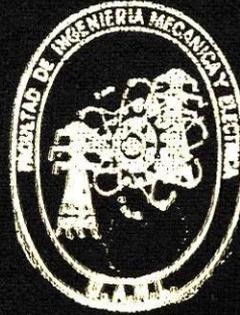
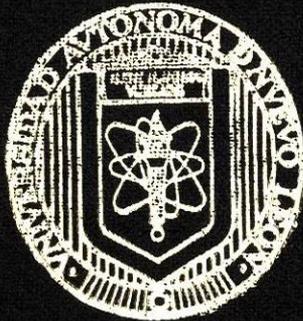


**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**  
**Y ELECTRICA**



**FIBRA OPTICA**

**TESIS**

**EXAMEN TIPO "B"**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**  
**INGENIERO EN ELECTRONICA**  
**Y COMUNICACIONES**

**PRESENTA**

**HITLER ARMENIO RIVERA ROBLERO**

**ASESOR:**

**ING. LEOPOLDO R. VILLARREAL**

**CD. UNIVERSITARIA**

**NOVIEMBRE DE 1996**

C 1310



1080072253

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y ELECTRICA



FIBRA OPTICA

TESIS

EXAMEN TIPO "B"

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO EN ELECTRONICA  
Y COMUNICACIONES

PRESENTA  
HITLER ARMENIO RIVERA ROBLERO

ASESOR:  
ING. LEOPOLDO R. VILLARREAL

CD. UNIVERSITARIA

NOVIEMBRE DE 1996

T  
02448  
RS



(72253)



**AGRADECIMIENTO  
Y DEDICATORIA**

**Con todo mi amor,**

**A mi madre**

**Sra. Ludivina Roblero Bartolon.**

# INDICE

<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
<b>HISTORIA DE LA FIBRA OPTICA .....</b>	<b>3</b>
<b>GENERALIDADES .....</b>	<b>5</b>
- Teoría básica de operación. ....	5
- Ventajas y desventajas. ....	8
- Aplicaciones. ....	10
- Construcción. ....	12
<b>CARACTERISTICAS .....</b>	<b>18</b>
- Tipos de fibra óptica. ....	18
- Capacidad de transmisión. ....	20
- Dimensiones. ....	20
- Propagación de la luz. ....	21
- Ancho de banda. ....	22
- Pérdidas de transmisión. ....	23
Absorción .....	23
Dispersión .....	23
Radiación .....	24
- Señales de distorsión .....	24

<b>DISPOSITIVOS PARA LA EMISION Y DETECCION DE LUZ .....</b>	<b>25</b>
- Fotoemisores .....	25
- Diodo emisor de superficie .....	26
- Diodo emisor de lateral .....	26
- Diodo láser de inyección .....	26
- Usos del láser en las fibras ópticas. ....	27
Definición .....	27
Aplicación .....	28
<b>USOS EN LA INDUSTRIA Y EN SISTEMAS DE COMUNICACIONES .....</b>	<b>29</b>
<b>EMPALMES CONECTORES Y ACOPLADORES .....</b>	<b>31</b>
- Tipos de empalmes .....	31
- Tipos de conectores .....	32
- Proceso de conectorización .....	33
- Acopladores .....	33
<b>DISEÑO DE SISTEMAS DE COMUNICACION CON FIBRA OPTICA .....</b>	<b>34</b>
- Elementos de un sistema de comunicación .....	34
- Elementos de un sistema de comunicación con fibra óptica .....	34
- Ejemplos de diseño con fibra óptica .....	35

## INTRODUCCION

Desde el inicio de la evolución la comunicación ha sido una parte esencial para el desarrollo y el progreso de la civilización. Conforme el hombre evolucionaba, también evolucionaba su capacidad de razonamiento y cada vez ideaba nuevas formas de comunicación complejas.

Con el uso del lenguaje de signos, mediante la capacidad de leer y escribir, hasta las prensas de alta velocidad; desde los dibujos en las cavernas hasta la fotografía, el cine y la televisión; desde los mensajes mediante tambores y señales de humo hasta la radio y el teléfono.

Con el descubrimiento de estos dos últimos el hombre da un gran paso en el desarrollo de sistemas de comunicación, nace la necesidad de hacer que estos sistemas cada vez fueran mejores. Se encuentran nuevas formas de utilizar la electricidad para transmitir mensajes y se cuestiona el uso de pulsos de luz para transmitir datos. En 1880 Alexander Graham Bell estudia la posibilidad de transmitir información a través de pulsos de luz. De aquí en adelante el hombre busca mejorar las formas ya existentes de comunicación utilizando nuevas técnicas. Se estudia el aspecto teórico de la guía de onda dieléctrica y se experimenta con ella. Luego de estos avances se hace el intento de conducir la luz. Con estos empieza el vidrio como medio de transmisión.

En 1958 con el invento del rayo láser se observa la posibilidad de contar con una fuente de radiofrecuencia a longitudes ópticas, dando esto la factibilidad de desarrollar sistemas de comunicación que trabajen en la región óptica. Se empieza a experimentar con el láser y se encuentran nuevas formas de aplicación de este. Se desarrolló el LASER semiconductor y Fotodiodos semiconductores. Se experimenta con ondas de luz para transmisiones en telecomunicaciones. Se desarrolla una fibra óptica con una atenuación de 20 dB/Km. Se encuentran nuevas aplicaciones para la fibra óptica en los sistemas de

comunicación. Se logran atenuaciones de hasta 0.16 dB/Km. y con anchos de banda muy amplios.

Con esto el área de las telecomunicaciones da un gran paso ya que las propiedades especiales de la fibra óptica no solo se emplea en el área de las comunicaciones sino también en el área de la medicina, militar, en la industria y otras.

Esta tesis pretende dar de forma general información acerca de la fibra óptica y sus aplicaciones en los sistemas de comunicación. Así como una breve historia de su desarrollo desde su creación.

## HISTORIA DE LA FIBRA OPTICA

- 1870 Tyndall demostró que la luz podía ser conducida dentro de un chorro de agua.
- 1880 Alexander Graham Bell estudio 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. Construyo 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 dialéctrica recubierta.
- 1958 A. Shalow y C.H. Towne inventan el rayo láser.
- 1959 T. Malman desarrolla la primera aplicación del láser en HUGHES RESEARCH LABORATORIES.
- 1962 Se desarrollan el LASER semiconductor y fotodiodos semiconductores.
- 1960's Experimentos de ondas de luz para transmisión en telecomunicaciones. Charles Kad 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.
- 1970 La firma Corning Glasé York 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 llego a alcanzar valones 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 Aparece un láser con un tiempo de vida de 100 mil horas. MIT muestra un sistema de 70 Km. sin repetidores usando 10 Km. de longitud para aplicaciones submarinas.

- 1979 MIT desarrolla una fibra con 0.2 dB/Km. Experimentos prácticos en Canadá por Bell-Northern.
- 1989 Se ha logrado fabricar Fibra Optica con niveles de atenuación muy bajos, del orden de 0.16 Km. y con perfiles de índice de refracción, 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.

## **GENERALIDADES**

### **TEORIA BASICA DE OPERACION**

El principio de operación de las fibras ópticas es proyectada a un fino filamento de vidrio o plástico que se refleja bajo paredes internas de la fibra, es decir los rayos internos rebotan entre las paredes internas de la fibra.

Dicho de otra manera las fibras ópticas son simplemente un método de llevar información desde un punto a otro. Una fibra es un conductor delgado cilíndrico que sirve como medio de transmisión sobre el cual pasa la información.

