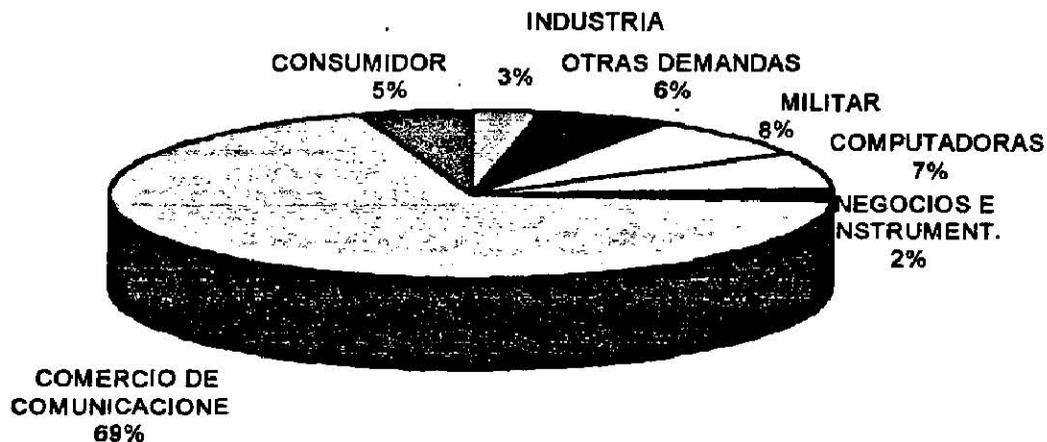


figura 2.4 Uso de la Fibra Optica en los Noventas

CONSTRUCCION

Para la fabricación de la fibra óptica, deben utilizarse materiales que cumplan con las características mecánicas y ópticas deseadas en la fibra. Dicho material debe satisfacer los siguientes requisitos:

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

Para la fabricación de las fibras ópticas de vidrio se utilizan básicamente dos técnicas:

- El proceso de deposición de vapores,**
- El método de fusión directa**

PROCESO DE DEPOSICION DE VAPORES

Este proceso tiene su aplicación en la industria de los semiconductores y del vidrio, se aplica por la pureza y limpieza que logran.

La deposición de vapores consiste en generar vapores de óxido de metales; estos vapores al ser calentados por un quemador de hidrógeno forman un polvo fino de cuarzo dopado. Podemos mencionar una clasificación de dichos métodos:

- 1. Método de deposición modificada de vapores químicos.**
- 2. Deposición externa de vapores químicos.**

METODO DE FUSION DIRECTA O DE DOBLE CRISOL

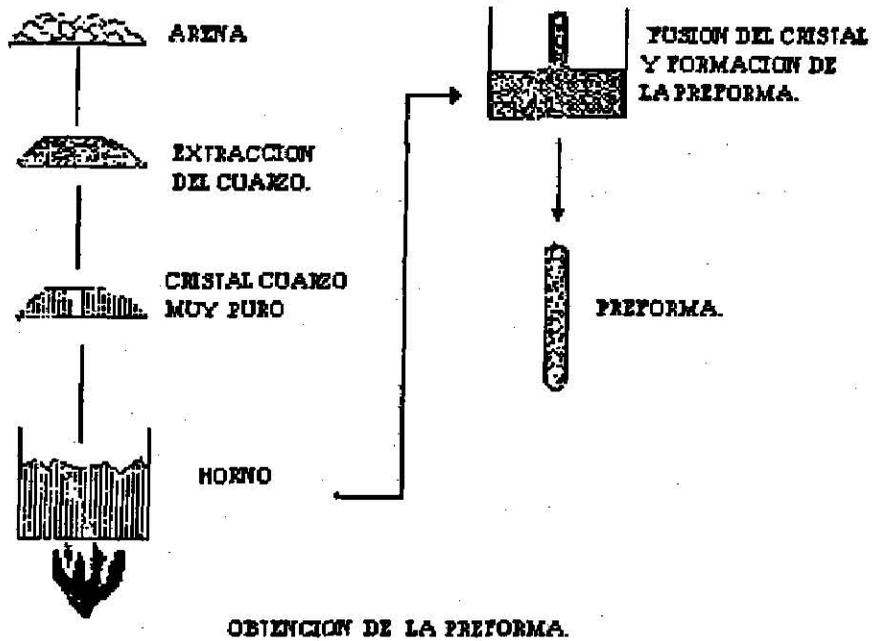
Este método sigue los procedimientos tradicionales de elaboración del vidrio, en los cuales la fibra óptica es hecha fundiendo directamente los componentes del vidrio.

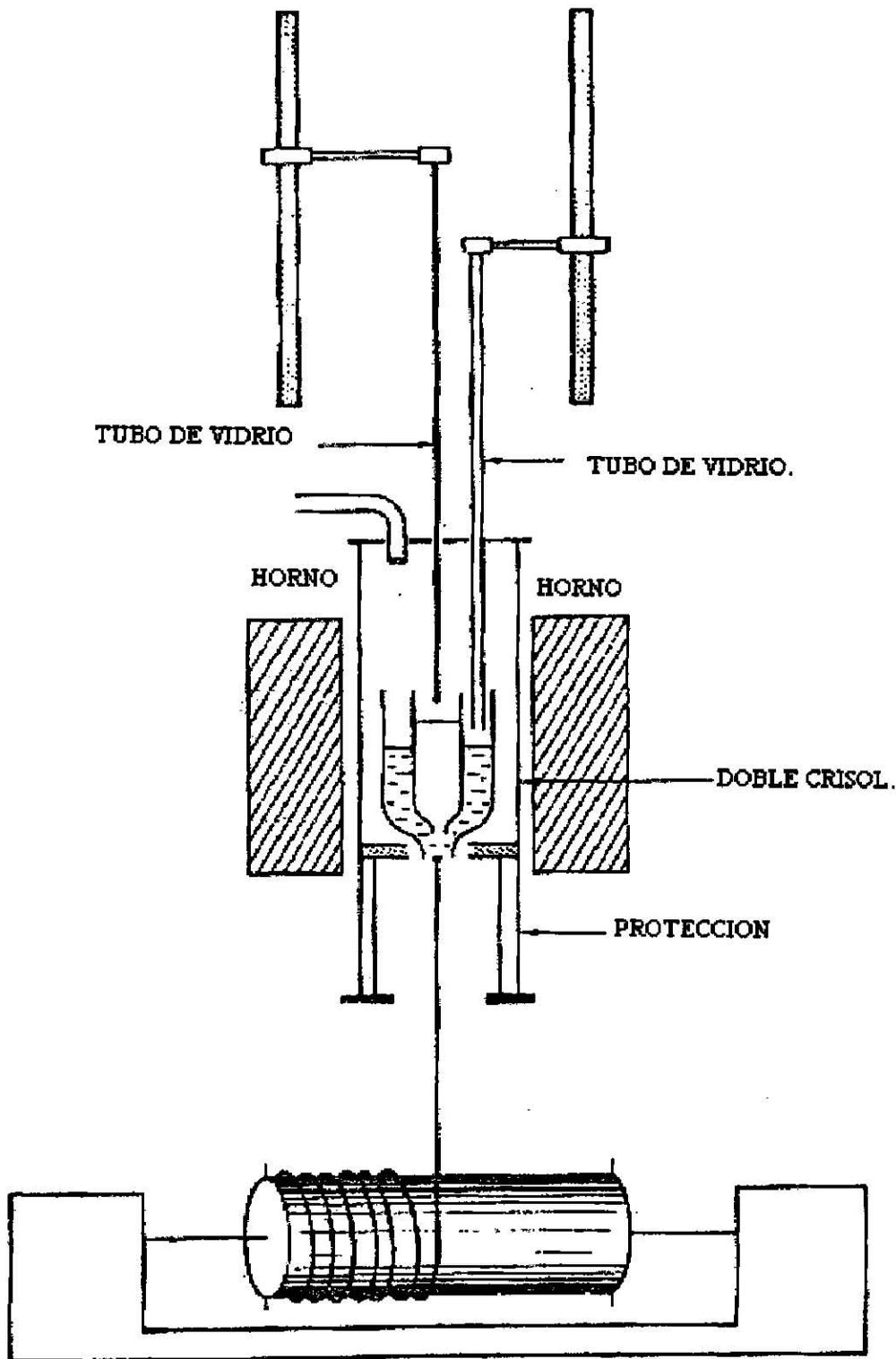
En el método de doble crisol, las varillas de vidrio para los materiales que forman el núcleo y revestimiento se elaboran por separado. Primero se procede con la mezcla de polvos de vidrio purificado, los cuales son fundidos en un crisol y agitados hasta formar una mezcla homogénea. Una varilla de alimentación se forma de una varilla semilla que se incorpora por inmersión al vidrio fundido y después se saca lentamente a través de un anillo enfriador. El vidrio sale después de la varilla semilla solidificándose para tomar una forma cilíndrica de 5 a 10 mm de diámetro y algunos metros de largo.

Para obtener fibras de índice gradual se desplaza la boquilla del crisol externo y así el vidrio del núcleo entra en contacto con el vidrio del revestimiento un poco antes de que se llegue al final de la boquilla del revestimiento desde donde se estira la fibra.

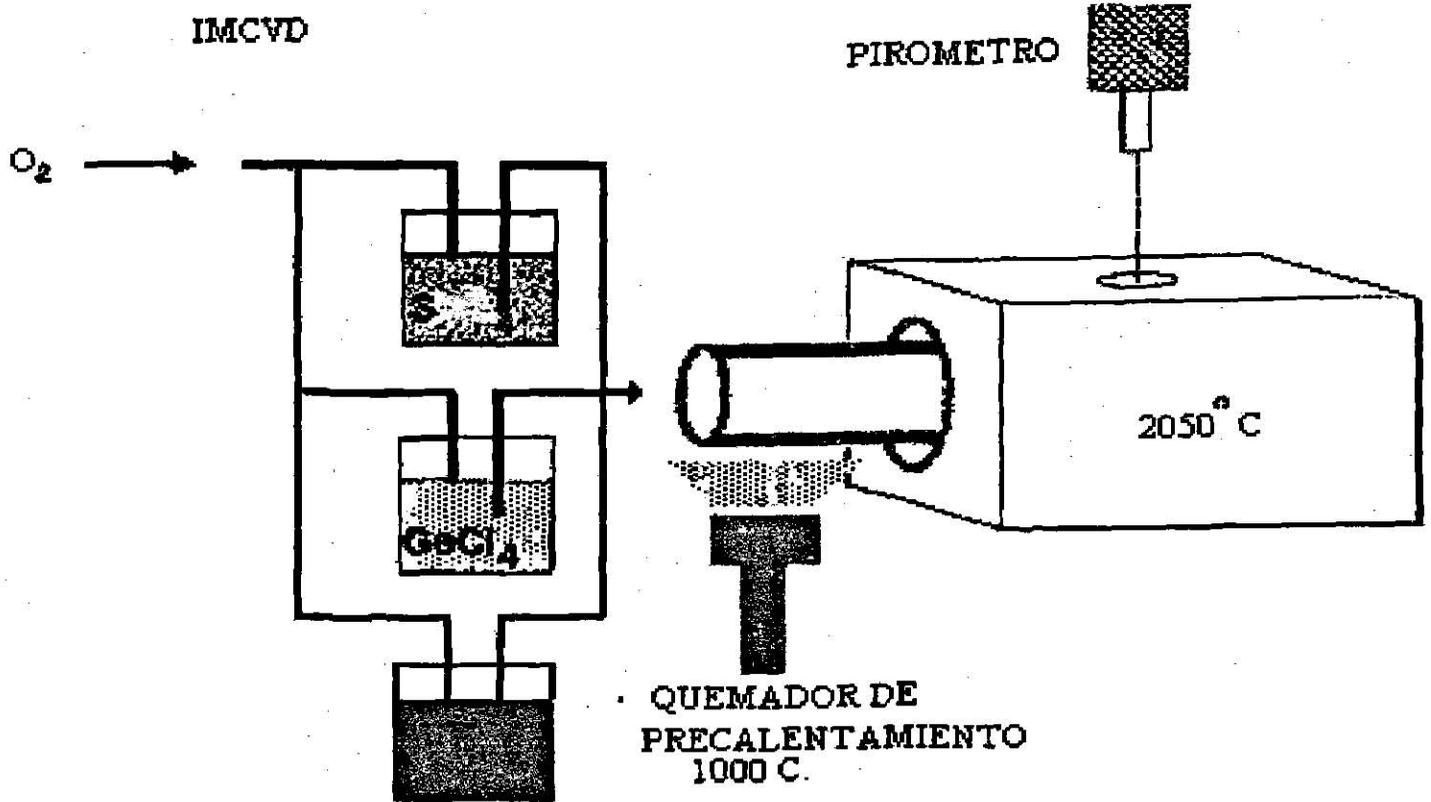
Por último la fibra pasa a la cubierta de la cubierta primaria y a su almacenado. Su producción alcanza varios cientos de metros por minuto.

Las siguientes figuras nos muestran los métodos de fabricación de la fibra óptica más comunes.





METODO DEL DOBLE CRISOL DE K.J. BEALES



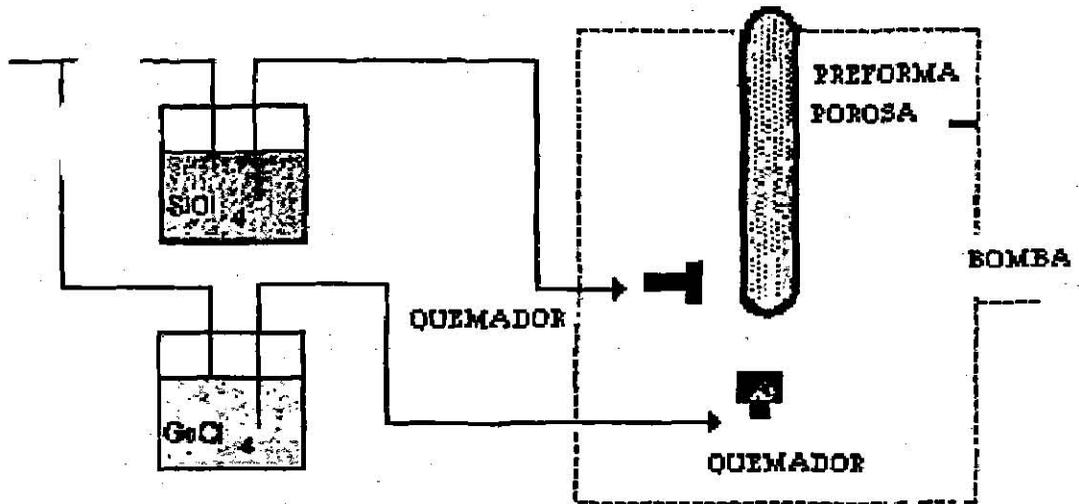
Reposición de vapores Químicos por microondas.

Desarrollo	Ericsson.
Temperatura Aplicada.	2050 grados.
Temperatura de Proceso.	1000 grados.
Razón de deposición.	0.5 - 2.5 gm/min
Número de Capas aplicadas.	100
Atenuación.	<< 1 db/km
Longitud de la Preforma	70 cm
Diámetro de la Preforma.	Variable.
Longitud de Fibra Producida	hasta 50 km.
Tipo de Fibra Producida.	Mono y Multimodo.

