

56  
1<sup>ej.</sup>



# Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

## MANUFACTURA DE LA FIBRA OPTICA

T E S I S  
Que para obtener el Título de  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
p r e s e n t a  
JOSE ALBERTO FLORES TREJO



Director de Tesis: Ing. Ubaldo E. Márquez Amador

México, D. F.

1992

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## **I N D I C E .**

	<b>PAG.</b>
<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I.</b>	
<b>PANORAMA GENERAL.</b>	
<b>I.1) Antecedentes Históricos y Generales.</b>	<b>1</b>
<b>I.2) El Silice en la Fibra Optica.</b>	<b>5</b>
<b>CAPITULO II.</b>	
<b>GENERALIDADES DE LA FIBRA OPTICA.</b>	
<b>II.1) Definición.</b>	<b>7</b>
<b>II.2) Estructura.</b>	<b>8</b>
<b>II.3) Principio de Operación.</b>	<b>10</b>
<b>II.4) Clasificación de la Fibra Optica.</b>	<b>13</b>
<b>II.5) Propiedades Físicas y Mecánicas.</b>	<b>15</b>

### CAPITULO III.

#### MANUFACTURA.

III.1) Métodos de Fabricación.	17
III.2) Fabricación de la Fibra Óptica.	19
III.3) Preforma.	20
III.3.A) Método MCVD.	
<i>(Deposición Química Interna de Vapor).</i>	24
III.3.B) Método OVD.	
<i>(Deposición Externa de Vapores).</i>	29
III.3.C) Método VAD.	
<i>(Deposición Axial de Vapor).</i>	34
III.3.D) Método PCVD.	
<i>(Deposición de Vapor por Plasma Químico).</i>	37
III.4) Estirado de la Preforma.	40
III.5) Proceso de Crisol.	43
III.5.A) Elaboración de la Varilla.	43

### CAPITULO IV.

#### PRUEBAS MECANICAS APLICADAS A LA FIBRA OPTICA.

IV.1) Prueba de Tensión.	51
--------------------------	----

IV.1.A) Descripción del Equipo para la Prueba de Tensión.	52
IV.1.B) Resultados Obtenidos del Ensayo.	54
IV.1.C) Resultados de la Prueba.	55
IV.2) Prueba Mecánica de Compresión.	56
IV.2.A) Descripción del Equipo para la Prueba de Compresión.	56
IV.2.B) Parámetros Obtenidos Después del Ensayo.	57
IV.2.C) Resultados de la Prueba.	57
IV.3) Prueba Mecánica de Impacto.	59
IV.3.A) Descripción del Equipo para la Prueba de Impacto.	60
IV.3.B) Parámetros Obtenidos de la Prueba.	60
IV.3.C) Resultados de la Prueba.	61
IV.4) Prueba Mecánica de Torsión.	62
IV.4.A) Descripción del Equipo para la Prueba de Torsión.	62
IV.4.B) Parámetros Obtenidos Después de la Prueba.	63
IV.4.C) Resultados de la Prueba.	63
IV.5) Prueba Mecánica de Vibración.	65

IV.5.A) Descripción del Equipo para la Prueba Mecánica de Vibración.	65
IV.5.B) Parámetros Obtenidos Después de la Prueba.	66

## CAPITULO V.

### APLICACIONES Y PERSPECTIVAS DE LA FIBRA OPTICA.

V.1) Aplicaciones Generales.	74
V.2) Aplicaciones en Telefonía.	76
V.2.A) Enlaces Urbanos.	76
V.2.B) Enlaces a Larga Distancia.	76
V.2.C) Enlaces de Abonados.	77
V.3) Aplicaciones de Televisión por Cable.	77
V.3.A) Sistemas de Transmisión de Video.	77
V.4) Aplicaciones Militares.	78
V.4.A) Comunicación por Cables Submarinos.	78
V.5) Aplicaciones en Sistemas de Potencia.	79
V.6) Aplicaciones a Procesos de Control e Instrumentación.	80
V.7) Aplicaciones Diversas.	81
V.7.A) En Computadoras.	81
V.7.B) En la Medicina.	81

V.7.C) En Aparatos de Uso Convencional.	82
V.8) Proyectos Significativos.	82
V.9) Previsiones Actuales y Previsiones del Mercado hasta 1990.	86
V.10) Costos y Reflejos de la Tecnología.	92
V.11) Proyectos de la Fibra Optica en México.	93
CONCLUSION.	95
DICCIONARIO DE TERMINOS TECNICOS.	99
BIBLIOGRAFIA.	107

# I N T R O D U C C I O N



## INTRODUCCION.

En nuestra vida cotidiana nos encontramos con diversos artefactos que muchas veces escapan a nuestra atención, por parecernos desconocidos o incomprensibles.

Todos nos hemos preguntado alguna vez cómo funciona tal o cual sistema, equipo o elemento, y muchas veces nos contestamos que es poco o casi nada lo que sabemos acerca de éstos.

De aquí surge otra pregunta: Quiénes? y cómo? son los responsables de investigar y difundir todo lo que concierne a la parte oculta de la tecnología que a diario usamos y vemos?

La respuesta sería casi inmediata, pues involucra a investigadores, profesionistas y técnicos, que interactúan a través de las distintas ramas de la ciencia.

Una de las ramas que más profundiza en el estudio y análisis de todo esto, es la Ingeniería.