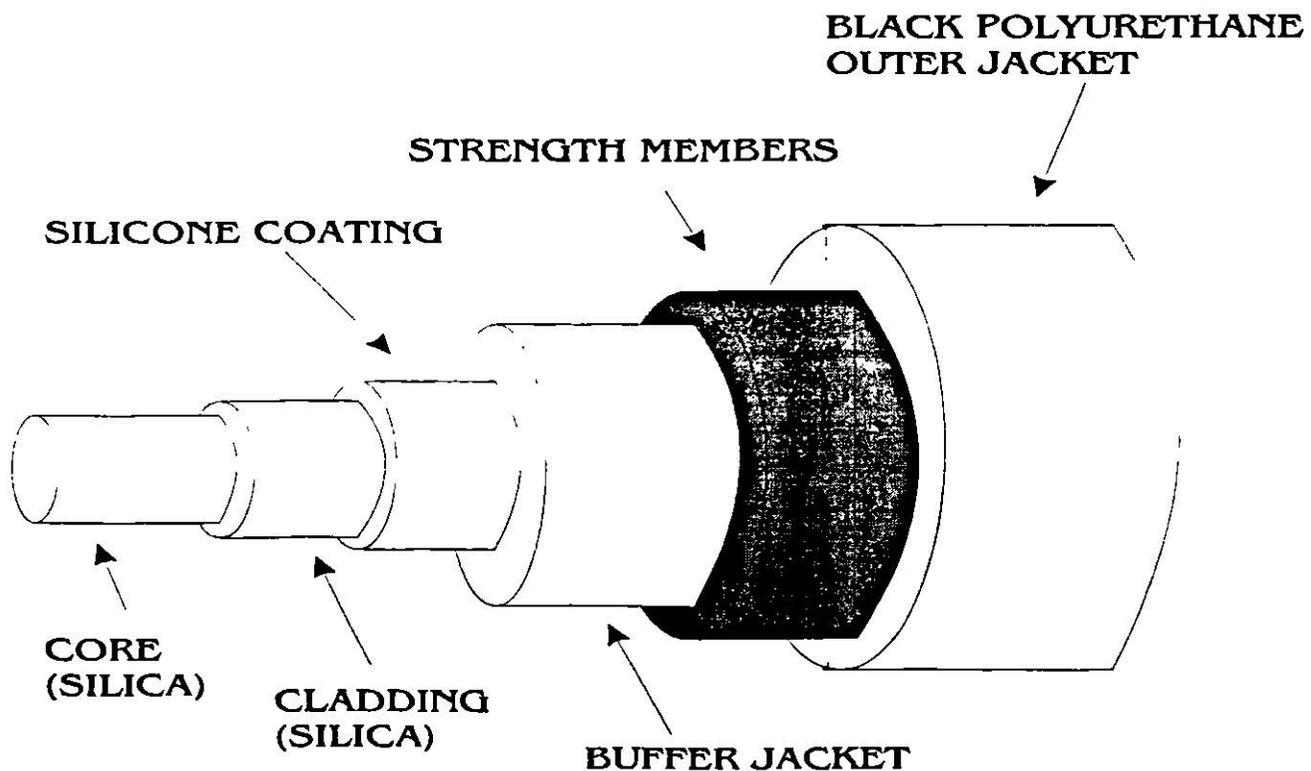
De esta forma también cumple la misma función básica que un conductor de cobre que lleva conversación telefónica o datos de computadora, pero a diferencia del conductor de cobre, la fibra óptica lleva luz en lugar de electricidad.

Hay que tener un concepto bien importante de la diferencia que existe entre la fibra óptica y el cable de fibra óptica. La fibra óptica es el miembro que transporta la señal; y el cable de fibra es la cubierta protectora que la mantiene segura de daños del medio ambiente. La fibra óptica tiene dos capas concéntricas llamadas : núcleo (core) y revestimiento (cladding), lo que se refiere al núcleo es la parte que transporta la luz y el revestimiento rodea al núcleo. La mayoría de las fibras tiene una cubierta adicional alrededor del revestimiento. La cubierta que usualmente se usa es una o varias capas de polímero, el cual protege al núcleo y revestimiento de golpes que pueden afectar sus propiedades ópticas que afectan la propagación de la luz.

Tanto el núcleo (core) como el revestimiento (cladding) están conformados de ambos vidrio o 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.



El vidrio esta constituido básicamente de silica, la cual es encontrada en arena. Para la fabricación de la fibra óptica la silica 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 oxido de boro se añade a la silica 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 esta la mala transmisión de la luz, esto ocasiona grandes perdidas por lo que se recomienda el uso del vidrio para el núcleo de la fibra.

En un sistema de fibras ópticas, se unen 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 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 10km. 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 Opticas simple, convierte una señal eléctrica a una señal de luz dentro de una fibra óptica u 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 variable 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 mas notables son aquellas derivadas del gran ancho de banda y de las bajas perdidas 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 detallaran algunas de las cualidades de la fibra óptica.

PROPIEDADES	BENEFICIOS
Bajas perdidas	Menor numero de repetidores
Alta anchura de banda	Bajo costo por 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	Fiabilidad
Alta estabilidad con la temperatura	Viabilidad como medio de transmisión en condiciones climáticas adversas
Dificultad para captar sus emisiones	Seguridad
Material dieléctrico	Aislamiento eléctrico y disponibilidad de materia prima

### ELEVADO ANCHO DE BANDA

En empleo del láser y de los LED's 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  $10^{14}$  b/s.

### BAJAS PERDIDAS

Puesto que intrínsecamente las perdidas de las fibras ópticas (menos de 2.5 dB/Km. a 0.85 micrómetros y 0.7 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 trafico 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 mas 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 practica, 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 corto circuitos.

## SEGURIDAD

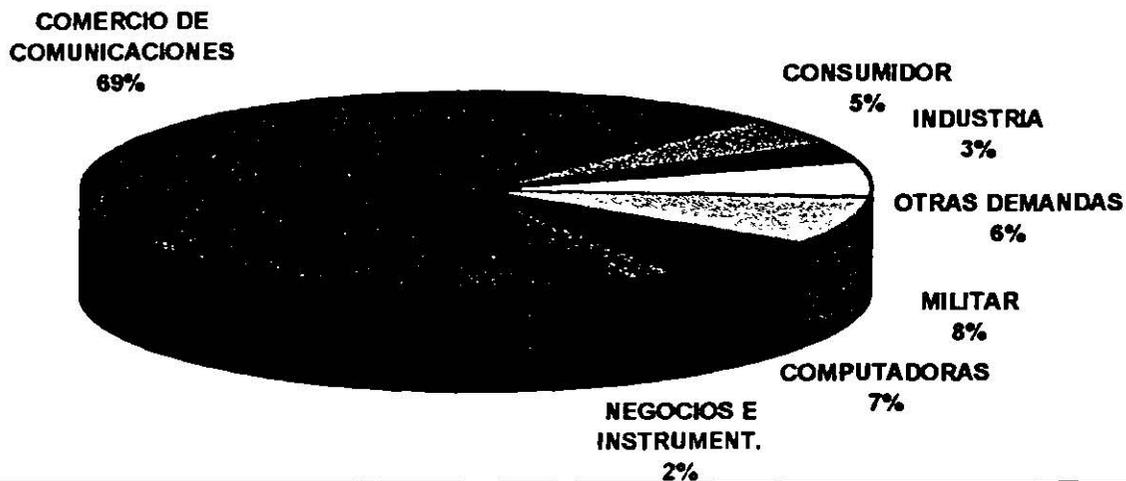
Puesto que las fibras ópticas no radian energía electromagnética la señal transmitida por ellas no pueden ser captada desde el exterior. Algunas aplicaciones militares se basan en esta propiedad.