**Baja Contaminación
Calentamiento
homogéneo**

**Proceso Discontinuo
Requiere Tube de
Cuarzo.
Preforma con orificio.**

VAD

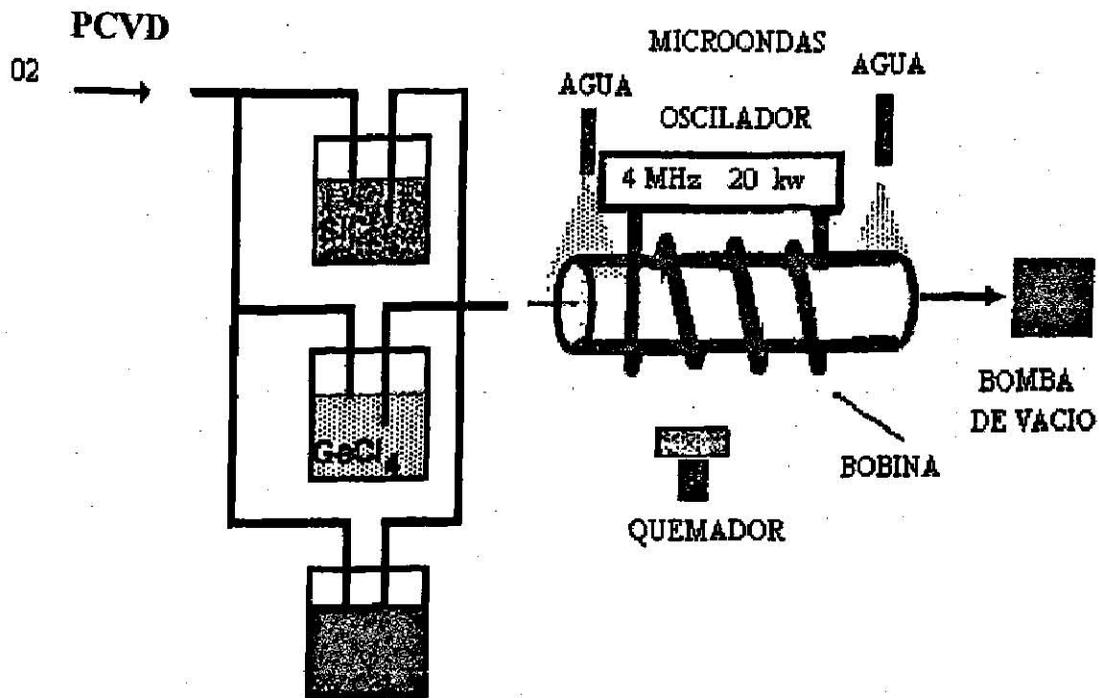


Método de Deposición axial de vapores químicos

Desarrollo	NTT
Temperatura Aplicada	1600 grados
Temperatura de proceso	1400 grados.
Razón de deposición.	3.8 gm/min
Número de capas aplicadas.	20 - 40 capas.
Atenuación.	< 1 db /km.
Longitud de la Preforma	Ilimitada.
Diámetros de la preforma .	Ilimitado.
Longitud de Fibra Producida.	Ilimitada.
Tipo de Fibra Producida.	Mono y Multimodo.

Proceso continuo
Preforma sin orificio
Bajo índice OH
No requiere Tubo
Razón de Deposición constante

Dificultad de Control PIR
Variaciones en Densidad del tizno.
Dificultad en Control de circularidad.

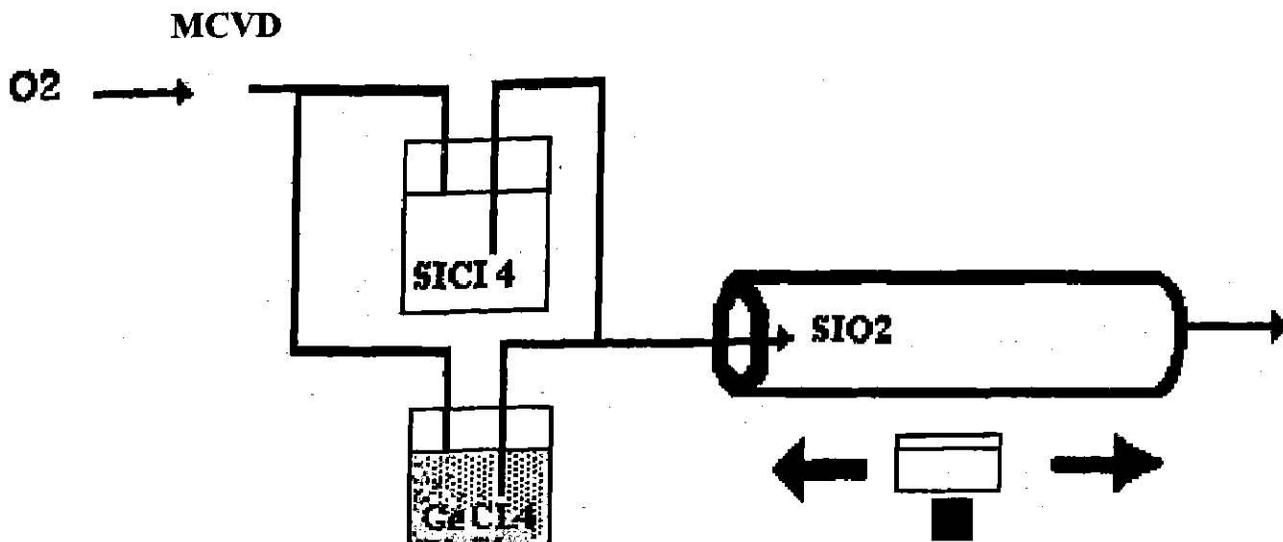


Método de Deposición de vapores por plasma de radio frecuencia

Desarrollo	Phillips
Temperatura Aplicada	2000 grados
Temperatura de proceso	1000 grados
Razón de deposición.	6 gm/min
Número de capas aplicadas.	1000.
Atenuación.	<< 1 dB/km
Longitud de la Preforma	70 cm
Diámetros de la preforma .	60 cm
Longitud de Fibra Producida.	50 km.
Tipo de Fibra Producida.	Mono y Multimodo.

Proceso discontinuo
Requiere tubo de cuarzo
Preforma Limitada.
Preforma con orificio.
Proceso costoso.

Baja contaminación
Alta eficiencia de deposición

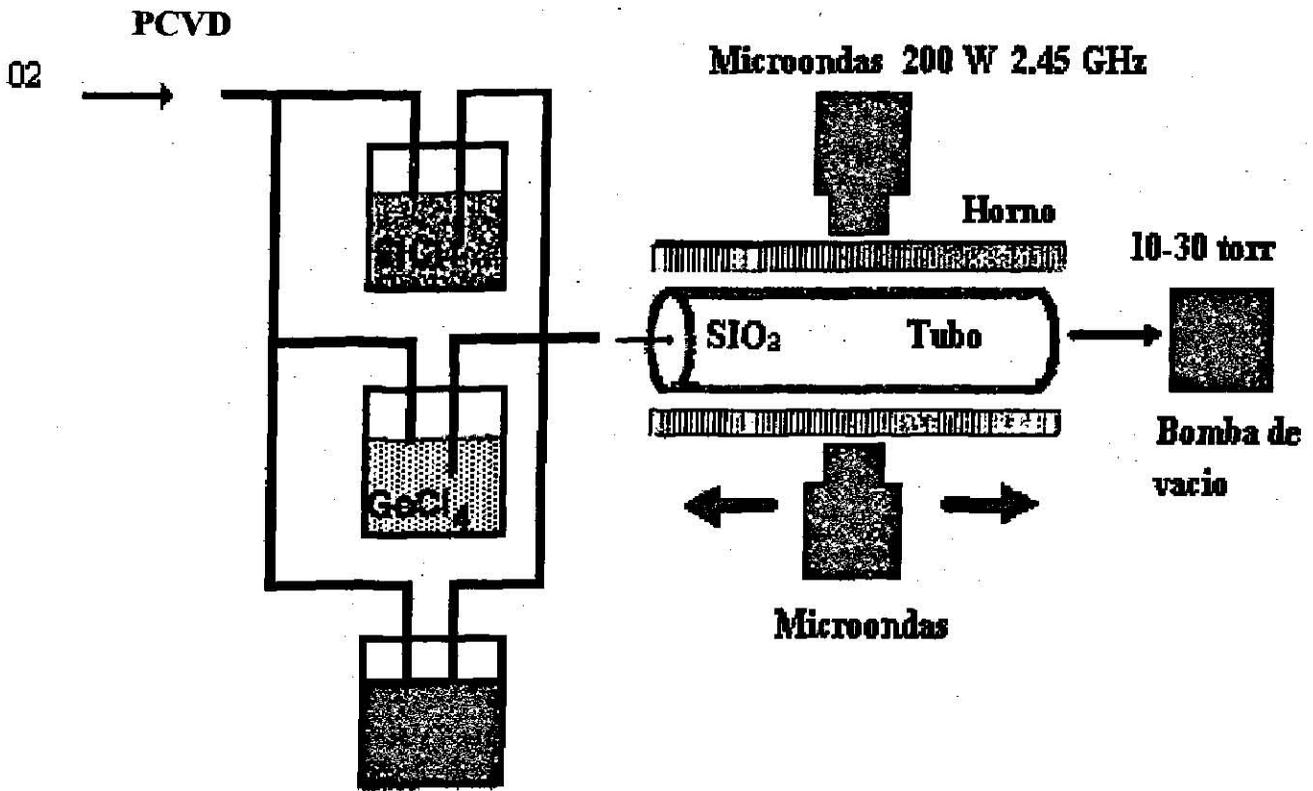


Deposición modificada de vapores químicos

Desarrollo	Bell laboratories
Temperatura Aplicada	1600 grados
Temperatura de proceso	1900 grados
Razón de deposición.	0.5-2.9 gm/min
Número de capas aplicadas.	50-100.
Atenuación.	< 1 dB/km
Longitud de la Preforma	60 cm
Diámetros de la preforma .	15 cm
Longitud de Fibra Producida.	8 km.
Típe de Fibra Producida.	Monoe y Multimodo.

Baja contaminación.
Elimina OH por barrera
Flexible, versátil,
Fácil de instalar
Fácil control sobre el índice de refracción.

Proceso Discontinuo
Requiere de Tubo de Cuarzo
Baja eficiencia de Deposición
Preforma de Tamaño limitado
Preforma con orificio central.

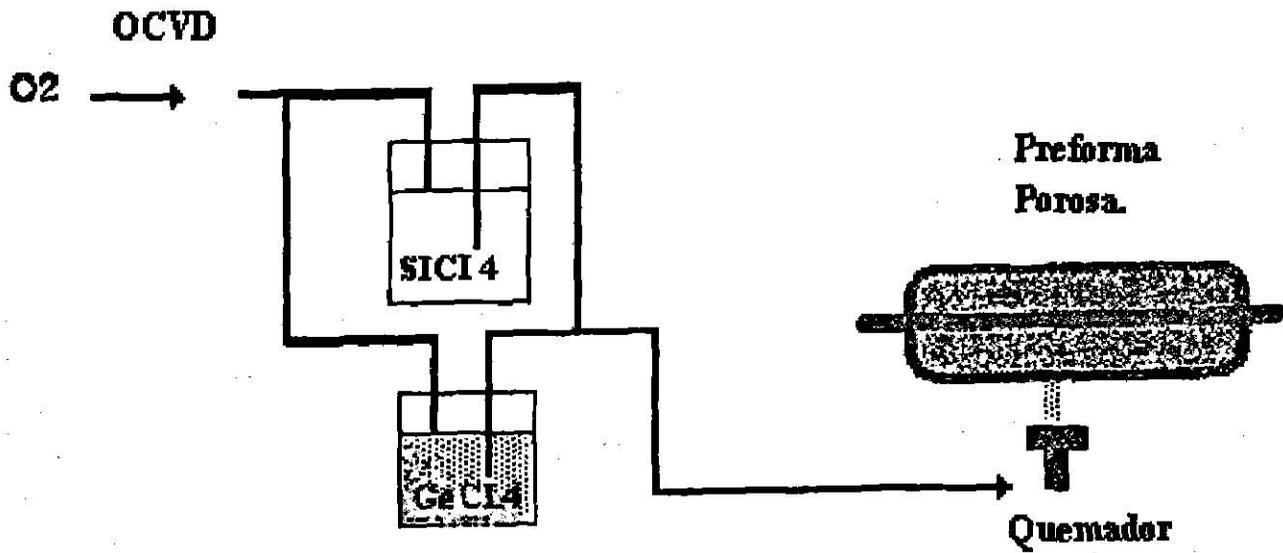


Método de Deposición de vapores por plasma

Desarrollo	Philips
Temperatura Aplicada	2000 grados
Temperatura de proceso	1000 grados
Razón de deposición.	0.5-2.5 gm/min
Número de capas aplicadas.	2000.
Atenuación.	<< 1 dB/km
Longitud de la Preforma	70 cm
Diámetros de la preforma .	20 cm
Longitud de Fibra Producida.	10 km.
Tipo de Fibra Producida.	Mono y Multimodo.

**Baja contaminación
Alta eficiencia de
Deposición**

**Proceso Discontinuo
Requiere Tube de Cuarzo
Preforma Limitada
Preforma con orificio
Proceso costoso.**



Método de Deposición externa de vapores químicos.

Desarrollo	Corning Glass
Temperatura Aplicada	1500 grados
Temperatura de proceso	1800 grados
Razón de deposición.	2.5-5.0 gm/min
Número de capas aplicadas.	200.
Atenuación.	< 1 dB/km
Longitud de la Preforma	Limitado
Diámetros de la preforma .	No tiene límite.
Longitud de Fibra Producida.	50 km.
Tipo de Fibra Producida.	Mono y Multimodo.

Control sobre PIR
No se requiere tubo.
Preformas grandes.
Control sobre dimensiones .

Proceso Discontinuo
Alta A.N
Control complejo de Deposición.
Fibras con fracturas per shock

CAPITULO III

CARACTERISTICAS TIPOS DE FIBRAS OPTICAS

Las fibras ópticas son de dos tipos, monomodo y multimodo dependiendo de la forma de propagación que presenten.

MONOMODO

Las fibras de tipo monomodo tienen un solo modo de propagación que permite que la luz viaje a todo lo largo del núcleo evitando la dispersión modal.



Fig. 3.1 Fibra Monomodo

MULTIMODO

Las fibras de todo tipo multimodo pueden ser fibras de índice escalonado y fibras de índice gradual. A continuación explicaremos cada una.

FIBRAS DE INDICE ESCALONADO

El núcleo de estas fibras están constituido de un índice de refracción constante, rodeado por un revestimiento. El índice de revestimiento siempre es menor que el del núcleo con el que hace frontera; en este caso sí ocurre dispersión modal donde a es el radio del núcleo.