Todas estas inquietudes científicas, nos han conducido a realizar un trabajo de investigación sobre un elemento que ha revolucionado áreas científicas y comerciales y que ha impactado el medio de las comunicaciones, su nombre es Fibra Optica.

En México, el uso de la Fibra Optica es prácticamente reciente lo que se conoce de ella; en gran parte es en cuanto a su modo de operación y aplicaciones, pero poco se sabe cómo se hace y cuales son sus métodos de manufactura existentes para producirla.

La producción de Fibras Opticas en el mundo se ha incrementado en los últimos años, ya que, por sus características, está sustituyendo a los elementos convencionales que están destinados al mismo fin y según pronósticos científicos e industriales, su sustitución será definitiva antes de concluir el presente siglo.

Es por esto el interés de la investigación de este trabajo que pretende dar a conocer lo más ampliamente posible los diversos métodos de fabricación más recientes que emplean las patentes extranjeras, y así mismo dar el punto de partida para crear la inquietud sobre la aplicación y mejoramiento de la investigación de este material.

# C A P I T U L O I

## P A N O R A M A G E N E R A L

## I.1) ANTECEDENTES HISTORICOS Y GENERALES.

Desde el inicio de la humanidad ha existido la necesidad de comunicación entre los hombres. Esto se ha logrado desde la forma más primitiva de emitir mensajes que van desde el uso del fuego, sonidos y señales luminosas hasta los sistemas más evolucionados de comunicación de nuestra era.

Hoy en día las Telecomunicaciones engloban a todos aquellos sistemas, equipos y métodos que facilitan la transmisión de información, generalmente por métodos electrónicos.

La información adquiere la forma de voz, documentos, gráficas, imágenes, códigos y datos. Todo esto es susceptible de ser procesado electrónicamente y así hacerlo fluir a través de los medios de comunicación que nos rodean.

Los radios, televisores, teléfonos, telefax, computadoras y satélites, han encontrado un lugar y una aplicación particular en las telecomunicaciones; de entre todos destaca un elemento común a todos en su construcción física y en su principio de operación denominado Fibra Óptica.

La Fibra Óptica es una guía de luz láser, fabricada a base de vidrio. Son pequeñas, ligeras, compactas, con bajas pérdidas, gran capacidad de transmisión de información y prácticamente libre de interferencias e intercepciones.

La Fibra Óptica nació de la idea de utilizar la luz como medio de comunicación altamente eficiente. Las ondas de luz, al igual que las de radio, son una forma de energía electromagnética y la idea de transmitir información por medio de la luz, como portadora de mensajes, tiene más de un siglo de antigüedad.

En 1880, *Alejandro Graham Bell* demostró que la luz podría modularse como medio de comunicación; fué esta la primera

comunicación optoelectrónica que existió. El aparato inventado se llamó "fotófono", que tenía la peculiaridad de enviar mensajes vocales a corta distancia por medio de luz. Esta transmisión tenía, sin embargo, grandes problemas ya que no se disponía de un emisor de luz con las características y la confiabilidad adecuadas. Algunos de éstos problemas están relacionados con la capacidad de transmitir en una sola frecuencia y en una sola dirección.

Sin embargo, los problemas de incoherencia de la luz generada por dispositivos convencionales se vieron resueltos en 1960, con la invención del Láser, que es la ampliación de la luz por emisión estimulada de radiación, es un dispositivo que produce un haz de luz de intensidad tal, que llega a una distancia de 40 km.

Las ondas poseen una característica importantísima, la coherencia apropiada para transportar informaciones y mensajes, por ello se utilizan las Telecomunicaciones.

Las ventajas de usar Láser fueron enormes, ya que se podían transmitir modulaciones de muy altas frecuencias.

Entonces comenzaron los estudios básicos sobre los procesos de detección y modulación de la luz.

Los primeros experimentos sobre transmisión por la atmósfera pusieron de manifiesto diversos obstáculos: escasa fiabilidad, debido a las precipitaciones, lluvia y nieve, contaminación atmosférica, turbulencias atmosféricas, etc., ya que esto reducía la potencia de transmisión de la luz. Por otra parte, mecanismos de espejos (pérdida) se requerían para enviar la señal en presencia de obstáculos, por lo que era necesario una forma más transparente de guiar la luz así generada.

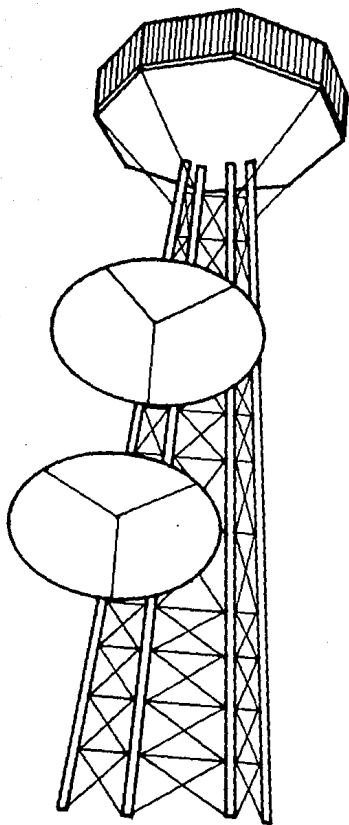
En 1880 Tyndall había demostrado que la luz podía ser conducida dentro de un chorro de agua; y la guía de onda dieléctrica consiste en tubo de material dieléctrico, que se había estudiado en 1910 por Deybe. Lo anterior constituye los antecedentes más impactantes de las Fibras Ópticas.