## APLICACIONES

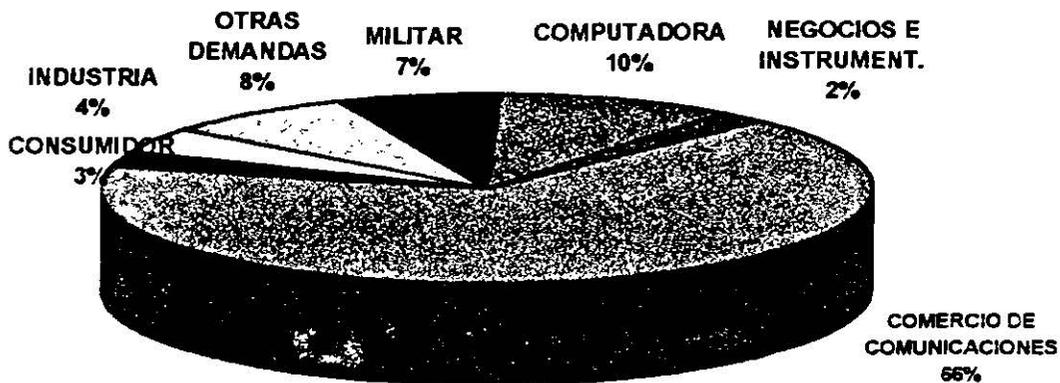
En la actualidad las fibras ópticas tienen toda una gama de aplicaciones. A continuación se mencionaran las mas importantes.

CAMPOS DE APLICACION	CARACTERISTICAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Red de T.V. por cable.</li> <li>• Comunicaciones en instalaciones de energía eléctrica.</li> <li>• Control de plantas nucleares</li> <li>• Enlaces entre computadoras</li> <li>• Armas dirigidas</li> <li>• Transmisión secretas</li> <li>• Censores (Presión/Temperatura)</li> <li>• Medicina</li> <li>• Redes telefónicas publicas</li> <li>• Conexión telefónica entre islas por medio de cable submarino</li> <li>• Automóviles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gran ancho de banda</li> <li>• No hay interferencia electromagnética.</li> <li>• Gran ancho de banda sin peligro de incendio y de interferencias electromagnéticas.</li> <li>• No existe interferencia electromagnética</li> <li>• Peso pequeño y de ancho de banda grande</li> <li>• Sin radiación electromagnética</li> <li>• Alta sensibilidad</li> <li>• Perfecciono el endoscopio, aparato que permite explorar el cuerpo humano</li> <li>• Gran ancho de banda</li> <li>• Gran ancho de banda y garantiza la comunicación aun en condiciones atmosféricas adversas</li> <li>• Decrece el peso del cable e incrementa la velocidad de transmisión de signos al tablero</li> </ul>

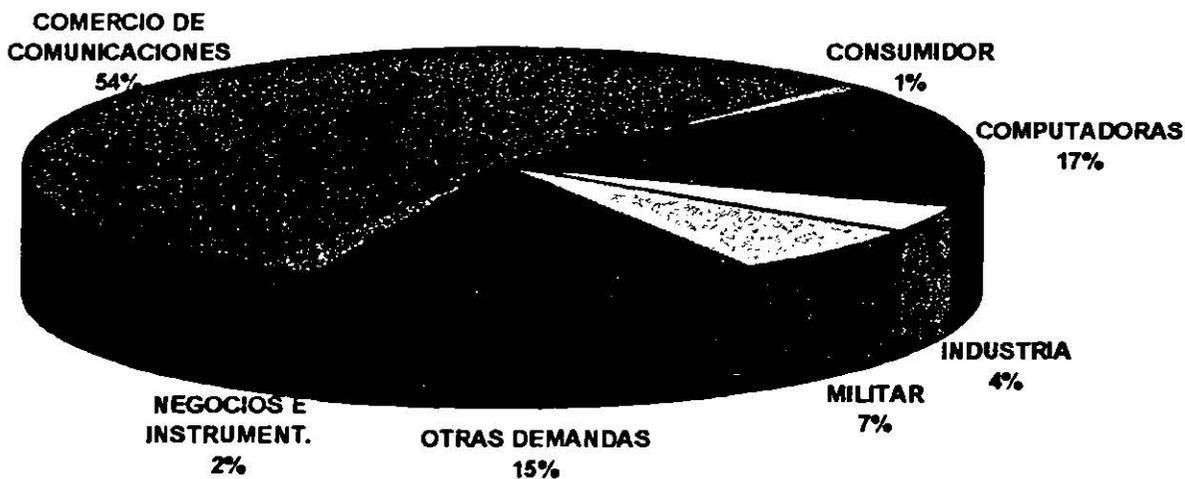
### USO DE LA FIBRA OPTICA EN 1990



### USO DE FIBRA OPTICA EN 1985



### USO DE FIBRA EN 1980



## **CONSTRUCCION**

Para la fabricación de la fibra óptica, deben utilizarse materiales que cumplan con las características mecánicas y ópticas deseadas en el 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 si, pero con pequeñas diferencias en sus índices de refracción.

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

### **a) 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 oxido de metales; estos vapores al ser calentados por un quemador de hidróxido 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.

## **b) 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 estos métodos así como un proceso de :refilado y estirado del vidrio.