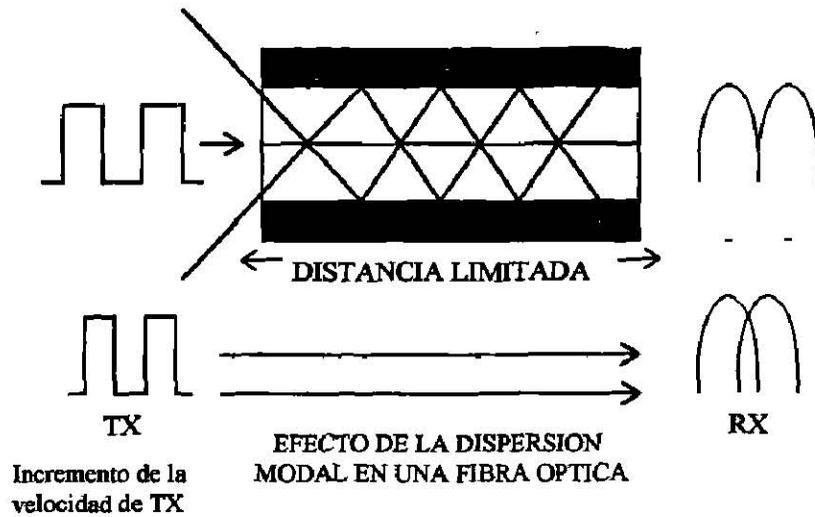


Fig.3.2 Fibra Multimodo de Índice Escalonado

Dispersión Modal

La dispersión modal en una fibra óptica es una característica despreciable, la cual esta en función del diámetro del núcleo, frecuencia y la longitud de la fibra óptica. La dispersión modal es una característica despreciable en las fibras ópticas.

Dispersión Cromática

Es el retarde en tiempo que experimenta el haz de luz a través de la fibra óptica monomodo.

2. FIBRAS DE INDICE GRADUAL

En esta fibra el índice de refracción del núcleo va decreciendo gradualmente en función del radio, hasta llegar a el revestimiento.

Debido a que el índice de refracción del núcleo decrece, los rayos de la luz se van flexionando gradualmente regresando al centro del núcleo como se observa en la figura 3.3 donde A es el radio del núcleo.

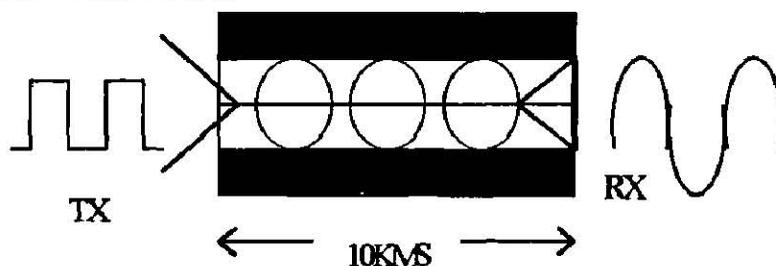


Fig. 3.3 Fibra Multimodo de Índice Gradual

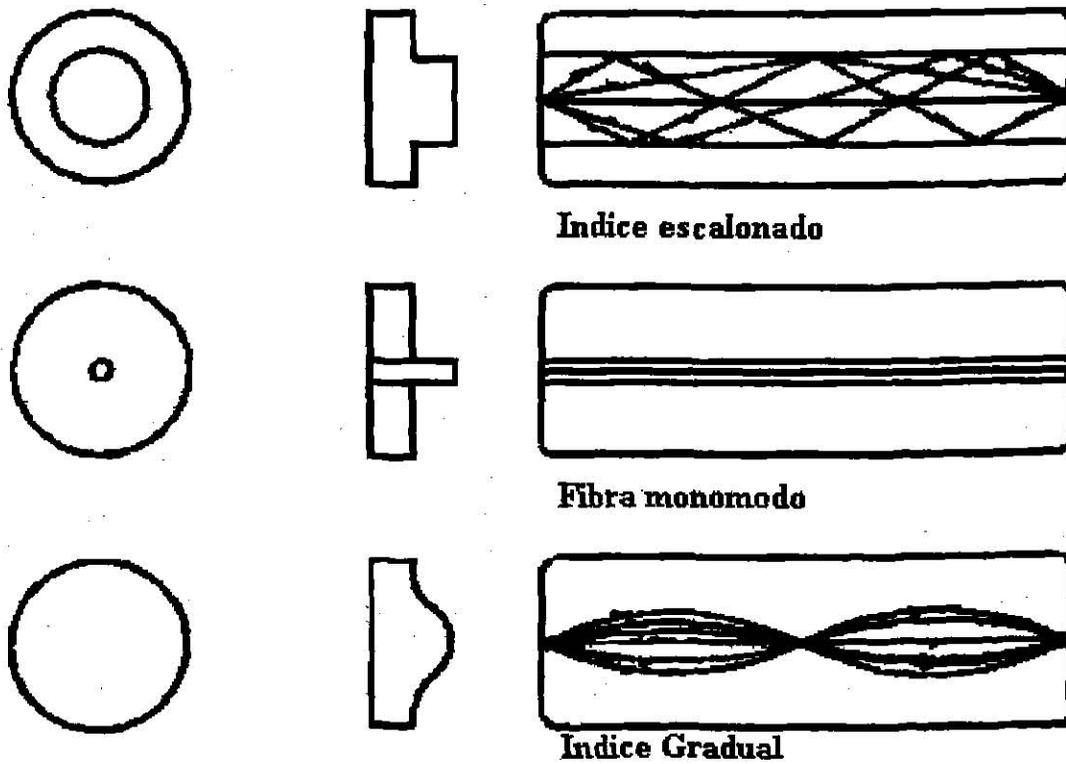


Fig. 3.4 Tipos de Fibras Ópticas

CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN

La capacidad de transmisión de información de distintos sistemas la vemos en la siguiente tabla.

TIPO DE CABLE	CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN	CONVERSIONES TELEFONICAS
Par sencillo	1 MHz-km	300
Ceaxial	100 Mhz-km	30,000
Fibra óptica	100 GHz-km	30,000,000

Tabla 3.1 Capacidad de Transmisión de distintos Medios de Comunicación.

DIMENSIONES

La siguiente figura nos muestra una fibra sencilla con y sin buffer apretado; así como un tabla donde se muestran los distintos tamaños, apertura numérica, anchos de banda y pérdidas.

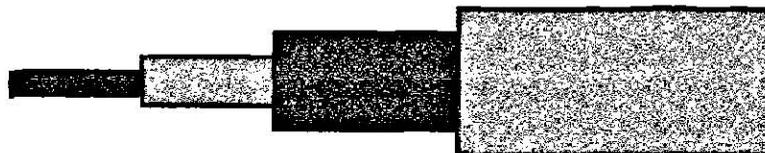
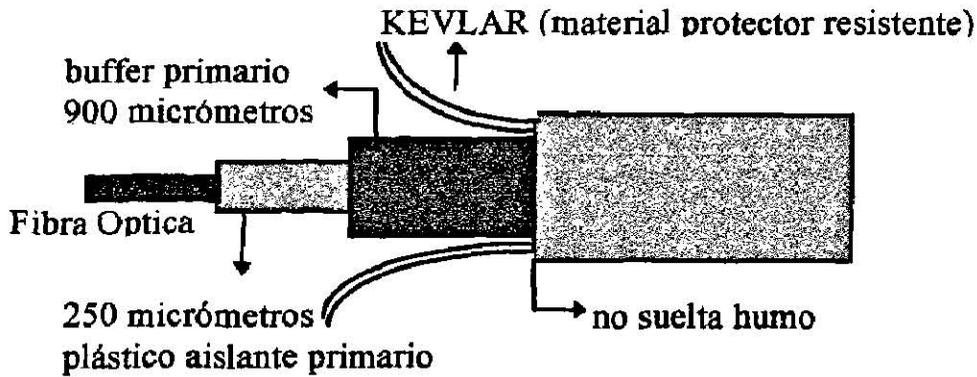


Fig. 3.5 Fibra Óptica con buffer y sin buffer apretado.

TAMAÑO (Núcleo/Capa) DIÁMETRO	NA	ATENUACIÓN (dB/Km.)		ANCHO DE BANDA MHz-Km	
		830 nm	1300 nm	830 nm	1300 nm
100/140 μm	.29	6	3	100-400	100-400
multimodo < 62.5/125 μm	.275	4	2	150-600	200-600
50/125 μm	.20	3	1.5	100-800	400-1500
monomodo 10/125 μm	.19	.5	.5	100-1200	400-3000

Tabla 3.2 Relación entre tamaño, atenuación y ancho de banda de distintas fibras ópticas.

NATURALEZA ONDULATORIA DE LA LUZ

Gracias a las muchas y valiosas contribuciones al estudio de la naturaleza de la luz, se ha demostrado que se trata de un movimiento ondulatorio transversal de dos campos vectoriales, uno eléctrico y otro magnético, variando con el tiempo.

Entonces aceptaremos que la luz es una onda que se propaga en el vacío con una velocidad dada por:

$$C \approx 3 \times 10^8 \text{ m/seg.}$$

La velocidad de propagación depende del medio en el cual se propague la onda.

Entonces debido a esto cuando una onda de luz cambie de medio su velocidad de propagación se altera.

PROPAGACIÓN DE LA LUZ

Para estudiar la propagación de la luz en medios transparentes se describen dos fenómenos:

- REFLEXION
- REFRACCION

La reflexión: es el cambio de trayectoria que experimenta un haz de luz al incidir en una superficie reflectora. (ver figura).

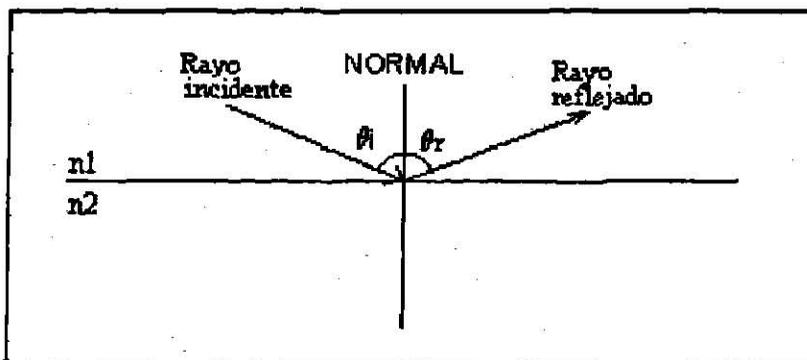


Fig. 3.6 Reflexión de la Luz.

La refracción es el cambio de dirección que experimenta un haz al cambiar de un medio de propagación a otro.

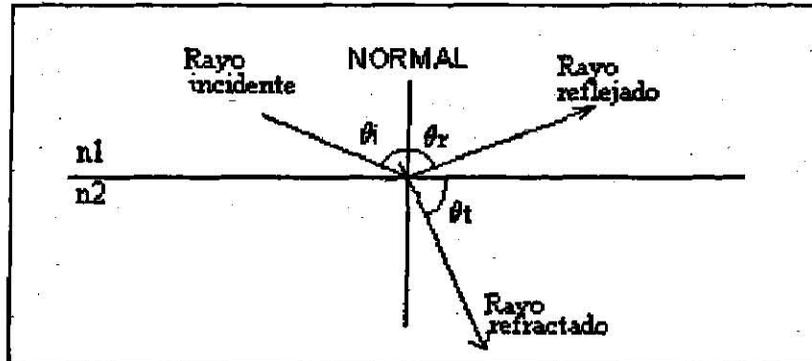


Fig. 3.7 Refracción de la Luz.

LEYES DE LA REFLEXIÓN

- 1.- El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado, están en el mismo plano.
- 2.- El ángulo de incidencia, θ_i , es igual al ángulo de reflexión θ_r .

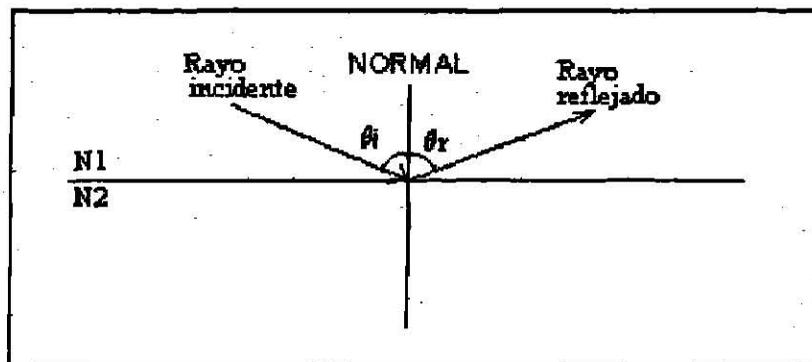


Fig. 3.8 Reflexión de la Luz.

LEYES DE LA REFRACCIÓN

1.- El rayo incidente, la normal, el rayo reflejado y el rayo refractado están en el mismo plano.

2.- El ángulo de incidencia, θ_i , y el ángulo de refracción, θ_t , están relacionados por:

$$n_1 \sin(\theta_i) = n_2 \sin(\theta_t) \quad \text{Ecuación conocida como Ley de SNELL}$$

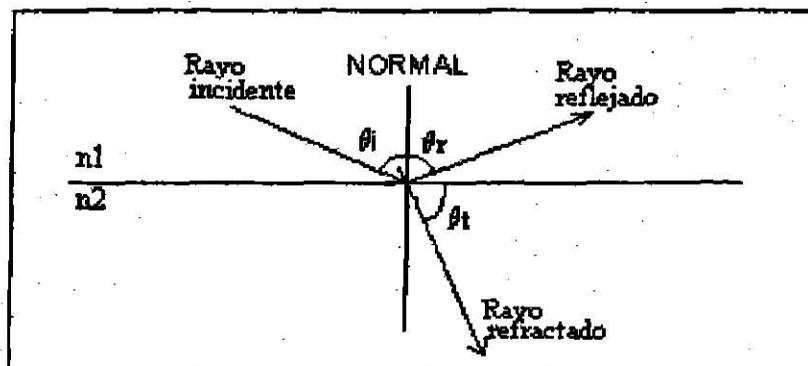


Fig. 3.9 Reflexión de la Luz.

Cuando hay un haz de luz que pasa a propagarse de un medio ópticamente menos denso (de menor índice de refracción), a otro, más denso (de mayor índice de refracción) entonces, el rayo refractado, se acerca a la normal. Esto se muestra en la siguiente figura:

Si $n_1 < n_2$, entonces $\theta_i > \theta_t$.

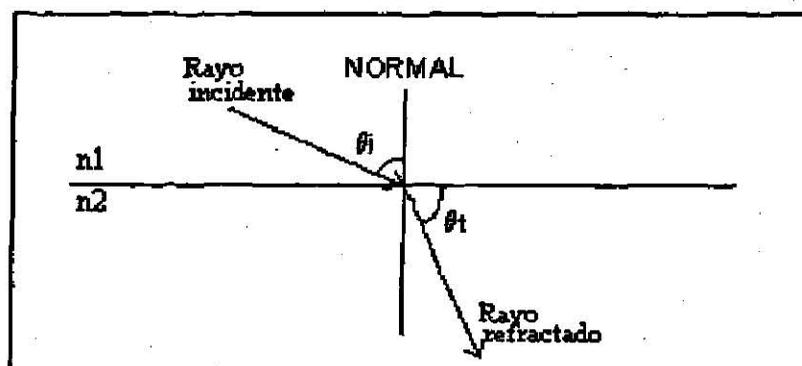


Fig. 3.10 Efecto de la refracción de la luz en medios menos densos.

Cuando un haz de luz se propaga de un medio ópticamente más denso, a otro menos denso, el rayo refractado se aleja de la normal, esto se muestra en la siguiente figura.