El verdadero inicio lo marcan en esta area Kao y Hockham, investigadores de la *Standard Telecommunications Labs.*, quienes en 1966 determinaron que podian producir fibras de vidrio quitadoras de luz, con atenuaciones suficientemente bajas para emplearse en la comunicacion de grandes distancias: por aquella epoca las atenuaciones tipicas de las fibras eran 1000 dB/km.

En 1970 *Keek y Maurer de Corning Works*, fabricaron fibras con atenuaciones de 20 dB/km, y en 1982 han producido fibras de 0.25 dB/km.

Para 1988 se conocen ya las fibras con atenuacion de 0.02 dB/km. Algunos de los beneficios más importantes de la transmision por Fibra Optica son el resultado de las propiedades dieléctricas del conductor de luz, aislamiento eléctrico, inmunidad al ruido, seguridad y confianza en la transmision, son los principales ejemplos de estas ventajas.

Por todas estas razones, se hace notar que el elemento denominado Fibra Optica es y será el medio de transmision más importante de nuestros tiempos.



LOS AVANCES TECNOLÓGICOS HAN SIMPLIFICADO LA COMUNICACION.  
FIG. I.1.1



## 1.2) EL SILICE EN LA FIBRA OPTICA.

Los elementos naturales de los cuales nos ha previsto la naturaleza han tenido a través del tiempo una gran aplicación tecnológica que redundan en beneficios para los seres humanos. El Silice (Si) no escapa a estas características; mineralógicamente el Silice comprende la formación de varios yacimientos dentro de los cuales se encuentran los cuarzos (ideales para la formación de vidrios), por estas características morfológicas, el hombre prehistórico lo utilizó como elemento cortante en la fabricación de arpones y puntas de flecha.

En la medida que se asentaban las grandes civilizaciones, el procesamiento del Silice también evolucionó, así éstas descubrieron las diversas variedades del vidrio, que en combinación con otros elementos naturales nos generan vidrios muy específicos propios para un uso determinado.

Existe otro factor que ayudó al conocimiento y al procesamiento del Silice, fue su gran abundancia en la naturaleza, ya que es un elemento mayoritario en la corteza terrestre.

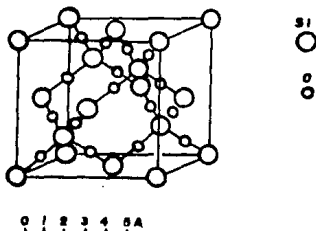
El Silice (Si) es un material que pertenece al grupo de los cerámicos, constituye las arenas areniscas y cuarzitas. Este elemento solo se puede reducir con elementos como el Hidrogeno (H<sub>2</sub>), Carbono (C), Boro (B) y algunos metales.

La estructura cristalina del Silice es tal que cada átomo de Silicio está rodeado de cuatro átomos de Oxígeno situados como en los vértices de un tetraedro regular cuyo centro es el átomo de Oxígeno, que está unido a través de silicatos.

De esta manera la red de tetraedros Si O<sub>4</sub> condensados por los vértices se extiende en una estructura tridimensional que abarca todo el cristal. Como cada Silicio (Si) está unido a cuatro Oxígenos (O) y cada Oxígeno (O) a dos Silicios (Si) la

fórmula natural resulta  $SiO_2$ . Gracias a su estructura y a su inmejorable pureza como material, es el Silice el elemento base para la fabricación de distintos tipos de vidrio; así como los vidrios presentan propiedades únicas para unir su procesamiento ya que se puede fundir, enrollar, estirar, prensar y soplar, pero definitivamente, dependiendo del uso al que se le destine, cada vidrio dependerá de un proceso de fabricación.

Por éstas razones, la evolución en el campo de la óptica y por la necesidad de obtener un medio de transmisión cada vez más confiable, se llegó al logro de producir un elemento cristalino de dimensiones micrométricas, bajo en pérdidas y con características de transmisión insuperables, conocido en el mundo como Fibra Óptica.



**ESTRUCTURA ATOMICA DEL SILICIO**  
**ESC. DIBUJO EN ARMSTRONGS**

**FIG. 1.2.1**

**C A P I T U L O   I I**

**G E N E R A L I D A D E S**

**D E   L A   F I B R A**

**O P T I C A**

## II.1) DEFINICION.

La Fibra Optica es un elemento en forma de filamento que se utiliza como medio de transmisión. Dicho elemento en su constitución más simple tiene una región central, que guía a la luz que es conocida con el nombre de *Núcleo*; ésta a su vez está rodeada de una capa de material conocida como *Revestimiento* (*Región Coaxial Exterior*).

Normalmente éstas dos regiones, tanto *Núcleo* como *Revestimiento*, son fabricadas del mismo material, aunque también existen combinaciones con otros, pero, cuidando siempre que el índice de refracción del *Núcleo* sea mayor al del *Revestimiento*.