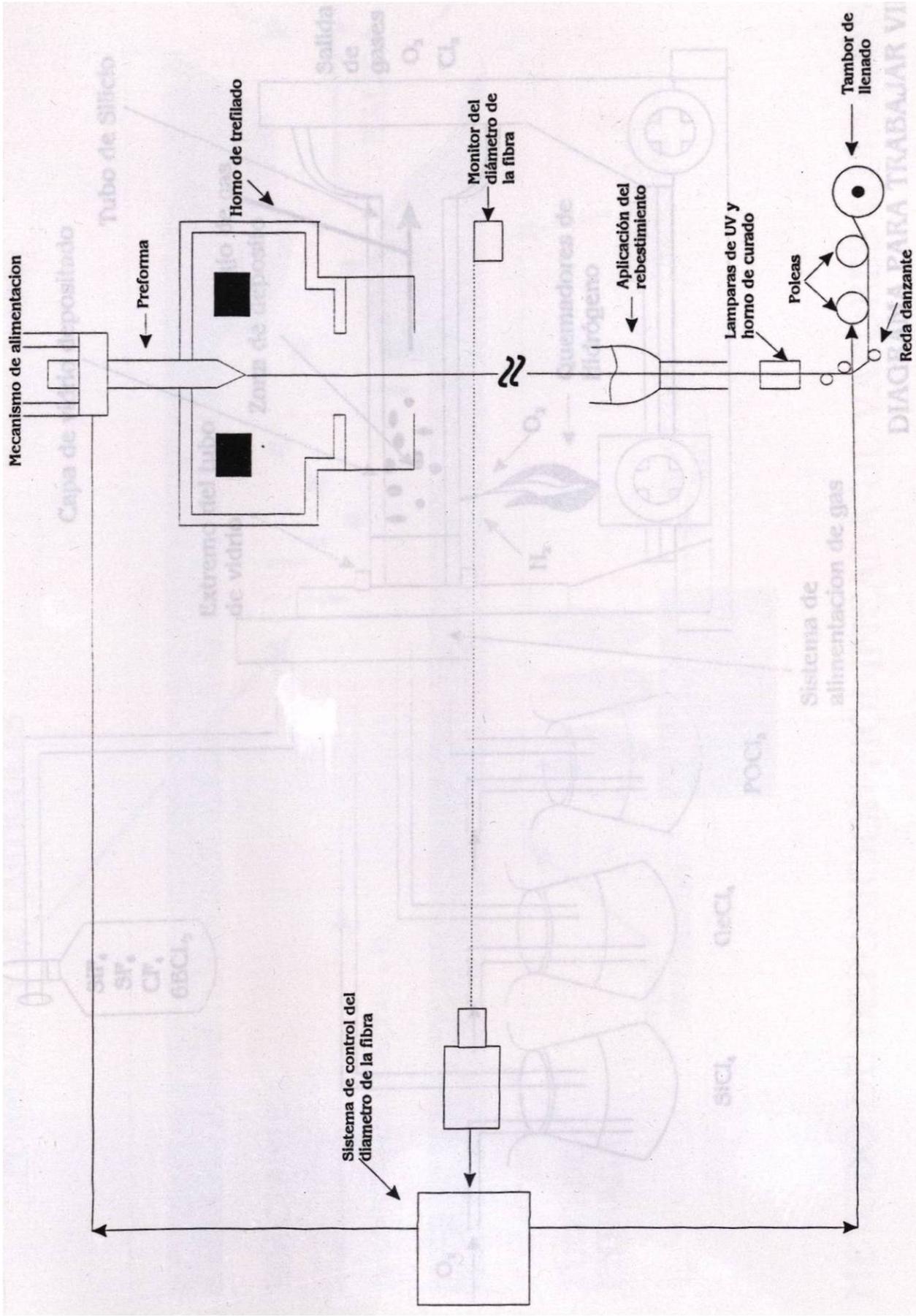


DIAGRAMA DE UNA TORRE DEL TREFILADO DE LA FIBRA

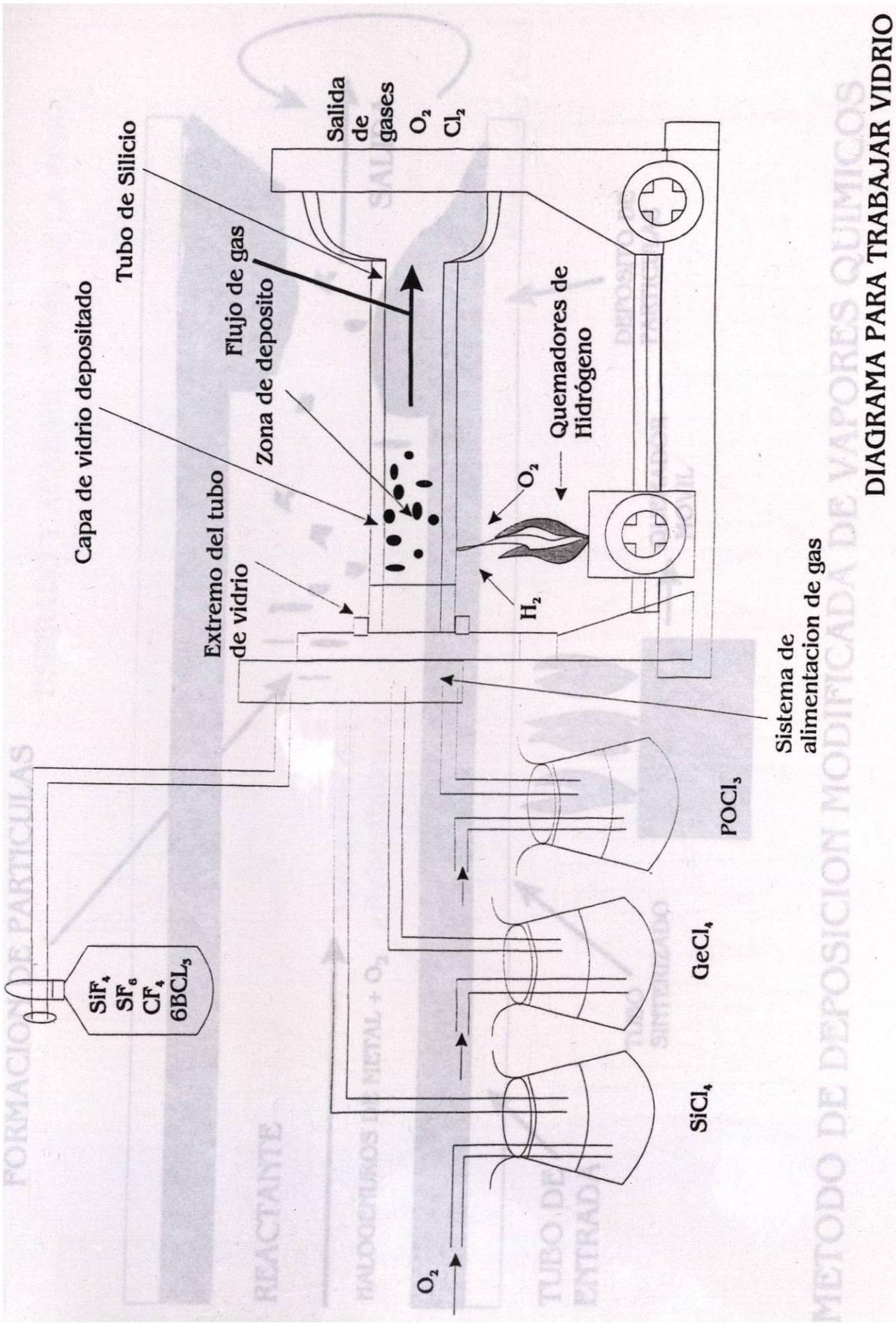
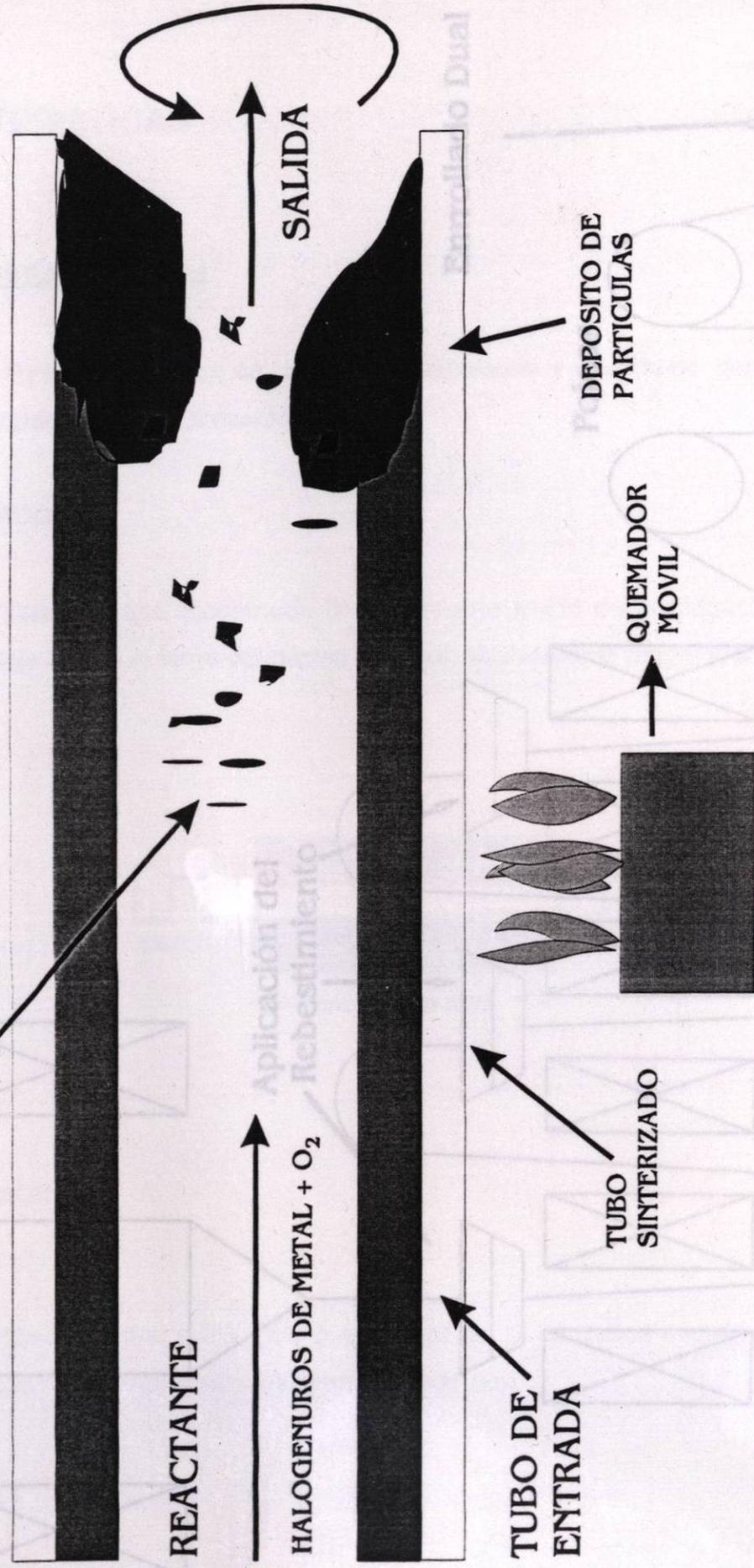