Si $n_1 > n_2$, entonces $\theta_i > \theta_t$

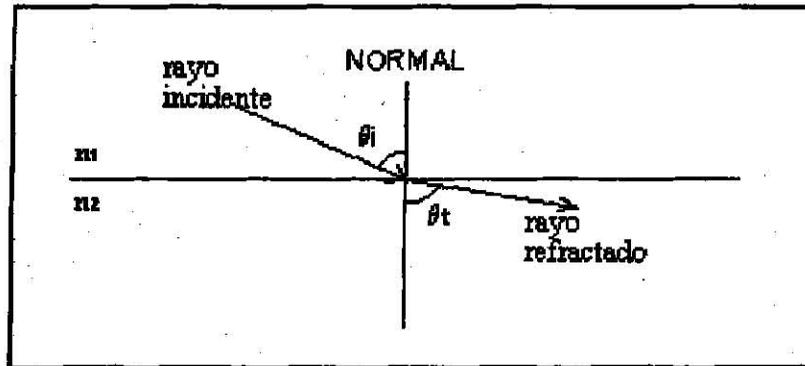


Fig. 3.11 Efecto de la refracción de la luz en medios más densos.

Para un haz de luz que viaja con un medio de índice de refracción mayor a otro con índice de refracción menor, existe un ángulo crítico, para el cual la luz no se transmite al otro medio sino que se propaga por la interface.

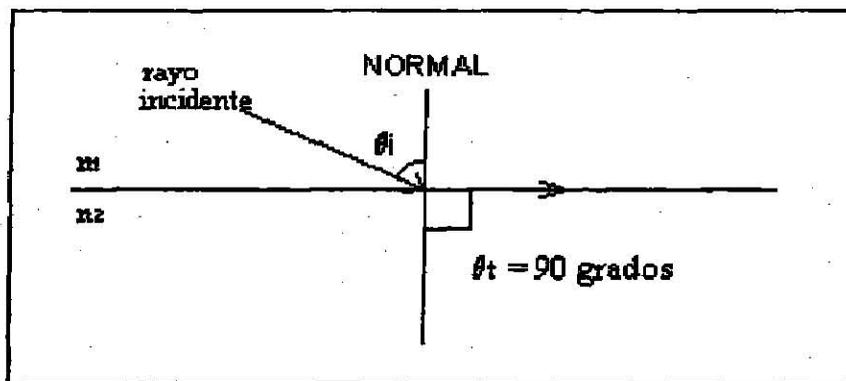


Fig.3.12 Angulo Crítico.

Para obtener este ángulo crítico, hacemos que:

$\theta_i = \theta_c$

entonces

$\theta_t = 90 \text{ grados}$

y por la ley de Snell,

$$\underline{n_1 \text{ sen } (\theta_c) = n_2 \text{ sen } (90)}$$

como $\theta_c = 90$ grados, entonces

$$\underline{n_1 \text{ sen } (\theta_c) = n_2 \text{ sen } (90)}$$

$$\underline{n_1 \text{ sen } (\theta_c) = n_2}$$

por lo tanto:

$$\underline{\text{sen } (\theta_c) = n_2/n_1.}$$

Siempre que $n_1 > n_2$, se cumple que:

*** Para cualquier ángulo $\theta_i < \theta_c$, la luz se propaga al otro medio.**

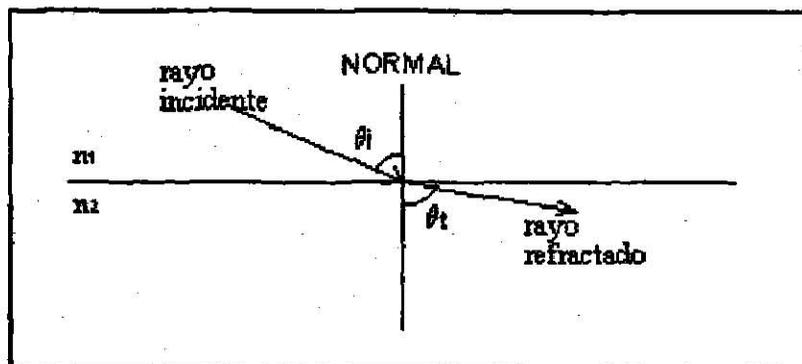


Fig. 3.13 Propagación de la luz en distintos medios.

*** Para cualquier ángulo $\theta_i > \theta_c$, la luz se refleja totalmente.**

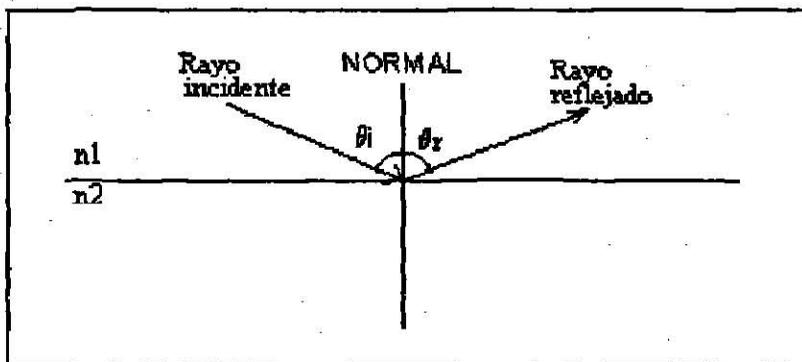


Fig. 3.14 Principio básico de la propagación dentro de la fibra óptica.

La siguiente figura nos muestra el fenómeno de refracción en dos medios de distinto índice de refracción.

Rayo incidente normal

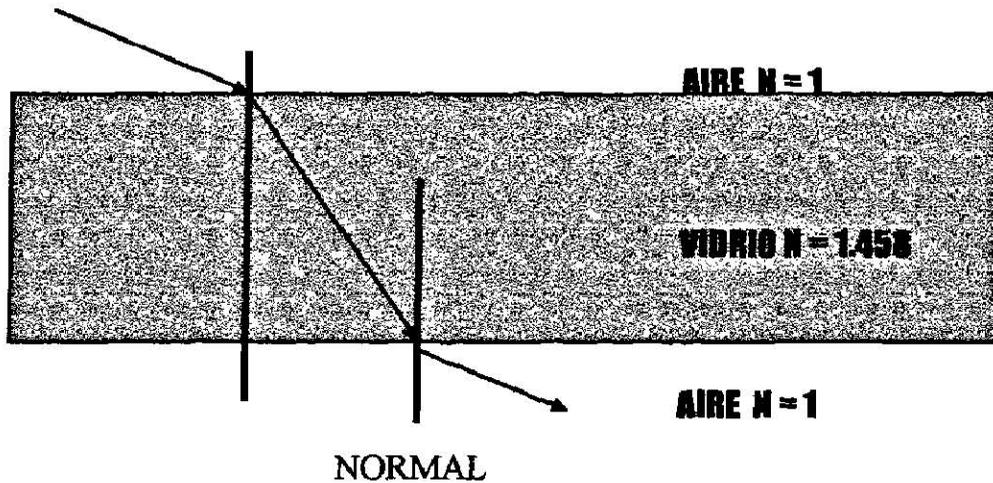


Fig.3.15 Efecto de la propagación de la luz en distintos medios.

INDICE DE REFRACCIÓN (N)

Una de las características de cualquier material ópticamente transparente es la velocidad con la cual viaja la luz en dicho material; esto se caracteriza por una constante matemática llamada índice de refracción.

El índice de refracción es la razón de la velocidad de la luz en el vacío (c) para la velocidad de la luz en ese material (v). Expresado en forma matemática nos queda:

$$N = \frac{\text{Velocidad de la luz en el vacío (c)}}{\text{Velocidad de la luz en otro medio}} \quad ; N = C/V$$

Medio	N
Aire	1.000294
Helio	1.000036
Hidrógeno	1.000132
Agua	1.333
Alcohol	1.361
Diamante	2.419
Ámbar	1.55
Sílice Fundida	1.458

Tabla 3.3 Relación entre medio e índice de refracción de distintos medios.

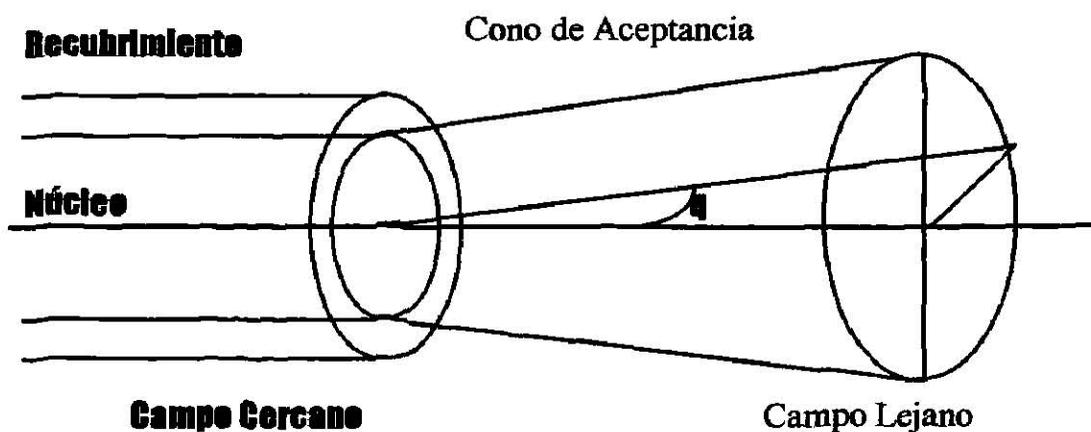
APERTURA NUMÉRICA

La apertura numérica es la medida de la habilidad de aceptación de la luz de la fibra. La luz será aceptada y propagada si entra al núcleo en un ángulo mayor al ángulo crítico.

El ángulo máximo que puede tener se le conoce como máximo ángulo de aceptación, ya que si se excede de este valor, dejará de ocurrir la reflexión total interna y el haz se refractará en el recubrimiento.

Aperturas numéricas muy grandes se relacionan con una alta eficiencia para su acoplamiento, permitiendo solo pérdidas bajas en los empalmes, las conexiones y en la potencia.

La siguiente figura nos muestra la apertura numérica de una fibra óptica.



Apertura Numérica

$$A.P. = \text{sen } \theta$$

Fig. 3.16 Apertura numérica de una fibra óptica.

MODOS DE PROPAGACIÓN

El modo de propagación se refiere en esencia a los caminos ópticos que sigue la luz dentro de la fibra.

El modo de propagación se determina básicamente de acuerdo a la frecuencia, el diámetro del núcleo y la variación del índice de refracción. Sin embargo el tipo de fibra también es otro factor a considerar, en la propagación de las ondas electromagnéticas a través de la fibra.

Designación e Identificación de los modos

La propagación de las ondas de luz están confinadas en el núcleo de la fibra.

Aquellos modos cuyo campo E_z es más fuerte comparado con el campo magnético H_z a lo largo de la dirección de propagación, se les llama modos EH.

Aquellos modos cuyo campo H_z es más fuerte que con los del campo eléctrico E_z a los de la dirección de propagación, se les llama modos HE. Estos modos (EH; HE) tienen seis componentes de campo y no poseen simetría circular.

Dependiendo de la forma en que se propaguen los modos dentro de la fibra óptica son del tipo monomodo y multimodo.

ANCHO DE BANDA

Uno de los parámetros que caracteriza la capacidad de transmisión de la fibra, está basado en el ensanchamiento que experimenta un pulso que se propaga a través de la fibra.

El ancho de banda está definido por la siguiente ecuación:

$$AB = \frac{0.44}{\Delta T} (\text{MHz} \cdot \text{km})$$

Donde ΔT es el ensanchamiento del pulso en nano segundos.

PERDIDAS DE TRANSMISION

La pérdida de transmisión en una fibra óptica es tal vez la más importante de las características de las fibras, ya que ésta determina si la fibra es práctica. Esto dicta el espacio entre los repetidores y el tipo de transmisor óptico a ser utilizado.

Como el haz de luz viaja bajo una fibra óptica, ésta pierde parte de su energía por varias imperfecciones de la fibra. Estas pérdidas (Atenuación) son medidas en decibelios de la fibra (dB/km.) multiplicada por la longitud (Km.) del cable. Obviamente, a mayor atenuación, menor será la luz que alcanza el receptor.

Los resultados primarios de la atenuación son la absorción y la dispersión.

PERDIDAS POR ABSORCIÓN

Comparada al vidrio ordinario, las fibras ópticas son notablemente libres de impurezas. Esto debido a los cuidados de sus procesos de fabricación. Regularmente aunque las impurezas son únicamente unas pocas por un millón, ellas absorben algo de esta luz y la convierte en calor.

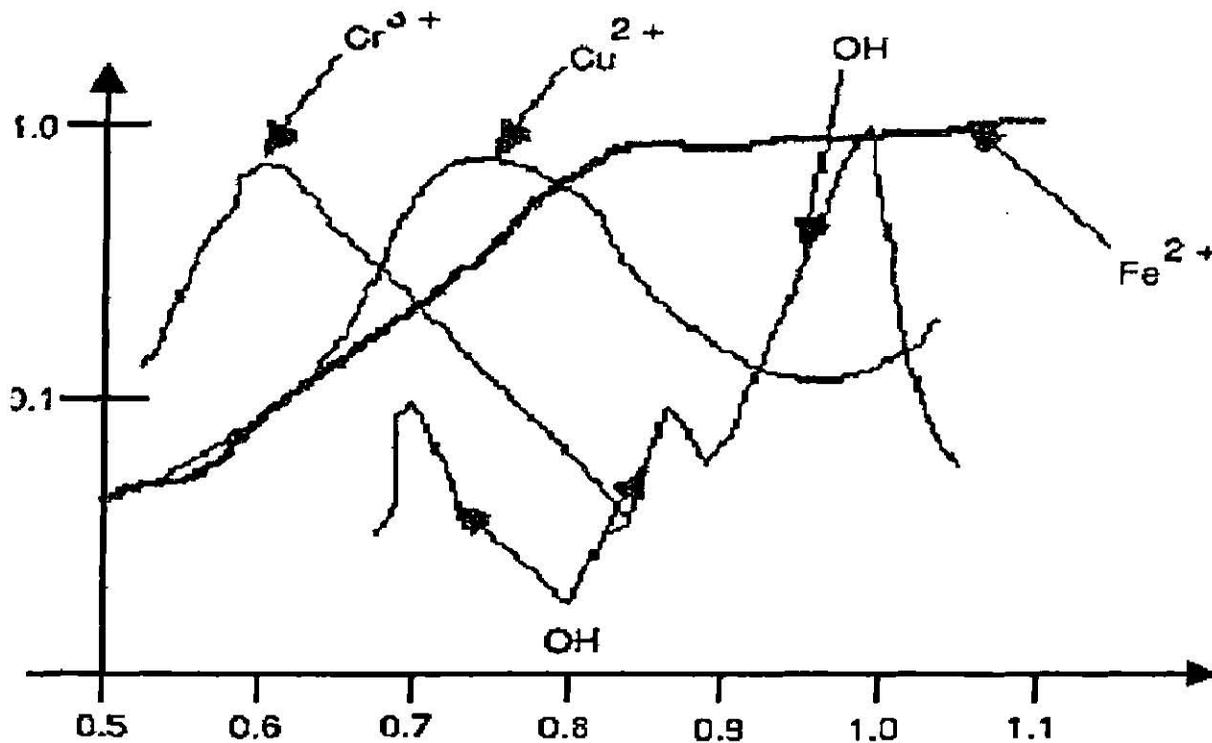


Fig. 3.17 Pérdidas por absorción debido a partículas dentro de la fibra óptica.

PERDIDAS POR DISPERSION

Cualquier cambio en el índice refractivo del material causará alteración en la dirección de los rayos de luz. Esta es la causa básica de la dispersión en el material. Anteriormente se consideraban condiciones ideales.

Esto es, si manteníamos que el núcleo de la fibra tuviera un índice de refracción constante; sin embargo durante la fabricación son inevitables las variaciones en el índice refractivo, estas variaciones dan lugar a alguna dispersión de los rayos de luz.