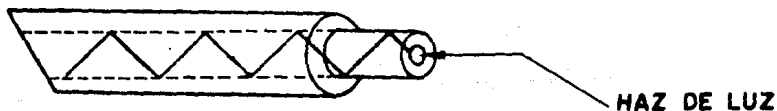


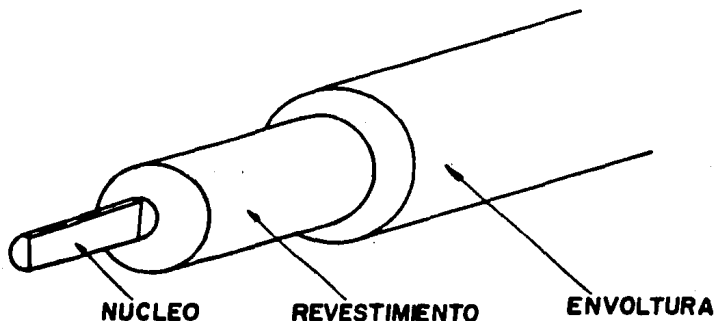
FIG. II.1.1

Las Fibras Opticas convencionalmente son de vidrio. éstas son fabricadas a base de Silíce, utilizando para la modificación de los índices de refracción, elementos como el Boro, Potasio y Germanio, entre otros.

Cabe señalar que también se fabrican Fibras Opticas a base de plástico y que en muchas ocasiones, tanto para Núcleo como para Revestimiento, existen combinaciones de materiales cristalinos y plásticos.

## II.2) ESTRUCTURA.

Una Fibra Optica es una estructura larga y generalmente cilíndrica, que consiste en dos regiones básicamente, Núcleo y Revestimiento y una tercera envoltura, que sirve de protección para las otras dos:



ESTRUCTURA FISICA DE UNA FIBRA OPTICA.

FIG. II.2.1

**a) Núcleo (core)**

Es la parte central y principal por donde viajan los rayos de luz. El Núcleo normalmente es de vidrio o cuarzo de mayor pureza y con un índice de refracción más alto que el Revestimiento.

El diámetro del Núcleo varía dependiendo del tipo de fibra que se trate.

**b) Revestimiento (cladding).**

Es una capa que rodea al Núcleo y funciona como reflector que atrapa los rayos en el Núcleo. El material del que está hecho es también vidrio o cuarzo de menor pureza y con un índice de refracción menor que el Núcleo. Su diámetro es el mismo para cualquier tipo de fibra.

**c) Envoltura (coating).**

Es un material protector adherido sobre el Revestimiento para preservar la fuerza y evitar pérdidas de transmisión ocasionadas por daños mecánicos (rayaduras, raspaduras, desgaste, etc.), por humedad y ambientes que puedan debilitar a la fibra.

Las envolturas se hacen en diferentes plásticos, y además pueden ser en varias capas teniendo un intervalo de diámetro entre 0.1 a 2.5 mm., aproximadamente. Dos son los parámetros básicos que dan fundamento a la estructura, éstos son:

1) Que la pureza del material del Núcleo sea tan alta que la atenuación se mantenga dentro del límite razonable.

2) Que los rayos, que por una razón u otra tiendan a cambiar su dirección de propagación, se mantengan dentro del Núcleo de la fibra.

### II.3) PRINCIPIO DE OPERACION.

Los principios de funcionamiento de la Fibra Optica está basado en el fenómeno de la *Refracción Interna*. Para poder comprender el principio, es necesario definir algunos términos.

#### a) Índice de Refracción.

Las ondas electromagneticas viajan en el vacío a la velocidad de la luz  $C$ . En el aire es la misma velocidad, pero en otros medios, tales ondas viajan a menores velocidades  $V$ . Para cuantificar esta diferencia de velocidades se ha definido un *Índice de Refracción  $N$*  (con ligeras variantes). Dentro del rango de longitudes de onda o frecuencias, que se pueden propagar en ese material.

Las leves variantes en la composición como impurezas o dopantes afectan el valor del *Índice de Refracción ( $n$ )* alterándose también las propiedades ópticas del material, tal es el caso de las Fibras Opticas donde las diferencias entre *Núcleo* y *Revestimiento* están en la segunda o tercera cifra decimal de su valor de *Índice de Refracción*, esto es:

$$n \text{ Núcleo} > n \text{ Revestimiento}$$

### b) Ley de Snell (Ley de Refracción).

Quando la luz (onda electromagnética) viaja dentro de un material, ésta contiene una velocidad y una dirección de propagación. Sin embargo, al pasar de un medio a otro, no solo cambia la velocidad, sino también la dirección de propagación. Este fenómeno físico fué explicado por el físico holandés Snell, expresada como:

$$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2$$

Donde:

$n_1$  y  $n_2$  índices de refracción del medio de propagación,  $\theta_1$  y  $\theta_2$  son los ángulos de las direcciones de propagación, medidos éstos con respecto a la normal (perpendicular) a la frontera entre los medios 1 y 2.

Dentro del espectro visible del espectro electromagnético, el ojo se distingue claramente un material opaco de uno transparente. Las ondas sonoras tienen cierta intensidad en el aire, pero en el agua y en el acero parecen ser más intensas. Es decir, que el agua y el acero son transparentes al sonido, de manera similar al Silicio y el Germanio son transparentes en un amplio rango infrarrojo.

### c) Reflexión Total Interna.

La Fibra Optica funciona bajo el principio de la reflexión interna. Esto se explica considerando dos materiales  $n_1$  limitado por un material  $n_2$  siendo  $n_1 > n_2$ .

Si se enviara dentro del medio  $n_1$  un rayo de luz viajando de izquierda a derecha con una inclinación tal que estuviera próxima a la horizontal, entonces éste rayo se reflejará sucesivamente en las fronteras, entre los medios y permanecerá indefinidamente dentro del medio  $n_1$ .