DIAGRAMA PARA TRABAJAR VIDRIO

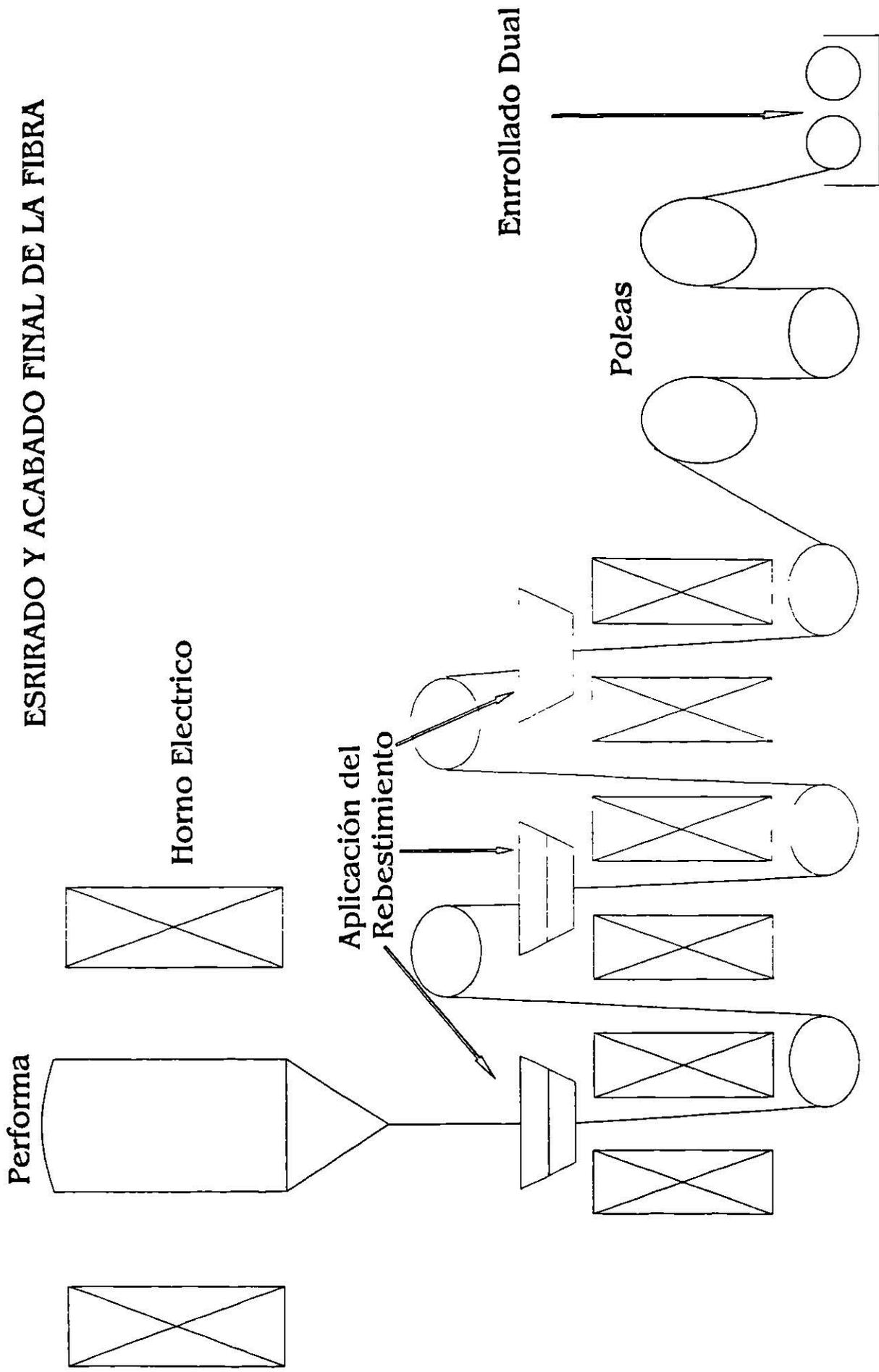
FORMACION DE PARTICULAS

ESRIRADO Y ACABADO FINAL DE LA FIBRA



METODO DE DEPOSICION MODIFICADA DE VAPORES QUIMICOS

# ESRIRADO Y ACABADO FINAL DE LA FIBRA



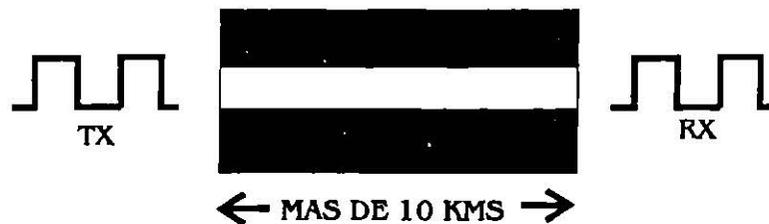
## CARACTERISTICAS

### TIPO 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 (ver figura)

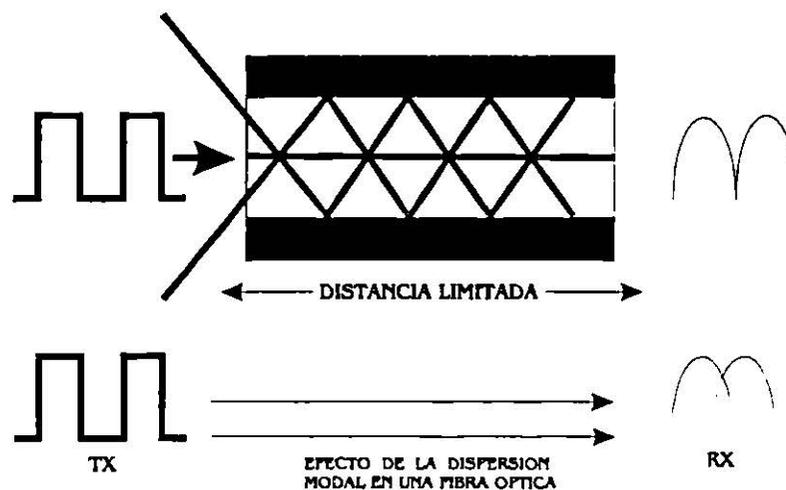


- **MULTIMODO**

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

## 1. FIBRAS DE INDICE ESCALONADO.

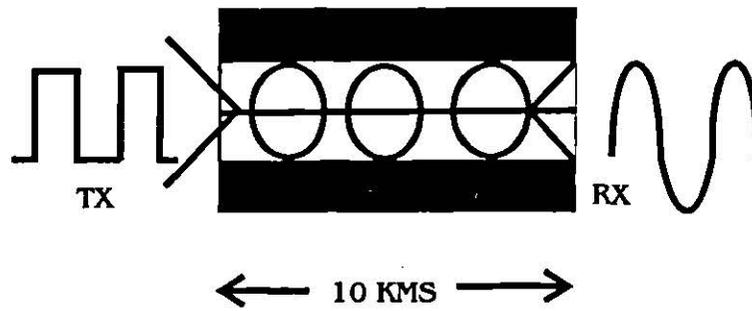
El núcleo de estas fibras están constituido de un índice de refracción constante, rodeado por un revestimiento. El índice del revestimiento siempre es menor que el del núcleo con el que hace frontera; en este caso si ocurre dispersión modal donde  $a$  es el radio del núcleo (ver figura)



## 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 va flexionando gradualmente regresando al centro del núcleo como se observa en la figura donde  $A$  es el radio del núcleo.

Esto explica la razón por la que en este tipo de fibra la atenuación es menor, comparada con la fibra de índice escalonado, donde el cambio en el índice de refracción es mucho más brusco.



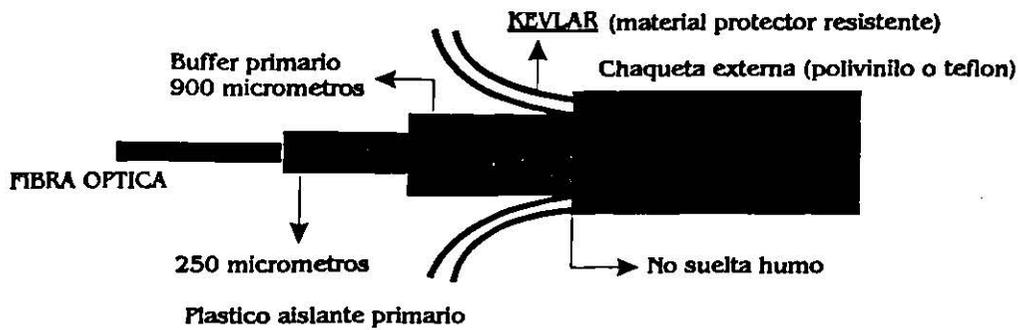
**CAPACIDAD DE TRANSMISION.**

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

TIPO DE CABLE	CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN DE INFORMACION	CONVERSIONES SIMULTANEAS TEORICAS
Par sencillo	1 MHz-Km	300
Coaxial	100 MHz-Km	30,000
Fibra óptica	100 GHz-Km	30,000,000

**DIMENSIONES**

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



**FIBRA OPTICA CON BUFFER APRETADO**



**FIBRA OPTICA SIN BUFFER APRETADO**

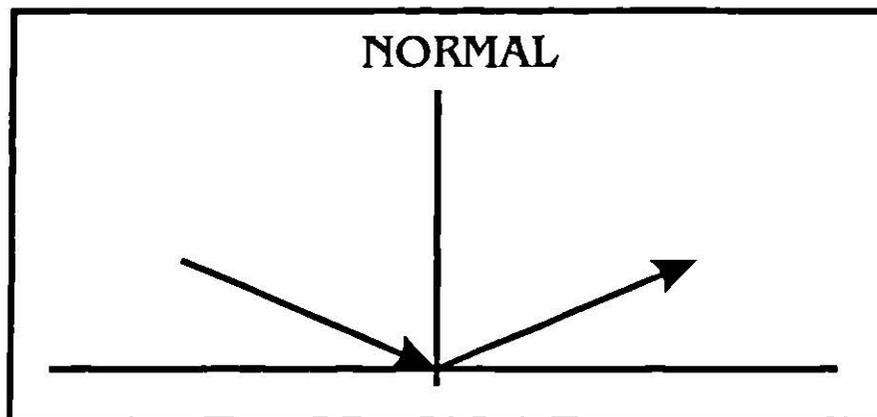