Este efecto también es conocido como "RALEIGH SCATTERING" y es inversamente proporcional a la longitud de onda.

Esto es, entre más corta sea la longitud de onda, mas grande es el efecto de la dispersión del material.

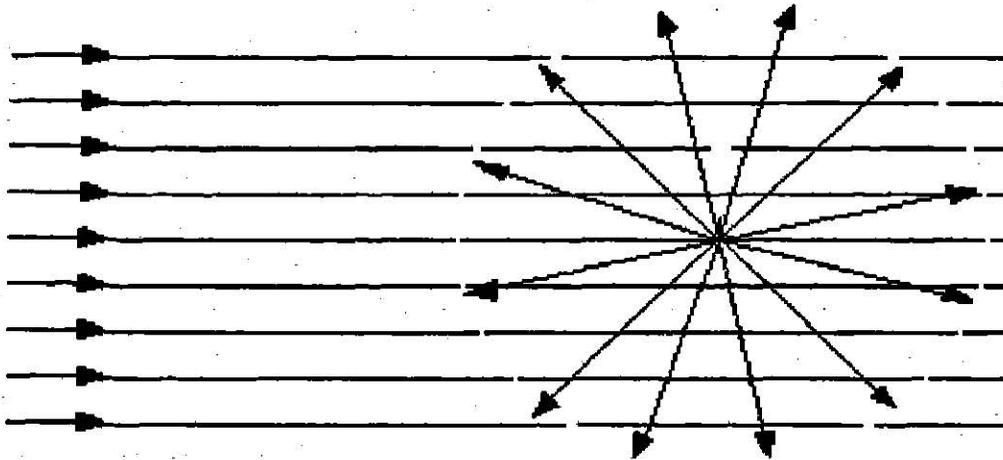


Fig. 3.18 Efecto de dispersión de la luz dentro de la fibra.

PERDIDAS POR RADIACION

Durante la manufactura e instalación del cable de fibra, ocurren en ocasiones muy pequeñas pero marcadas curvas accidentalmente en la fibra. Esta curva aleatoria (distorsión accidental) se muestra en la figura 3.20. La luz radia o escapa en esta microcurva, causando pérdidas en la transmisión. En recientes mejoras en el cable diseñado, estas pérdidas se vuelven poco significativas.

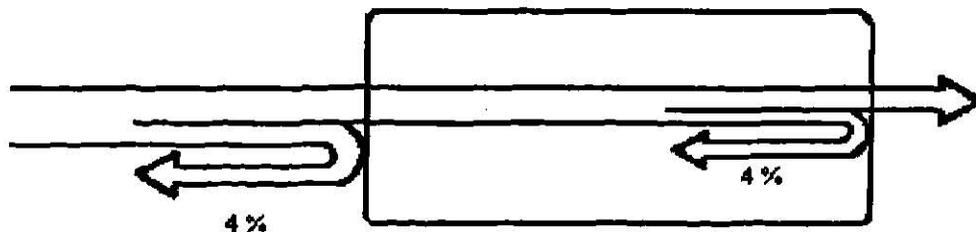


Fig. 3.19 Efecto producido por cambio de la luz en dos medios distintos de índice de refracción (Luz de Tyndall).

SEÑALES DE DISTORSIÓN

Como el pulso de la luz viaja a lo largo de una fibra óptica, ella tiende a volver a agrandarse, frecuentemente a el punto que ella coincidirá otro pulso y manchará la formación, esta dispersión de pulsos de otro. Esta es una forma de señal de distorsión que efectivamente limita la información viajando a la capacidad de un sistema de fibras ópticas.

La dispersión de pulsos es primeramente un resultado de modo y material de dispersión.

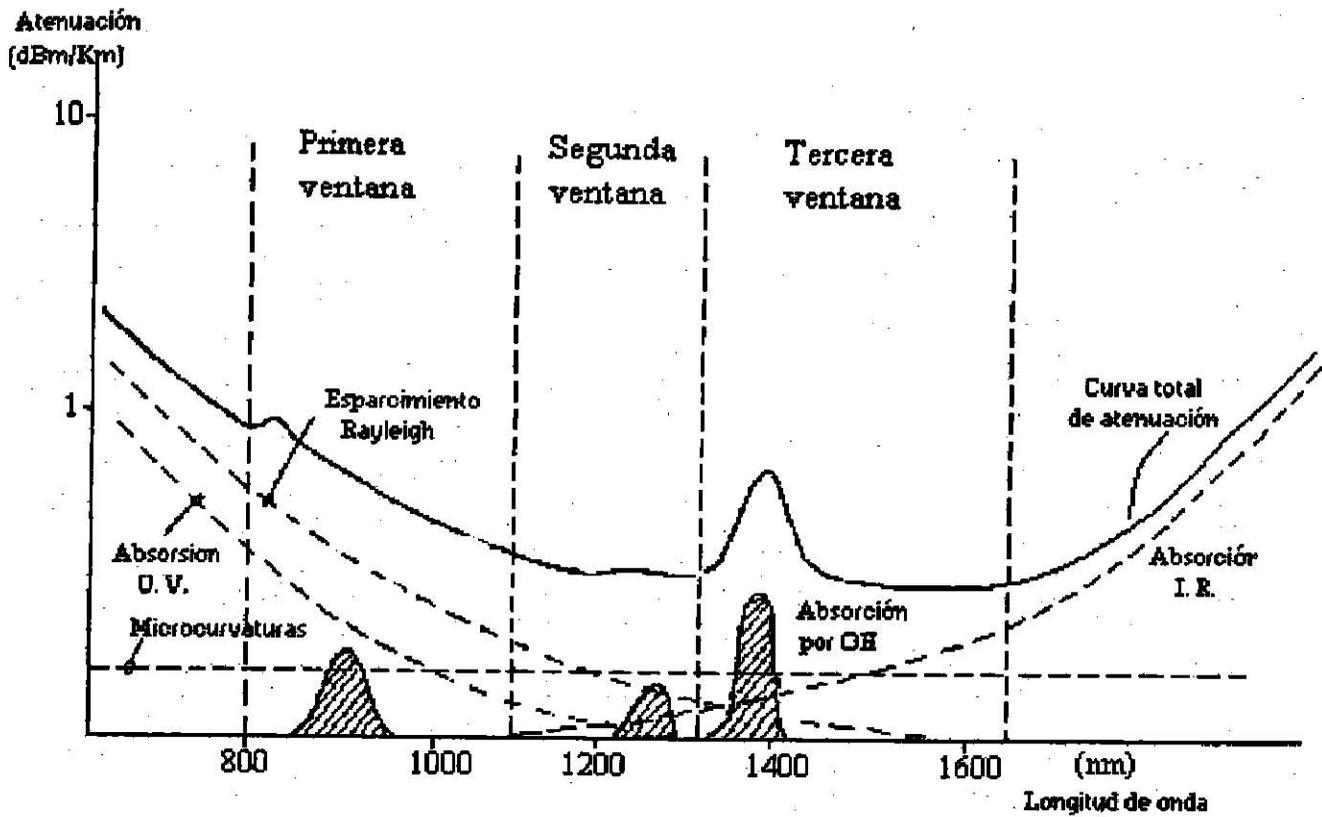


Fig. 3.20 Gráfica de pérdidas de una Fibra Óptica en función de su longitud de onda.

CAPITULO IV

FOTOEMISORES

Los fotoemisores que se utilizan en un sistema de comunicación son el LED (diodo emisor de luz), y el diodo láser de inyección.

El LED se clasifica en :

- Diodo Emisor de superficie
- Diodo Emisor lateral

DIODO EMISOR DE SUPERFICIE (SLED)

El diseño de este tipo de LED se construye con una área de emisión pequeña ($15\mu\text{m}$ a $100\mu\text{m}$ de diámetro), sumergido en un material semiconductor con el fin de disipar el calor eficientemente.

La separación de la superficie emisora es angosta para minimizar pérdidas por absorción. En este tipo de diodo la radiación es constante en todas direcciones, esencialmente isotrópica y con una distribución de emisión de 120 grados.

DIODO EMISOR LATERAL (LELD)

Este tipo de diodo utiliza una doble heterounión para confinar a los fotones en una capa angosta; la mayor parte de la radiación es por la capa reflectora, lo cual hace que la radiación efectiva sea muy alta.

Este tipo de diodo se utiliza con mucha eficiencia en una fibra con una apertura numérica pequeña comparada con la superficie emisora.

Una característica de los LED's es su salida espectral, la salida espectral se considera un proceso aleatorio Gaussiano. La siguiente gráfica muestra la intensidad relativa en función de la longitud de onda.

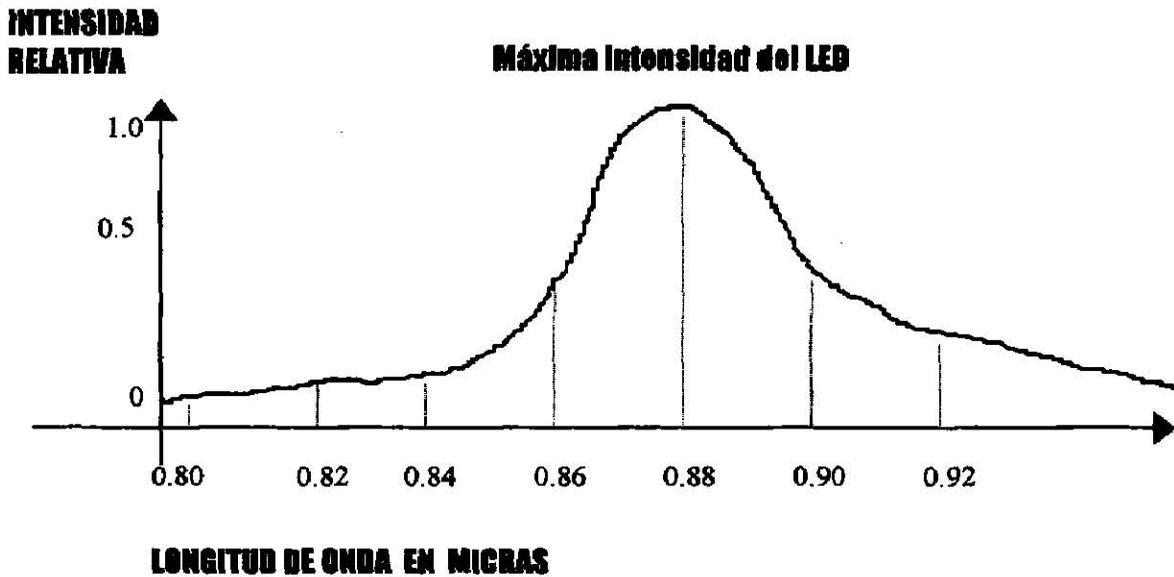


Fig. 4.1 Intensidad máxima del LED.

DIODO LASER DE INYECCIÓN

El principio básico para la emisión de un diodo láser es la emisión estimulada. La amplificación de la luz se produce cuando un fotón incidente estimula la emisión de un segundo fotón, con una energía casi igual a la energía de separación entre los dos niveles electrónicos.

En las siguientes figuras se muestran los tipos de fotoemisores (LED's y LASER) así como la potencia que generan.

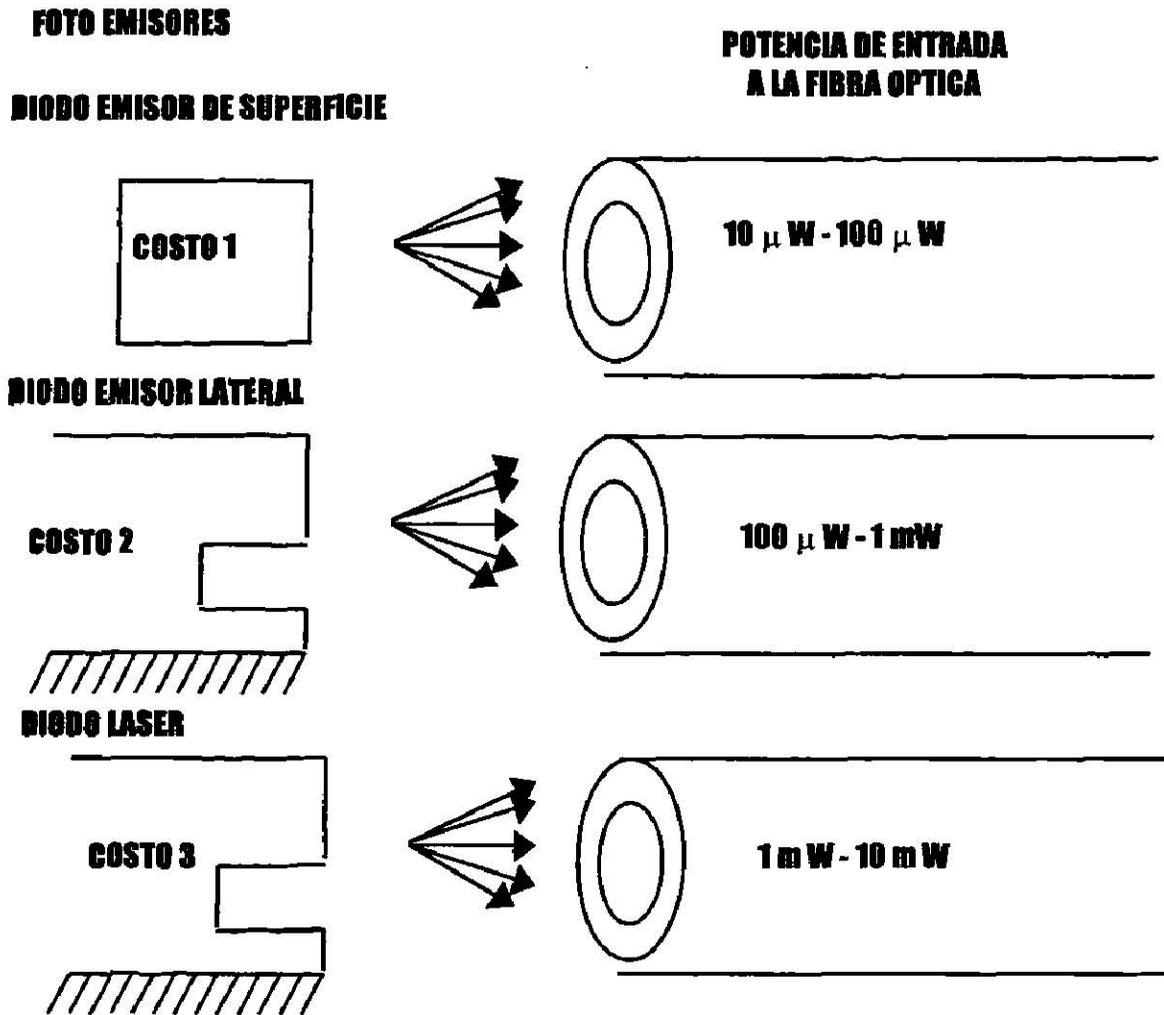


Fig. 4.2 Relación de potencia emitida y costo para los distintos emisores.

USOS DEL LASER EN LA FIBRA OPTICA

Una definición comúnmente aceptada para el láser es: "Dispositivo que produce radiación óptica basada en una inversión de población para proporcionar luz amplificada por emisión de radiación estimulada". Normalmente, se utiliza una cavidad óptica resonante para conseguir la realimentación positiva. La radiación láser puede ser altamente coherente, bien temporalmente, bien espacialmente, o bien ambas. Es también

muy importante el concepto del “umbral láser”, que es el nivel de emisión que tiene lugar debido a emisión estimulada y no a emisión espontánea.