Es conveniente señalar que experimentalmente se ha comprobado que ángulos mayores a  $12^\circ$  aumentan las pérdidas en la potencia de transmisión.



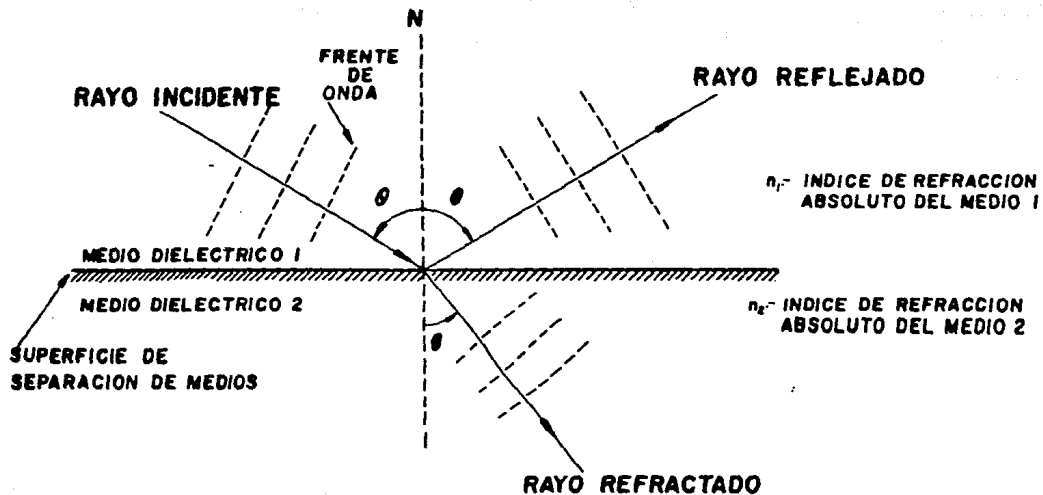


FIG. II.3.C

## II. 4) CLASIFICACION DE LA FIBRA OPTICA.

La clasificación que se tiene de la Fibra Optica derivadas de las patentes que las fabrican es de acuerdo a:

I) Según modo de propagación.

II) Según el material.

I) Según el modo de propagación.

Fibra de modo único y multimodo.

Las ondas ópticas se propagan en el Núcleo de la fibra sujetas al Principio de Reflexión Total dentro de ésta estructura, semejante a una guía de onda, las guías ópticas tienen ángulos de propagación discretos específicos, los cuales se determinan en base a las relaciones de fase de las ondas ópticas a lo largo y normal del eje de la fibra. Las ondas que satisfacen dichas relaciones se denominan "modo".

El número de "modos" que se propagan en la fibra se determina según la longitud de onda óptica, la diferencia de Índice de Refracción entre Núcleo y Revestimiento, del Índice de Refracción del Núcleo y dimensiones del Núcleo de fibra que admite un solo modo se denomina Fibra de Modo Único (single-mode fiber) y aquella que admite varios modos se llama Fibra Multimodo (multimod fiber).

La Fibra Multimodo se clasifica a su vez por su perfil de índice de refracción de Núcleo y puede ser:

a) Fibra Multimodo de Índice Escalón (step-index) tiene un índice de refracción uniforme, esto nos conduce a que sea suficientemente grande para que se propague un cierto número

de *modos*. Se puede ver que un incremento en el tamaño del Núcleo y en la apertura numérica, incrementa la cantidad de potencia que puede ser lanzada hacia la fibra desde una fuente de luz lumínica con un área de emisión mayor que la del Núcleo de la fibra.

El comportamiento de la fibra está influenciado por la distribución de potencia en los *modos* a lo largo de la fibra.

b) Fibra Óptica de Índice Gradual (*graded-index*). La fibra de índice gradual *index*, tiene un perfil casi parabólico, posee características de banda ya que en tal tipo de fibra las diferencias de velocidad de propagación entre *modos* son pequeñas.

## II) Según el Material.

La elección de materiales se hace en base a muchos requerimientos entre los que destacan la transparencia y la fiabilidad del material para formar un filamento fino y disponible en los índices de refracción por lo menos cercanos pero diferentes.

Estos requerimientos limitan ya los materiales utilizables a unos cuantos tipos de vidrio y plástico. Para las Fibras Ópticas la necesidad de tener bajas pérdidas de absorción, lo que significa una gran pureza, ha hecho que los materiales y técnicas usadas sean diferentes de los conocidos en la Industria del Vidrio. Esto ha hecho que surja un gran interés en vidrios preparados, que llegan a tener un alto contenido de Silicio y que se producen en reacción de Tetra Cloruro de Silicio, usando pequeñas cantidades de contaminante para modificar su Índice de Refracción.

La estructura molecular de los vidrios, por otra parte, es notablemente diferente de los llamados cristales (semiconductores). En éstos últimos, los átomos individuales se definen en una cadena bien formada que crea patrones repetitivos en una estructura tridimensional. En el caso del vidrio se trata

de un material amorfo en el que grupos de átomos se concentran débilmente y la estructura puede modificarse por la adición de otros componentes.