TAMANO (Núcleo/Revés) DIAMETRO	NA	ATENUACION (dB/Km)		ANCHO DE BANDA MHZ-KM	
		830 nm	1300 nm	830 nm	1300 nm
100/140 um	.29	6	3	100-400	100-400
62.4/125 um	.275	4	2	150-600	200-600
50/125 um	.20	3	1.5	100-800	400-1500

**PROPAGACION DE LA LUZ**

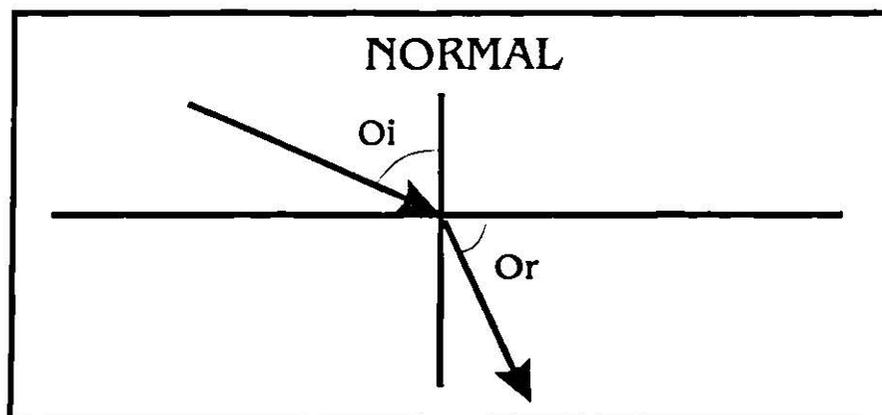
Para estudiar la propagación de la luz en medios transparentes se describen dos fenómenos:

- REFLEXION
- REFRACCION

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



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



### 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:

$$AB = \frac{0.44}{\Delta t} \text{ (Mhz - Km)}$$

Donde  $\Delta t$  es el ensanchamiento del pulso en nanosegundos.

## **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 esta determina sin 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, esta pierde parte de su energía por varias imperfecciones de la fibra. Estas pérdidas (o Atenuación) son medidas en decibeles por kilometro (dB/Km). Para cualquier cable dado la atenuación de curso será la atenuación de la fibra (dB/Km) multiplicada por la longitud (Km) del cable. Obviamente, la mayor atenuación, la menor será la luz que alcanza el receptor.

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

## **ABSORCION**

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

## **DISPERSION**

Variaciones en las moléculas, densidad y composición de la fibra causa dispersión de la luz. Estos límites de dispersión y la corta la longitud de onda; la perdida es inversamente proporcional a el cuarto poder de la longitud de onda.

## RADIACION

Durante la manufactura o instalación del cable de fibra, muy pequeño pero marcadas curvas a veces ocurren accidentalmente en la fibra. 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.