Dentro de las aplicaciones del láser la más conocida es la utilizada en la medicina. Algunos investigadores han empleado microláseres unidos a catéteres para eliminar obstrucciones en las arterias de los animales. La combinación de cámaras con fibras ópticas capaces de ser insertadas en el interior de los catéteres permiten a los investigadores médicos profundizar en el estudio del interior del cuerpo humano.

El uso del láser dentro de sistemas de comunicación cada día va en aumento. La principal aplicación del láser dentro de los sistemas de comunicación se da en el área de transmisión y recepción de información.

Así podemos distinguir las siguientes clases:

Clase I : Se consideran diodos láser de clase I aquéllos que no son dañinos a partes del cuerpo en principio vulnerables a radiación láser. Un ejemplo de este tipo de láser es el de arseniuro de galio (GaAs), cuyo espectro de emisión va desde 820 a 905 nm.

Clase II : Los diodos láser de la clase II son aquéllos que emiten por debajo de 1 milliwatts de potencia; estos láseres pueden producir daños en la retina cuando inciden directamente, o después de alguna reflexión, sobre el ojo. El equipo debe contar con una luz piloto y un obturador, así como con una etiqueta indicadora de precaución.

Clase III : En esta clase se distinguen dos subclases, la clase III a y la clase III b . Los diodos láser de He-Ne de menos de 4 milliwatts se incluyen en la clase III a. Son altamente peligrosos para los ojos, y deben incluir una etiqueta entre 4 y 50 milliwatts de potencia, y deben de ir equipados con una luz piloto, un obturador y una etiqueta indicadora de peligro.

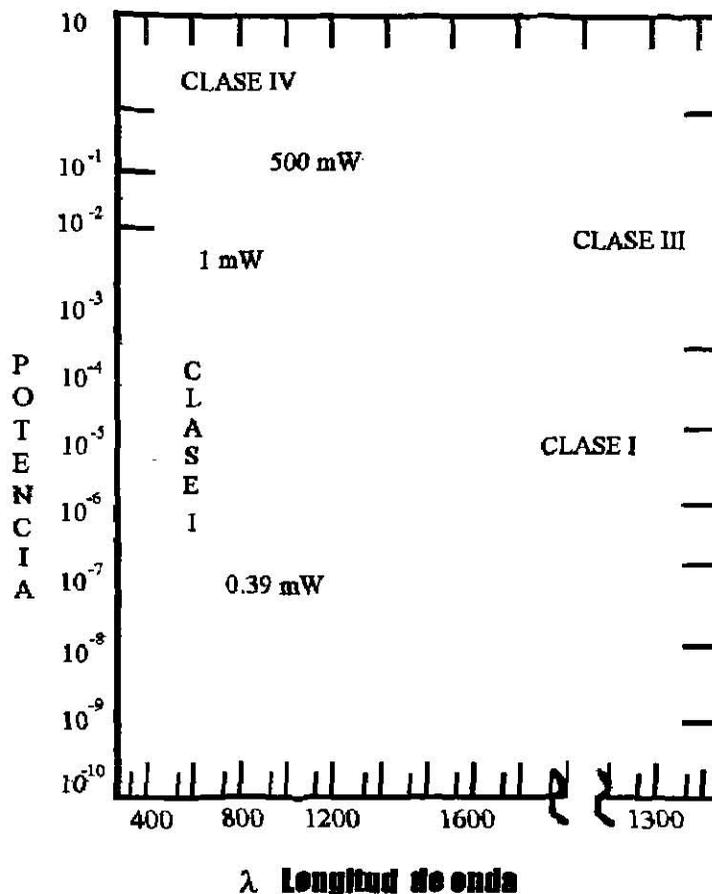


Fig. 4.3 Potencia y longitud de onda de varios tipos de diodos láser.

Clase IV : Los diodos láser de esta categoría son aquéllos capaces de emitir grandes potencias, en este grupo podemos encontrar láseres de CO_2 , Nd : YAG, Nd-vidrio, entre otros .

Estos diodos láser son muy peligrosos para los ojos y para muchas otras áreas del cuerpo que se vean expuestas un período suficientemente largo, pudiéndose producir quemaduras en la piel. Deben llevar una etiqueta indicadora de peligro, además de un piloto y un obturador.

Clase V : Se trata de diodos láser de alta potencia. Es una clase reciente en la que la principal característica es que deben quedar siempre confinados, no permitiéndose la salida de ningún reflejo. Los sistemas de seguridad deben sufrir revisiones periódicas para garantizar su buen funcionamiento. Deben de llevar una etiqueta de peligro en lugar visible, aunque los peligros para el operador son pequeños al garantizarse su confinamiento.

Muchos son los países con legislación referente a normas de seguridad para equipos láser (Estados Unidos, Alemania, Reino Unido, Francia, Suecia, Noruega, Dinamarca, Suiza, Japón, Australia, Canadá y China). En México , sin embargo, no existe una normativa específica para este tipo de aparatos en lo que atañe a los peligros por exposición a la radiación láser.

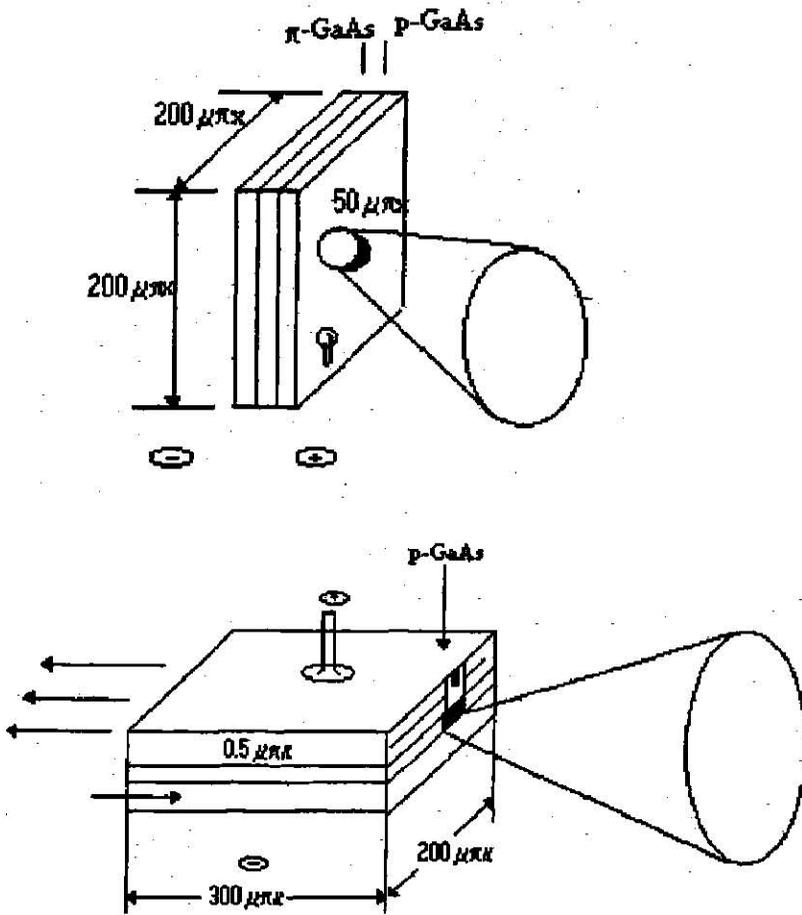


Fig. 4.4 Transmisores Ópticos Láser.

TRANSMISOR

La siguiente figura muestra el diagrama a cuadros de un transmisor de fibras ópticas.

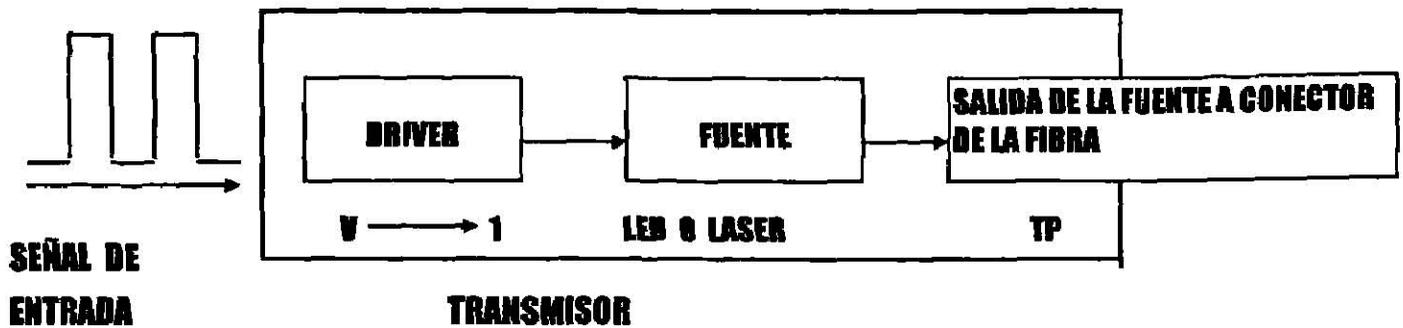


Fig. 4.5 Diagrama a cuadros de un transmisor de fibra óptica.

TP.- Potencia de salida del transmisor.

Los dos tipos de acoplamiento de salida de los transmisores más comunes son:

- **PIGTAIL**
- **ADM (Active Device Mount)**

Comparación entre la potencia , tamaño de la fibra y longitud de onda de PIGTAIL y ADM

PIGTAIL		TAMAÑO DE LA FIBRA		
		100/140 mm	62.5 / 125 mm	50/ 125 mm
LONGITUD DE ONDA	30 nm	TP	-4 DB	-6 DB
	60 nm	-10 DB	-14 DB	-16 DB

ADM		TAMAÑO DE LA FIBRA		
		100/140 mm	62.5 / 125 mm	50/ 125 mm
LONGITUD DE ONDA	30 nm	+5 DB	TP	-3.5 DB
	60 nm	-5.5 DB	-6 DB	-9.5 DB

Tabla 4.1 Tabla comparativa entre Pig tail y ADM.

En la siguiente figura se muestra el acoplamiento mecánico de estos transmisores con la fibra óptica, también se muestra la gráfica de pérdidas espectrales en dB/km en función de la longitud de onda de la fuente emisora.

ACOPAMIENTO MECÁNICO.

En las siguientes figuras se muestran los acoplamientos mecánicos que pueden tener los transmisores.

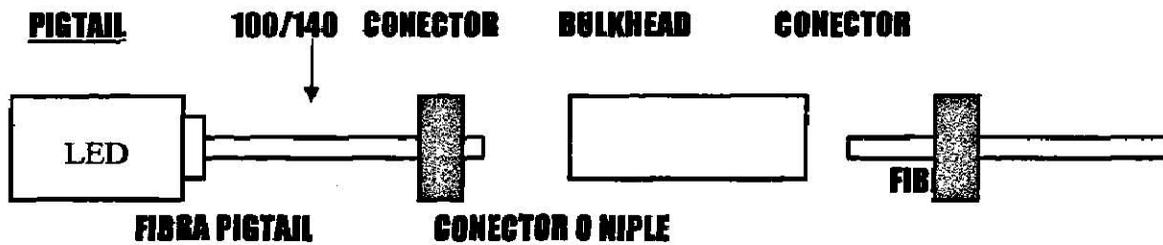


Fig. 4.6 Acoplamiento del Pig tail con una fibra óptica.

PIGTAIL

TAMAÑO DE LA FIBRA	100 / 140 mm	62.5 / 125 mm	50 / 125 mm
POTENCIA ÓPTICA DE SALIDA	TP	- 4 DB	- 6 DB
% DE PERDIDAS PARA 100 / 140	0 %	- 60 %	- 75 %

Tabla 4.2 Relación de tamaño de núcleos de revestimiento de Pig tail

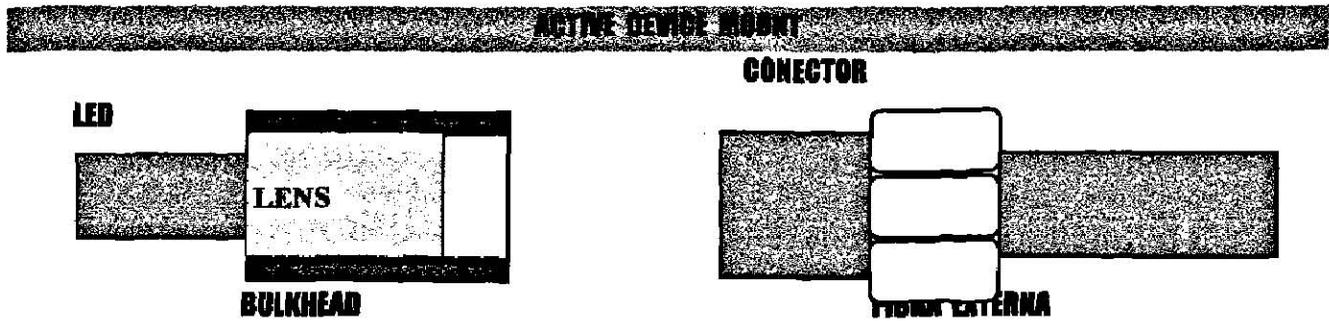


Fig. 4.7 Acoplamiento de un ADM con una fibra óptica.

ACTIVE DEVICE MOUNT			
TAMAÑO DE LA FIBRA	100/140 mm	62.5 / 125 mm	50 / 125 mm
POTENCIA OPTICA DE SALIDA	+5.5 db	TP	-3.5 db
% DE PERDIDAS PARA 100 / 140	+12 %	0%	-55 %

Tabla 4.3 Tabla comparativa del ADM.

FOTODETECTORES

El detector es un componente ideal en un sistema de fibras ópticas; su función es convertir la señal óptica recibida en una señal eléctrica, la cual se amplifica antes de ser procesada.

Principio de operación de los fotodetectores.

Un fotón puede ser detectado por un proceso de interacción de la materia en el que el fotón es aniquilado y su energía transformada en calor o corriente eléctrica. Los

requisitos para la ejecución y compatibilidad de detectores son muy similares a los requisitos de la fuente de emisión.

Estos requisitos son:

- * **Alta sensibilidad de operación.**
- * **Alta fidelidad.**
- * **Amplitud de respuesta eléctrica a la señal óptica recibida.**
- * **Tiempo de respuesta corto.**
- * **Estabilidad de las características de ejecución.**
- * **Tamaño físico del detector.**

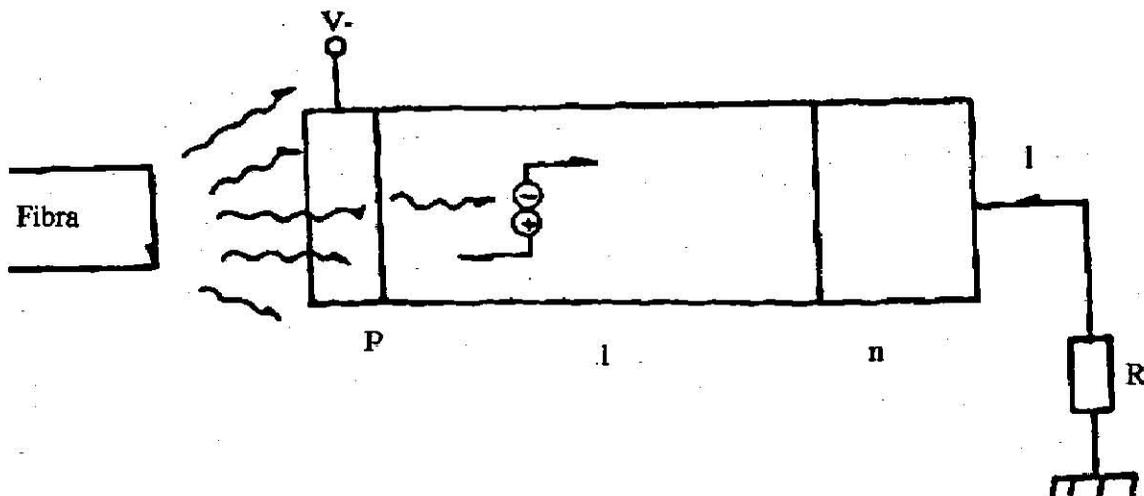
Los fotodetectores se clasifican en dos tipos :

- * **PIN (POSITIVE INTRINSEC NEGATIVE).**
- * **APD (AVALANCHA PHOTODIODE).**

FOTODIODO PIN

El fotodiodo PIN se utiliza para permitir la operación en longitudes de onda grandes donde la luz penetra más profundamente en el material semiconductor. Tiene las siguientes características.