Estos componentes tienden en general a reducir la coherencia del material, su temperatura de fusión y cambiar también el índice de refracción del vidrio, los materiales más utilizados provienen de los grupos de vidrio y silicatos ( $SiO_2$ ) con adiciones de  $GeO_2$ ,  $P_2O_5$ , (Óxido de Germanio y Óxido de Fósforo) para cambiar el índice de refracción sin modificar en forma negativa las propiedades mecánicas y térmicas.

## II.5) PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS.

La Fibra Óptica es un elemento que presenta características diferentes, comparadas con otros destinados para el mismo uso.

Sus propiedades las adquiere gracias al material del cual se fabrica y a la configuración de su estructura.

Sus propiedades son muy diversas y favorables, resultando:

- Gran capacidad de transmisión de información a grandes distancias sin necesidad de regenerarse.

- Es altamente eficiente como línea de transmisión, ya que los acoplamientos eléctricos y magnéticos debidos a cables de alta tensión o fenómenos atmosféricos, no la afectan.

- Las características de transmisión son muy poco alteradas por cambios de temperatura.
- La interferencia electromagnética entre dos fibras prácticamente no existe, siendo esto muy común entre dos conductores convencionales.
- Maneja gran ancho de banda.
- Bajas pérdidas en la información.
- Es de peso específico reducido, aproximadamente la cuarta parte del cobre.
- De pequeñas dimensiones.
- Excelente flexibilidad, lo cual facilita su instalación.

#### CARACTERISTICAS DE LA FIBRA OPTICA

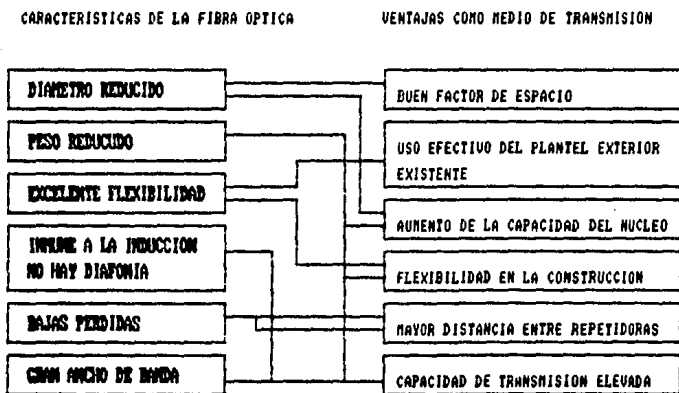


FIG. 11.5.1

**C A P I T U L O   I I I**

**M A N U F A C T U R A**

### III.1) METODOS DE FABRICACION.

Las técnicas de Manufactura utilizadas en la producción de Fibras Ópticas son procesos altamente sofisticados. La mayor parte de éstos se mantienen en secreto, ó, al menos, están patentados. Esto es entendible, ya que los Métodos de Fabricación, en la actualidad, están cambiando y mejorando a razón de 3 a 4 meses a nivel mundial. No obstante, los principios de fabricación son los mismos para todas las naciones, aunque cada país desarrolla su propia tecnología, lo que hace posible que existan diferencias de calidad entre las fibras elaboradas.

Entre los principales productores de Fibra Óptica en el mundo tenemos a:

- JAPON.
- INGLATERRA.
- E. U. A.
- FRANCIA.
- SUECIA.
- ALEMANIA.
- HOLANDA.
- ITALIA.

En México no se fabrica actualmente, sin embargo, existen empresas como *Condux* y *Latincasa*, que están desarrollando los procesos a nivel experimental. Todo esto se ha visto apoyado, gracias a que en nuestro país se tienen grandes cantidades de materia prima base con la que se fabrican, que es el *Silice*.

Se ha visto hasta ahora que para producir una fibra se debe hacer una estructura compuesta de dos regiones, que son:

a) NUCLEO.

b) REVESTIMIENTO.

El Núcleo, que es la parte central de la Fibra Óptica y que tiene un diámetro de 8 a 10  $\mu\text{m}$  para la Fibra Monomodo ó 50  $\mu\text{m}$  para la Fibra Multimodo, es la región que guía la luz láser. Este tiene además un Índice de Refracción mayor al Revestimiento. Esto se logra gracias al grado de pureza de sus componentes.

Por otra parte, el Revestimiento, tiene un diámetro de 125  $\mu\text{m}$ , tanto para la fibra Monomodo como Multimodo, es la cubierta del Núcleo que ayuda a mantener la transmisión de éste, ya que por poseer un Índice de refracción menor, ayuda a la propagación del rayo láser.

La elección de materiales se hace en base a muchos requerimientos, entre los que destacan la transparencia y facilidad de material para formar un filamento fino y disponible de dos Índices de Refracción, por lo menos cercanos pero diferentes en su valor.

Todas éstas características limitan los materiales utilizados a unos cuantos tipos de vidrio y plástico, lo que se ha traído como consecuencia que se combinen dichos elementos para fabricarla. Tenemos entonces, fibras elaboradas de:

NUCLEO	REVESTIMIENTO
a) VIDRIO	VIDRIO.
b) PLASTICO	VIDRIO.
c) VIDRIO	PLASTICO.
d) PLASTICO	PLASTICO.



Para cualquiera que sea la combinación de Núcleo y Revestimiento, es necesaria una gran pureza de los materiales, esto ha traído como resultado que la mezcla de los componentes, así como las técnicas utilizadas en su elaboración, sean diferentes a las del vidrio convencional y por tanto diseñen procesos especiales.