## SEÑALES DE DISTORSION

Como el pulso de la luz viaja a lo largo de una fibra óptica, ella cuida a volver a agrandarse, frecuentemente a el punto que ella coincidirá otro pulso y manchará la información, esta dispersión de pulsos ( propagación o ensanchamiento) hace difícil para el receptor distinguir un pulso 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

## DISPOSITIVOS PARA LA EMISION Y DETECCION DE LUZ

### 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

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

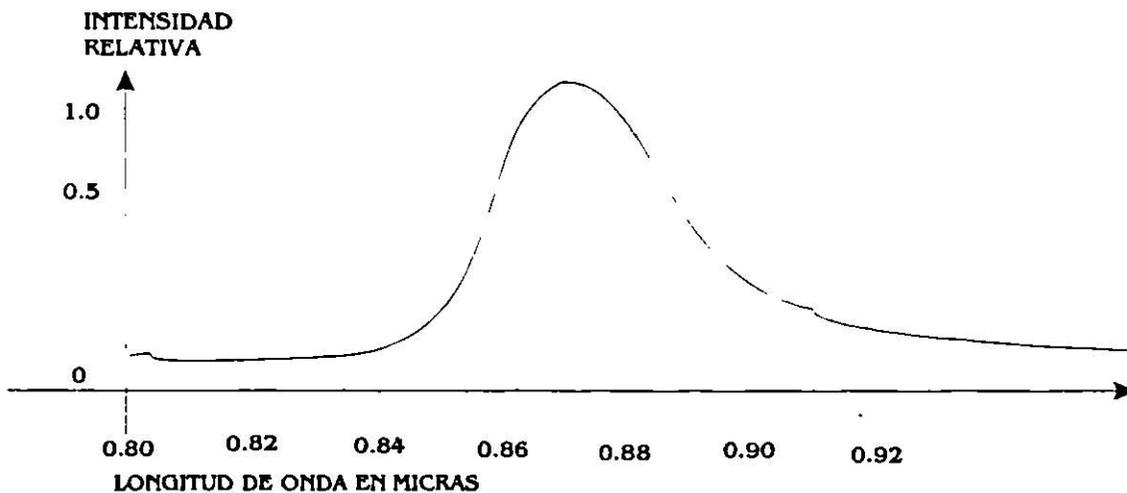
La separación de la superficie emisora es angosta para minimizar pérdidas por absorción. Este tipo de diodo la radiación es constante en todas direcciones, esencialmente isotrópica y con una distribución de emisión de 120 grados.

## DIODO EMISOR LATERAL

Este tipo de diodo utiliza una doble heterounion 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.



## DIODO LASER DE INYECCION

El principio básico para la emisión de un diodo láser es la emisión estimulada.

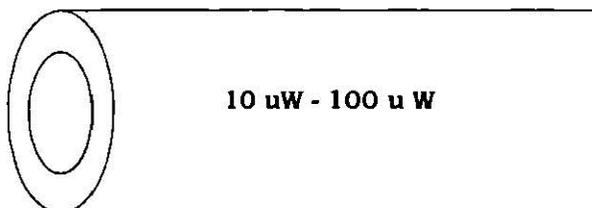
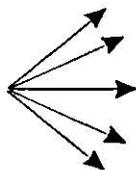
La amplificación de la luz se produce cuando un fotón incidente estimula la emisión de un segundo fotón, con una energía casi igual a la energía de separación entre los dos niveles electrónicos.

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

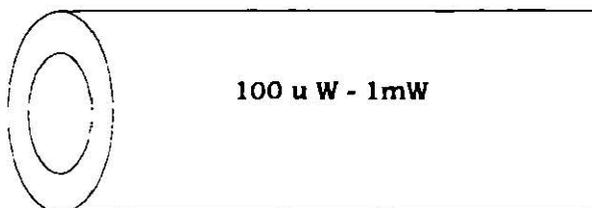
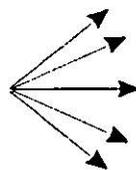
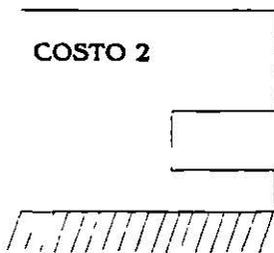
**FOTO EMISORES**

**POTENCIA DE ENTRADA A LA FIBRA OPTICA**

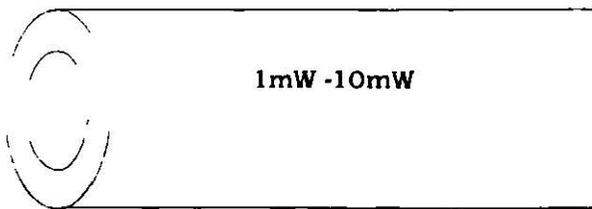
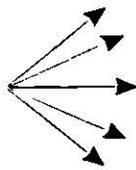
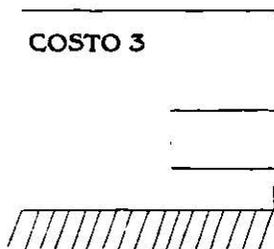
**DIODO EMISOR DE SUPERFICIE**



**DIODO EMISOR LATERAL**



**DIODO LASER DE INYECCION**



**USOS DE 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 de "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 microlasers 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 catéters 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.

## USOS DE LA FIBRA OPTICA EN LA INDUSTRIAL Y EN SISTEMAS DE COMUNICACION.

Una de las consideraciones mas importantes en la utilización de fibras ópticas y rayos de luz para transmisión de datos y comunicaciones es el hecho de que los rayos luminosos son prácticamente inmunes a las interferencias eléctricas cuando se envían por un camino de transmisión de Fibra Optica. Las radiaciones electromagnéticas, como descargas eléctricas, rayos y efectos de diafonía son prácticamente eliminados en un sistema de transmisión por fibra óptica. Veamos su importancia, por ejemplo una gran instalación de computadoras y se debe establecer una comunicación entre las diversas máquina, dependiendo de la integridad de la comunicación, de la eliminación de señales de interferencia provocadas por el sistema. Utilizando la luz y fibras ópticas se resuelve este problema.

Debemos tener presente el significado del uso de la luz de las frecuencias luminosas en las comunicaciones. Si consideramos el hecho de que para la transmisión de información es necesaria una pequeña banda de frecuencias (quizá del orden de los Khz), pensemos entonces en la cantidad de bandas que puede contener la región luminosa del espectro de frecuencias sin que se interfieran unas con otras. Además, ya como las bandas pueden hacerse mas anchas, es posible transmitir información a velocidades mucho mayores. Se ha descubierto que en los sistemas de fibras ópticas pueden enviarse datos digitales y analógicos de manera conjunta sin ningún tipo de problema. Los costos son menores que los cables de cobre; existe también menos diafonía e interferencias como ya se menciono anteriormente. Por lo que esto significa que los costos son menores.

Dentro de sus aplicaciones la mas mencionada se da en el área de comunicaciones telefónicas. Otro uso de la fibra óptica está en los carros y aviones

donde la fibra óptica se utiliza para reducir el peso del cableado. También se emplea en redes de computadoras donde se recomienda su uso cuando se trata de comunicar redes que se encuentran a una distancia considerable una de otra.

## **EMPALMES, CONECTORES Y ACOPLADORES**

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

Las uniones en las fibras ópticas pueden ser fijas o temporales. En la primera unión se lleva a cabo por un empalme permanente, y en la segunda se utilizan conectores que pueden ser removibles.

El tipo de unión a elegir depende de las necesidades de la instalación.