- * **Si se incrementa el ancho de la región activa se incrementa la eficiencia.**
- * **El ancho de la región de agotamiento incrementa el tiempo de tránsito de los fotones.**



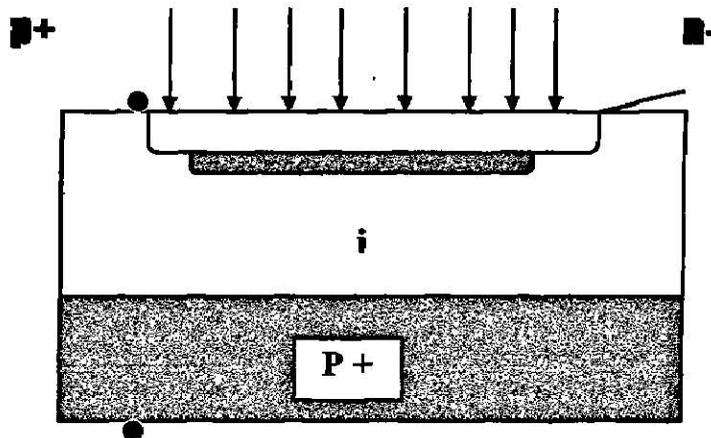


Fig. 4.8 Partes del fotodiodo PIN.

FOTODIODO APD

El fotodiodo APD se polariza fuertemente siendo el campo eléctrico de la unión lo suficientemente grande para acelerar los fotones de carga y adquirir suficiente energía para más aceleración, de lo que él lograría por un proceso de ionización.

El fotodiodo APD puede tener una estructura y geometría que maximice la absorción de fotones.

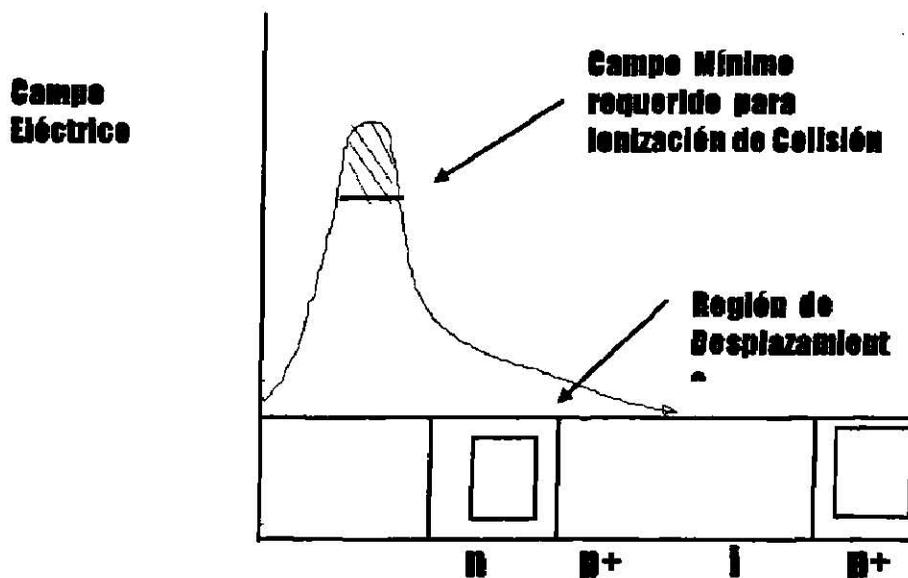


Fig. 4.9 Fotodiodo de avalancha

FOTODIODO PIN	FOTODIODO APD
<p>No tiene ganancia.</p> <p>Sensible.</p> <p>Ancho de banda limpio.</p> <p>Usa bajo voltaje de polarización.</p> <p>Bajo ruido.</p> <p>Muy confiable.</p> <p>Más comunmente usado.</p>	<p>Ganancia interna.</p> <p>Mayor sensibilidad.</p> <p>Ancho de banda reducido.</p> <p>Usa alto voltaje.</p> <p>Ruidoso.</p>

Tabla 4.4 Comparación entre un diodo PIN Y un APD.

RECEPTOR

La siguiente figura nos muestra el diagrama a cuadros un receptor de fibras ópticas.

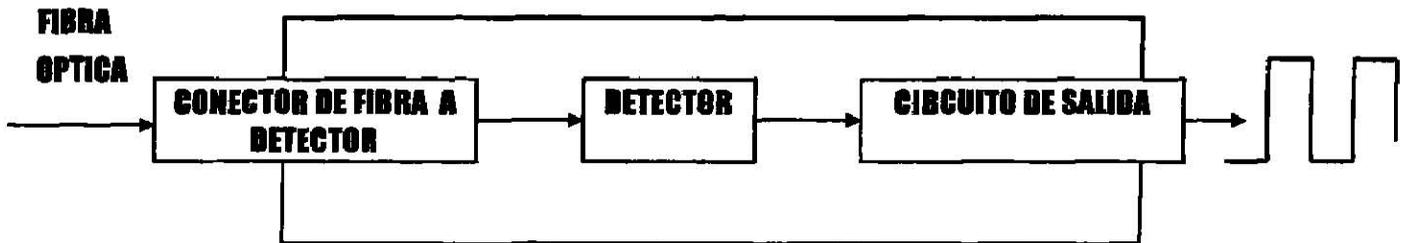


Fig. 4.10 Diagrama a cuadros de un receptor de fibras ópticas.

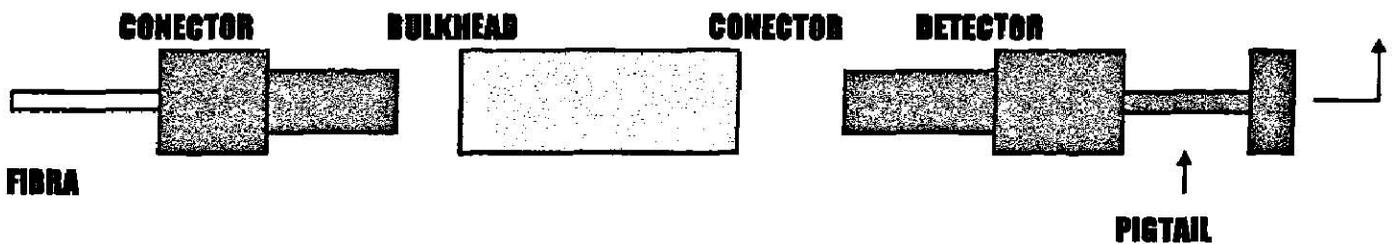
DETECTORES

Características :

- * **PIN (POSITIVE INTRINSEC NEGATIVE).**
Gran durabilidad, no muy caro, para uso rudo, etc.
- * **APD (avalancha Photodiode).**
Bajo ruido de preamplificación, muy caro, mediana durabilidad.
- * **Longitud de onda.**
Silicio (830 nm).
Ga As (1300 nm).

ACOPLAMIENTO MECÁNICO

En la siguientes figuras se muestran los acoplamientos mecánicos que pueden tener los detectores.



Ensamble separado.

Fig. 4.11 Acoplamiento mecánico de la fibra con el receptor.

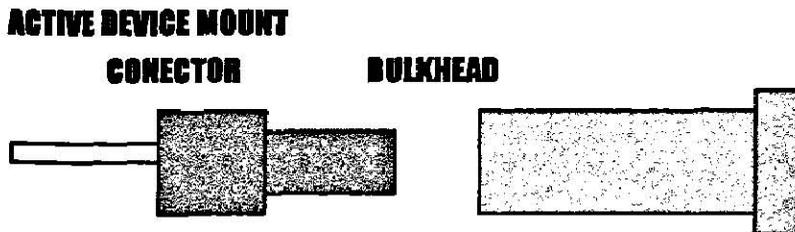


Fig. 4.12 Acoplamiento de un Detector con un ADM

Características del amplificador del detector.

- * **Sensitividad, RS (DBM).**
- * **Rango dinámico, RDY (DB).**
- * **Rango de operación desde RS hasta saturación.**
- * **Escala en dB.**



Fig. 4.13 Parámetros del receptor.

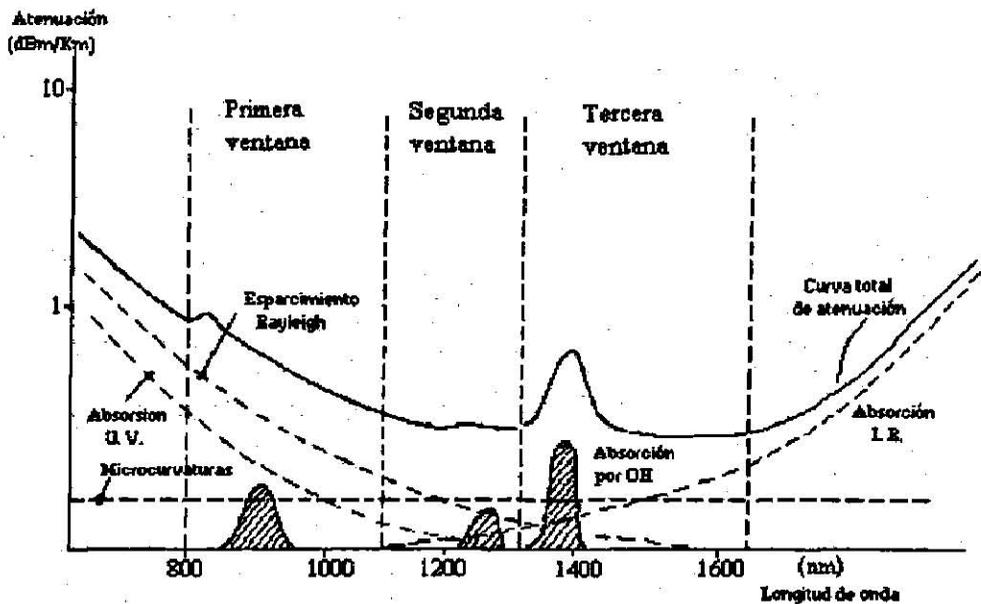


Fig. 4.14 Ventanas de operación de la fibra óptica.

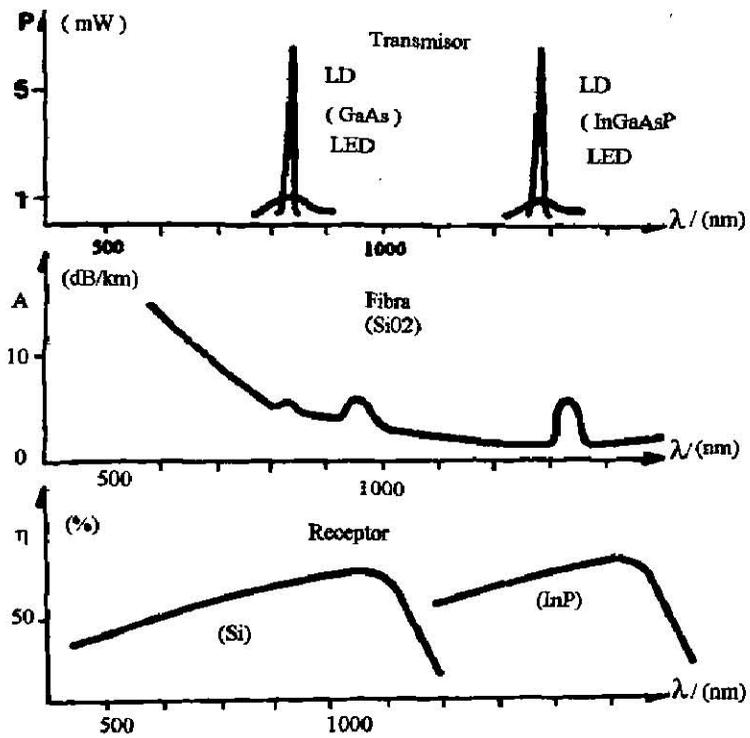


Fig. 4.15 Gráfica de la longitud de onda de operación de transmisores, receptores y atenuación de fibra óptica de Silicio.

EMPALMES Y CONECTORES

EMPALMES

Las fibras ópticas se fabrican de una longitud definida por lo que se requieren empalmes cuando se desea realizar una unión entre dos segmentos de fibras ópticas. Las uniones pueden ser de tipo temporal o permanente (empalme por fusión de arco, por microflama de gas y mecánico).

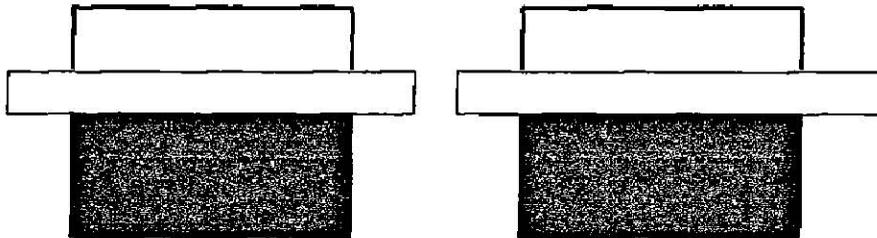
La unión permanente de las fibras ópticas se logra por fusión del material que las forma. Los métodos más comunes para lograr la fusión son :

- Microflama de gas. Es el por fusión empleando microflama de gas es más delicado tanto en la pureza de los gases como en el sistema de aplicación.**
- Arco Eléctrico. El método por arco eléctrico es muy empleado, es más sencillo de realizar (fabricación y uso) y más limpio (menor riesgo de micropartículas).**

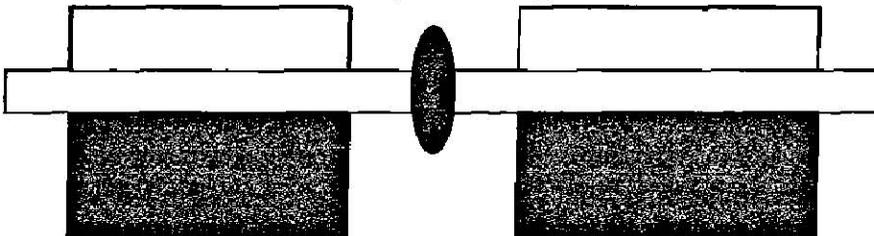
EMPALMES POR FUSIÓN

Los empalmes por fusión son de uso predominante en enlaces urbanos y de larga distancia . El empalme por fusión no es más que una soldadura homogénea de las estructuras de vidrio de la fibra óptica . Este empalme es efectuado calentando las terminales de la fibra utilizando típicamente un arco eléctrico. Este tipo de empalmes produce las más bajas pérdidas ópticas que están entre los 0.4 a 0.1 decibelios.