### III.2) FABRICACION DE LA FIBRA OPTICA.

Existen dos métodos básicos para la fabricación de la Fibra Óptica que son:

1) *Preforma.*

2) *Crisol.*

El *Método de Preforma*, que consiste básicamente en preparar una barra de vidrio eliminando las impurezas por medio del vapor y que posteriormente se estira, es utilizada en sistemas en donde envía una gran cantidad de información y distancias considerables, es decir, las fibras elaboradas a partir del *Método de la Preforma*, son ideales en sistemas de comunicación, donde las pérdidas con respecto a la distancia deben tomarse en cuenta. Por otra parte, el *Método del Crisol*, que consiste en elaborar dos barras de vidrio diferentes en cuanto a su valor de índice de refracción y posteriormente fundirlas dentro del *Crisol* para hacer un solo filamento; se utiliza para aplicaciones de corto alcance y bajo flujo de información, es decir, las fibras a partir del *Método del Crisol*, tiene más limitantes, pues se utiliza para conexiones pequeñas.

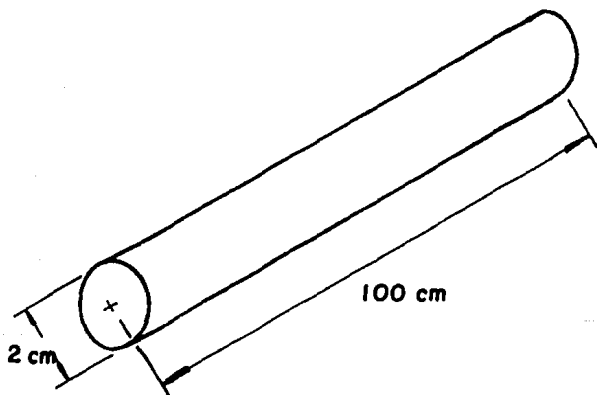
Para ambos tipos de fabricación se necesitan condiciones especiales, es decir, un ambiente sin polvo, minuciosamente controlado, con gran precisión en todas las fases de producción y sobre todo un personal y equipo de alta calidad.

### III.3) PREFORMA.

La fabricación de la Fibra Óptica por la técnica de la *Preforma*, que es la más utilizada en el mundo, comprende dos etapas:

- 1) La fabricación de la *Preforma* propiamente dicha.
- 2) El estirado de la *Preforma*, de la que se obtiene la fibra.

Principalmente se trata de elaborar una barra de vidrio de aproximadamente 1m. de longitud y 2 cm. de diámetro (Véase Figura III.3.1).



MEDIDA ESTANDAR PROMEDIO DE LA PREFORMA.  
FIG. III.3.1

Esta barra se fabrica con materiales que provienen de los grupos de vidrio y Silicatos, siendo el  $\text{SiO}_2$  (Bióxido de Silicio) el más utilizado. La sobresaliente aptitud del  $\text{SiO}_2$  para la fabricación de vidrios purísimos de alta transparencia se fundamenta aparte de la escasa absorción propia, por el hecho de que el vidrio permite obtenerse por deposición de una fase gaseosa pura homogénea, aunque ésto requiere una gran cantidad de energía para llevarlo a cabo.

Los dopantes, que son los elementos que modifican en Índice de Refracción, son agregados dentro del proceso de elaboración, siendo éstos Fósforo y Germanio, para el aumento del Índice de Refracción, y el Boro y Fluor para la disminución.

El  $\text{SiO}_2$  natural, desintegrado como cuarzo cristalino o como arena de Silicato es por aplicarle directamente para la fabricación de fibras de vidrio y, ésto debido a su contenido de Óxidos Metálicos, por tanto, se realiza una refinación para obtener  $\text{SiO}_2$  ultrapuro, ésto se hace a partir del  $\text{SiCl}_4$  (Tetracloruro de Silicio).

El  $\text{SiCl}_4$  es un líquido fácilmente evaporable que se elabora a partir del cuarzo por reducción con carbón y transformación con cloro (reacción 1).

Por medio de la destilación fraccionada se obtiene en forma ultrapura los Cloruros de Silicio Oxigenados durante la cloración, mientras que los Cloruros Metálicos de Hierro ( $\text{FeCl}_3$ ) quedan en el lodo de la destilación y éstos se eliminan.

Del Tetracloruro de Silicio ( $\text{SiCl}_4$ ) se recupera, por deposición a partir de la fase gaseosa, el Bióxido de Silicio puro deseado. Para dotar a éstos vidrios se mezclan los cloruros correspondientes ( $\text{GeCl}_4$ ,  $\text{POCl}_3$ ) al Tetracloruro de Silicio. El Cloruro o mezcla de Cloruro es hidrolizado en una llama de gas (reacción 2) u Óxido con corriente oxigenada por provocación de una reacción térmica aproximadamente a  $1300^\circ\text{C}$  (reacción 3), con lo cual el polvo del  $\text{SiO}_2$  de grano fino de condensación se desarrolla sobre un substrato apropiado en forma altamente porosa.

VIDRIO DE SILICA EN PREFORMA PARA GUIAS ONDAS OPTICOS.