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

### **EMPALMES**

En el mundo de los conectores de cobre, el empalme puede ser una simple pareja de alambres unidos y soldados. Pero los empalmes de la Fibra Óptica son una tarea mucho más complicada. Capacitación especial, práctica y equipo, junto con paciencia y una buena coordinación son necesarios para hacer empalmes aceptables. Los dos métodos básicos para los empalmes son: Mecánicos y Fusión. Los empalmes mecánicos se utilizan principalmente en enlaces de corta distancia donde se puede tolerar pérdidas considerables. Este tipo de empalme une la fibra óptica por medios mecánicos tales como ranura en forma

de varillas (se puede agregar una sustancia epóxica para adherir las fibras y además actuar como acoplador óptico).

El empalme por fusión es el método mas utilizado y consiste en aplicar calor en una zona específica entre las fibras a unir, suavizándolas y fusionándolas. Las fibras ópticas deben prepararse en los extremos para que estén planas y perpendiculares al eje, limpiando la fibra de grasa y polvo.

## CONECTORES

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

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

En el primer caso, se utilizan estructuras que requieren de precisión lateral, azimutal y longitudinal para lograr el alineamiento 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 mas utilizados son los de acercamiento mecánico y en este tipo se encuentran muchas variedades que combinan costos, perdidas ópticas, durabilidad, etc.

## **PROCESO DE CONECTORIZACION**

A continuación se dan los pasos a seguir para conectorización.

- 1) Preparar la fibra.
- 2) Cortar la cubierta externa.
- 3) Cortar el buffer primario junto con el kevlar.
- 4) Poner epóxico dentro del conector.
- 5) Poner el conector hasta que tope en el buffer primario.
- 6) Calentar el conector para secar el epóxico.
- 7) Pulir la terminal del conector.

## **ACOPLADORES**

En el sistema, los consideramos aun lejanos, únicamente son utilizados en terminales; una terminal transmitiendo y otra recibiendo. Para un sistema muliterminal, una simple transmisión común, camino o línea - un Data Bus -, puede ser usado en su lugar un separador de línea de cada terminal a la otra terminal. Así, la cantidad de cable requerido es reducido significativamente.

La transmisión de múltiple señal en un bus común es posible a través de multiplexores. El acceso a el bus se hace posible a través de acopladores que desvíen parte de la señal de poder del BUS a la terminal la señal acoplada de la terminal en el BUS.

Un acoplador óptico mezcla señales ópticas o divide esta como sea necesario. Son dos los tipos de acopladores básicos:

- El acoplador estrella.
- El acoplador direccional.

## CAPITULO VII

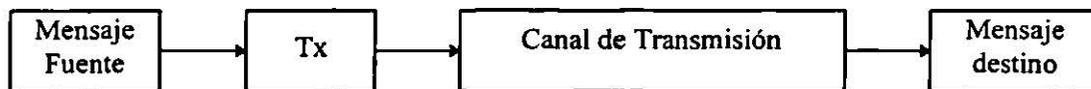
### DISEÑO DE SISTEMAS DE COMUNICACION CON FIBRA OPTICA.

#### ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACION

Un sistema de comunicación surge de la necesidad de transmitir información de un punto a otro. Durante los últimos años han aparecido muchas formas de sistemas para realizar esta función.

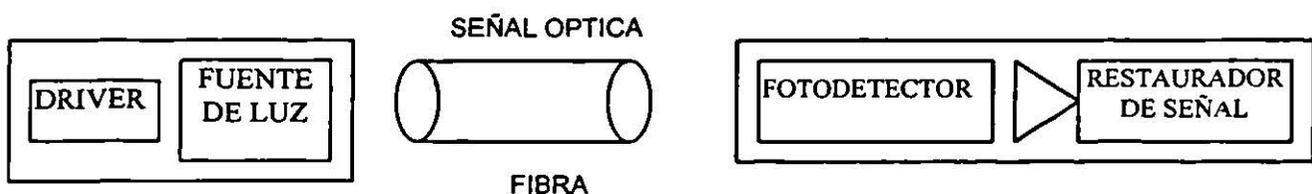
Las principales motivaciones para generar tales sistemas y para su evolución han sido mejorar la fidelidad en la transmisión, incrementar la velocidad de transmisión de información e incrementar la distancia entre repetidores entre otras.

En su forma mas elemental un sistema de comunicación consta de los siguientes elementos.



#### ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACION CON FIBRA OPTICA

Una transmisión con fibra óptica consiste de los siguientes elementos:



La instalación de líneas de fibra óptica puede ser aérea, en ductos, submarina, o enterrada directamente en tierra. La longitud en las diferentes instalaciones varía de cientos de metros a varios kilómetros de distancia.

Una de las principales características de la fibra es su atenuación como función de la longitud de onda. Inicialmente se hizo uso exclusivo de la banda de 800 a 900 nm, dado que en esta región las fibras exigen un mínimo en la curva de atenuación, y se disponía de fotoemisores y fotodetectores a estas longitudes de onda. Ahora en la actualidad mediante técnicas de reducción de iones de hidrógeno y de impurezas metálicas, los fabricantes obtienen fibras con muy bajas pérdidas en la región de 1100 a 1600 nm.

## **EJEMPLOS DE DISEÑO CON FIBRA OPTICA**

El diseño de enlace óptico relaciona muchas variables respecto a las características tanto de la fibra óptica, la fuente de luz, el fotodetector, así como los circuitos involucrados.

El diseñador debe escoger cuidadosamente los componentes para asegurar que el nivel del sistema sea mantenido por arriba del requerido sin especificar las características de los componentes.

Los requerimientos claves a considerar en un sistema son principalmente:

- \* La distancia de transmisión deseada (posible)
- \* La velocidad de transmisión de datos o el ancho de banda por canal.
- \* La proporción de bit erróneos (BER).

Para cubrir estos requerimientos es necesario seleccionar las características de los componentes entre los cuales se encuentran los siguientes:

**1. Fibra multimodo o Monomodo.**

- a) Tamaño del núcleo.
- b) Perfil del índice de refracción del núcleo.
- c) Ancho de banda.
- d) Atenuación.
- e) Apertura numérica.

**2. Fuente de luz., LED o Diodo Láser**

- a) Longitud de onda emitida.
- b) Ancho espectral.
- c) Potencia de salida.
- d) Area efectiva de radiación.
- e) Patrón de radiación.

**3. Detector óptico fotodiodo PIN o fotodiodo de avalancha APD**

- a) Respuesta.
- b) Longitud de onda de operación.
- c) Velocidad.
- d) Sensibilidad.

Cuando una señal óptica ha viajado una cierta distancia por una fibra, la señal se atenúa o distorsiona a tal grado que se requiere de un repetidor en la línea de transmisión para amplificar y reconstruir la señal.

Una de las metas de un diseñador es conseguir distancias entre repetidores en la línea de transmisión debido a que cada uno de estos agrega costo al diseño.

# BIBLIOGRAFIA

Comunicaciones Opticas

Telcom Report vol. 6

Siemens

Transmisores y Receptores para Sistemas de Telecomunicaciones vía Fibra Optica

Centro de investigaciones y estudios avanzados del IPN del departamento de Ingeniería Eléctrica.

Mayo 1991

Introducción a la Fibra Optica y el Láser

Edward L. Safford

Editorial Parainfo, 1988

Sistemas de Fibras Opticas

Ing. Leopoldo R. Villarreal Jiménez

FIME, 1994

Fiber Optics

Edward A. Lacy

Editorial Prentice Hall

Fibras Opticas (Conceptos Básicos)

Capacitación Digital

Telmex