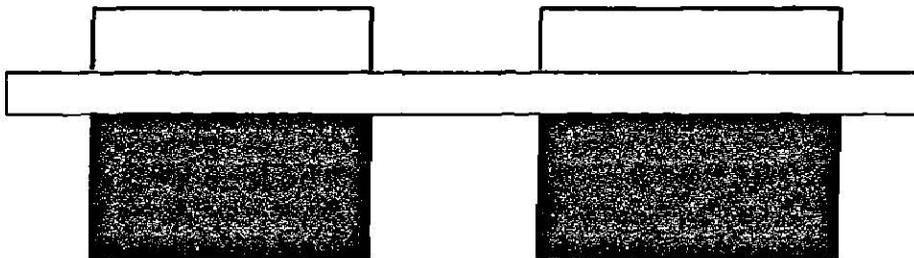
Alneación de la fibra



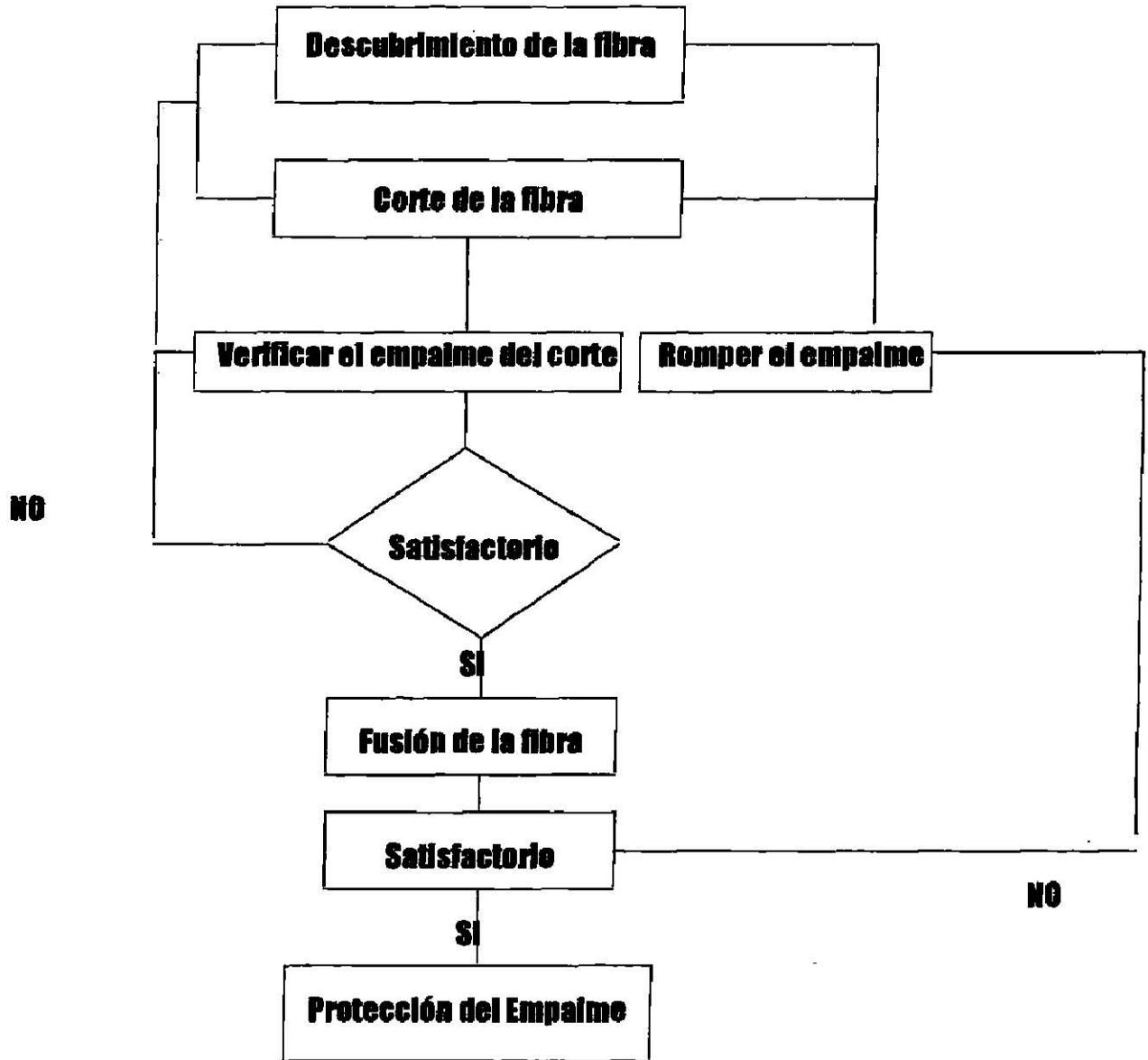
Emisión de arco Eléctrico



Estado Final



PROCEDIMIENTO PARA EMPALMAR LAS FIBRAS ÓPTICAS POR FUSIÓN



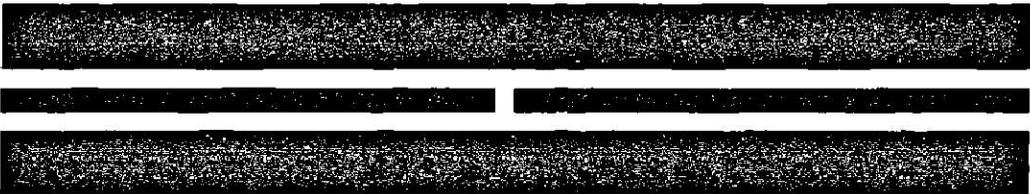
CALIDAD DE LOS EMPALMES POR FUSIÓN



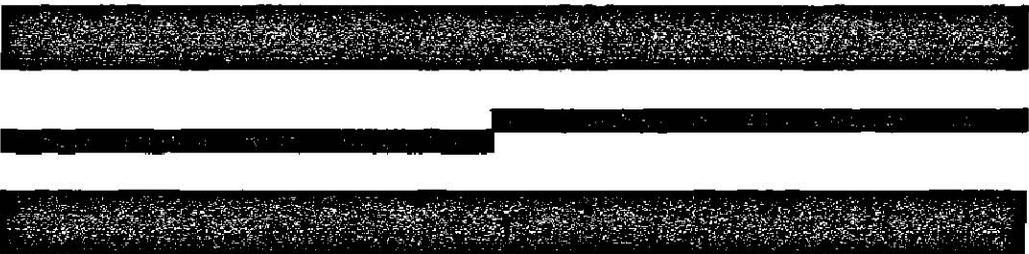
Buen Empalme



Mal Empalme



Mal Empalme



Mal Empalme

EMPALME MECÁNICO

Cuando se tienen enlaces de cortas distancias donde se puedan tolerar pérdidas considerables se utilizan empalmes mecánicos en los cuales las fibras ópticas son unidas por medios mecánicos, como ranuras en formas de varillas (se puede agregar una sustancia epóxica para adherir las fibras y además actuar como acoplador óptico). En la siguiente figura nos muestra un empalme de este tipo.



Características de este tipo de empalme :

- **Las fibras se manejan con herramienta manual.**
- **Ambas fibras se unen en una guía de empalme.**
- **El epóxico no es dañino.**
- **Kit manual**
- **No muy caro**
- **Trabaja con fibras multimodo**
- **0.2 dB de pérdidas.**

CONECTORES

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

- **De acercamiento mecánico de precisión en los extremos.**
- **De acercamiento óptico de las fibras al unir.**

En el primer caso se utilizan estructuras que requieren de precisión lateral, azimutal y longitudinal para lograr el alineamiento requerido de la fibra.

En el segundo caso se utilizan lentes para ayudar en el alineamiento de las dos fibras a unir, logrando mejores tolerancias angulares.

Los conectores más utilizados son los de acercamiento mecánico y en este tipo se encuentra muchas variedades que combinan costos, pérdidas ópticas, durabilidad, etc.

- **Conector Biconico**
- **Conector FC/PC**
- **Conector FDDI**
- **Conector SC**
- **Conector FT**

GLOSARIO

ACOPLADOR

Es un dispositivo para descomponer la señal óptica de una fibra en dos o más fibras en dos o más fibras diferentes.

ANCHO DE BANDA

Es la capacidad de una fibra óptica de transmitir información. Entre más grande sea el ancho de banda, mayor información puede ser transmitida a través de la fibra en un determinado período de tiempo.

ANCHO DE PULSO

La información es transmitida vía fibras ópticas enviando luz a través de una fibra. La fuente de luz es encendida y apagada o modulada para transmitir datos. El ancho de pulso es el período de tiempo que la fuente de luz está encendida en su amplitud o potencia máxima.

ATENUACIÓN

Es una medida de la pérdida de potencia de una señal óptica, expresada en decibeles por una unidad de longitud, comúnmente expresada en dB/Km. La atenuación es el resultado de la absorción de la luz, de la difusión causada por las impurezas de la fibra y de las propiedades intrínsecas del material, además por los factores externos tales como empalmes y dobleces en el cable. La atenuación es una función de la longitud de la fibra, la amplitud de la señal decrece al incrementarse dicha longitud.

COEFICIENTE DE ATENUACIÓN

Es la atenuación en una fibra óptica por unidad de longitud, típicamente expresada en dB/Km.

DECIBEL

Es una medida de comparación de dos niveles de potencia. Un decibel o dB, está definido como diez veces el logaritmo base diez del cociente de dos niveles de potencia. Una ganancia o pérdida de potencia es expresada en decibeles. Por ejemplo, 3dB de pérdida es aproximadamente una disminución del 50% de la potencia, una pérdida de -2dB es aproximadamente una disminución del 37% de la potencia, una pérdida de -1 dB es aproximadamente una disminución del 21% de la potencia.

DETECTOR ÓPTICO

Dispositivo que genera una señal eléctrica (típicamente una corriente eléctrica), cuando detecta luz.

DIFUSIÓN DE RALEIGH

La difusión producida por no- uniformidades microscópicas en la fibra óptica que son muy pequeñas comparadas con la longitud de la onda de la luz. En una fibra óptica la difusión de Raleigh representa el límite fundamental del coeficiente de atenuación. Los OTDRs nos dicen la pérdida óptica de componentes midiendo la atenuación en el componente retrodifundido de la difusión de Raleigh a través del evento. La difusión de Raleigh es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda.

EVENTO

Cualquier ruptura o conexión en una fibra óptica que aparece mostrado en el OTDR como un cambio o una discontinuidad en las condiciones normales retrodifundidas de la fibra. Los eventos pueden ser causados por empalmes de fusión y empalmes mecánicos, por conectores, dobleces, y rupturas en la fibra.

EMPALME MECÁNICO.

Es un método para conectar dos fibras ópticas que involucra uniones mecánicas o uniones con material epóxico en los extremos de cada fibra.

EMPALMES UNIDOS O FUSIONADOS.

Métodos para conectar dos fibras ópticas que involucra la alineación y calentamiento de los extremos de las fibras, de tal manera que las estructuras de vidrio de cada fibra se derritan y queden unidas al solidificarse nuevamente.

FIBRA MULTIMODO.

Uno de los dos tipos fundamentales de fibra óptica (multimodo y modo simple). Una fibra multimodo transmite rayos de luz. Los núcleos de fibras multimodo están entre las 50 y las 100 micras en diámetro, más grandes que aquellos usados en fibras unimodales.

FIBRA ÓPTICA.

Delgados hilos de vidrio ultra-puro diseñados para transmitir pulsos de luz de un transmisor a un receptor con cantidades de información muy altas. Los pulsos de luz son señales ópticas que contienen información de voz, datos y vídeo.

LÁSER.

Una intensa fuente de luz generada por la emisión estimulada de fotones.

NÚCLEO.

Es el centro de una fibra óptica en donde la mayor parte de luz es transportada. El núcleo tiene un índice refractivo mayor que el revestimiento que lo envuelve, lo cual ayuda a mantener la luz viajando dentro núcleo.

NANÓMETRO.

Unidad de longitud, la billonésima parte de un metro. Las longitudes de onda de las fuentes de luz usadas en OTDRs son frecuentemente expresadas en nanómetros. Por ejemplo, las fibras simples típicamente operan con longitudes de onda 1310 y 1510 nanómetros.

PENDIENTES DE LA FIBRA.

El coeficiente de atenuación de la fibra

REFLECTÓMETRO ÓPTICO EN EL DOMINIO DEL TIEMPO (OTDR)

Un versátil instrumento óptico de medición que mide la distancia a eventos en fibras ópticas (también mide la pérdida en dichos eventos), probando la fibra desde uno de sus extremos. EL OTDR TRABAJA mandando pulsos de luz a través de la fibra y procesando la luz que es difundida y reflejada al OTDR. Típicamente, el OTDR despliega una representación visual de la fibra como una forma de onda. La última generación de OTDRs también analiza las formas de onda, localiza y mide cada uno de los eventos automáticamente.

REFLEXIÓN DE FRESNEL

Son reflexiones causadas por una discontinuidad en el índice de refracción de la fibra. Las reflexiones de Fresnel son causadas por ejemplo, el extremo partido de una fibra, un conector desconectado, un conector apareado, empalmes mecánicos. En un OTDR, las reflexiones de fresnel aparecen como agudas espigas que apuntan hacia arriba.

RANGO DINÁMICO

Existen muchas definiciones para el rango dinámico de un OTDR. Bellcore define el rango dinámico como la atenuación mostrada en el panel frontal (en dB) desde el nivel retrofundido en una línea imaginaria (después del fin de la fibra), que se encuentra apenas encima del 98% del ruido. Otra definición común (basada en SNR=1) usa una línea imaginaria que se encuentra apenas encima del 63% del ruido. Si un OTDR se satura cerca del límite del panel frontal, el nivel retrofundido en dicho panel frontal es inferido por extrapolación en la región no saturada de la onda.

RANGO DINÁMICO, FIN DE DETECCIÓN

La distancia máxima a la que un OTDR puede detectar una reflexión desde un extremo de la fibra. Esta es mucho mayor que la distancia en el cual el OTDR puede hacer mediciones de pérdida en empalmes.

RETRODIFUSIÓN

Es la porción de la difusión de Rayleigh que viaja en dirección contraria al de la señal óptica.

REVESTIMIENTO

Es una capa de material tal como vidrio o del núcleo de una fibra óptica. El revestimiento tiene un menor refractivo que el núcleo, lo cual ayuda a mantener la luz viajando dentro del núcleo. plástico que es fusionado a, y alrededor

ZONA MUERTA POR EVENTO

La zona muerta por evento, a veces llamada resolución especial entre dos puntos , es la mínima distancia después de una reflexión antes que el OTDR pueda medir con exactitud la distancia a una segunda reflexión. En ocasiones está determinada como la distancia desde el flanco de subida de la reflexión al punto posterior a dicha reflexión, en donde la señal en el OTDR cae al menos 3dB de la amplitud máxima de la reflexión.

ZONA MUERTA POR PÉRDIDA

La medición de la pérdida por zona muerta es la distancia mínima después de una reflexión, antes que el OTDR pueda medir la pérdida de un posterior evento no reflectivo. Típicamente , esta determinada como la distancia desde el flanco de subida de una reflexión, al punto posterior donde la señal del OTDR regrese a una distancia de 0.5 dB del nivel retrodifundido.