ARENA SILICA  
MINERALES SILICIOSOS

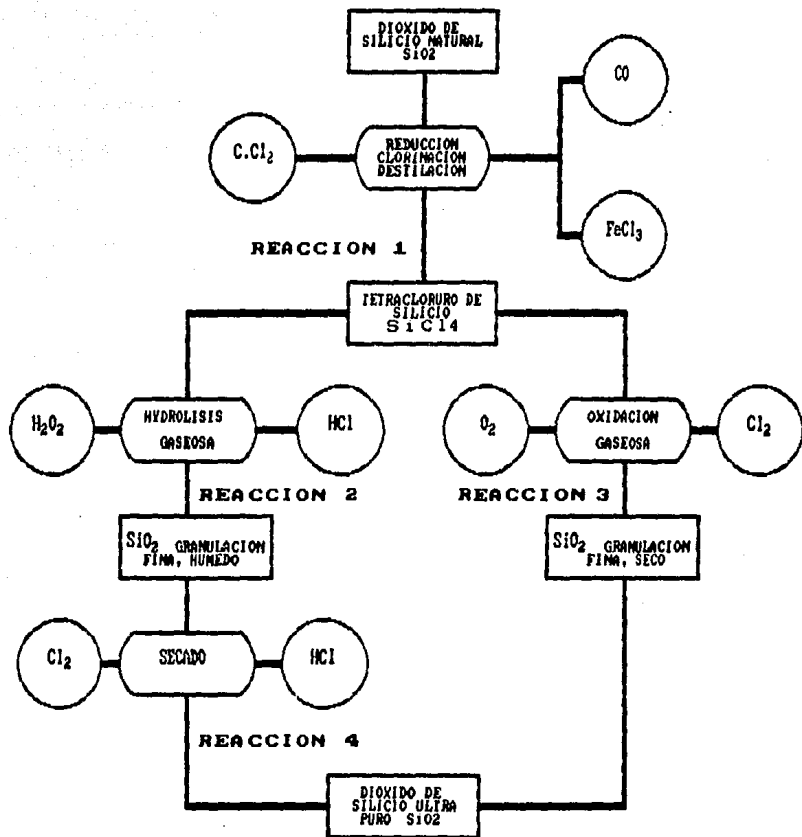


FIG. III. 3.2

Mediante enjuague de gas cloro pueden mezclarse efectivamente los restos acuosos (por ejemplo los de los gases de llama), del  $\text{SiO}_2$  originado, dado a temperaturas de  $1000^\circ\text{C}$  se genera gas Clorhídrico volátil del agua y Cloro (reacción 4). Mediante este procedimiento de secado, la transmisión luminica del vidrio aumenta considerablemente una vez que se tiene el  $\text{SiO}_2$  ultrapuro y poroso se funde a temperaturas superiores a  $1200^\circ\text{C}$  y se obtienen barras macizas de vidrio de 1 m. de longitud y 2 cm. de diámetro. De la forma convencional se obtiene cualquier vidrio, se tienen entonces ya las barras de vidrio requeridas, pero, para poder llamar a estas barras *Preforma* necesitan un tratamiento por medio de *Deposición Química de Vapores*, que modifiquen la estructura, tanto interna como externa, pero sin contaminarla: esto trae consigo el desarrollo de diferentes tipos de tratamientos (desarrollados por distintos países), que son:

- 1) *Método de Deposición Química Interna de Vapores (MCVD)* (Desarrollado por la Cia Bells Laboratories) (Gran Bretaña).
- 2) *Método de Deposición Externa de Vapor (MOVVD)* (Desarrollada por la Cia Corning Glas Works) (U.S.A.)
- 3) *Método de Deposición Axial de Vapor (CVAD)* (Desarrollada por la NTT) (Japón)
- 4) *Método de Deposición Inducido por Plasma* (Desarrollado por Phillips) (Holanda)

### III.3. A) METODO MCVD.

#### (DEPOSICION QUIMICA INTERNA DE VAPOR).

Este método es en la actualidad el más difundido en el mundo. Fue dado a conocer en 1974 y desde entonces ha sido el más utilizado para fabricar *Preformas*. Actualmente está en producción para la *Western Electric*, así como en otras compañías de Estados Unidos, Europa y Japón.

El proceso *MCVD*, forma los materiales, tanto para el el Núcleo como para el *Revestimiento* en un estado ultra-puro dentro de un tubo de substrato, y es capaz de producir tanto *Fibras Monomodo* como *Multimodo*, de una calidad extremadamente alta.

El proceso es parte de un proceso de *Silíce* muy puro, el cual es colocado en un recipiente donde recibe un baño químico con diversas sustancias antes de pasar al tratamiento, con el fin de eliminar cualquier tipo de impurezas.

Después del baño químico, la barra se monta en un mecanismo similar a un torno, para proporcionarle un movimiento rotatorio; el mecanismo tiene además, en la parte de abajo, un quemador, que puede ser *Oxigenado*, y que se desplaza a lo largo de la barra.

Cuando el tubo se encuentra montado éste empieza a girar y se va depositando  $\text{SiO}_2$  junto con otros *Oxidos* dopantes procedentes de *Haluros* evaporados, cuyas concentraciones relativas y flujo se controlan mediante la circulación de *Oxígeno* en los recipientes que contienen dichos *Haluros*, en fase líquida a temperatura constante.

El tubo se calienta a una temperatura de 1650 °C, por medio de la flama múltiple, que proviene del quemador, y que barre continuamente la longitud del tubo de izquierda a derecha.

La temperatura es controlada por una cámara que avanza a lo largo de la barra y al mismo tiempo del quemador.

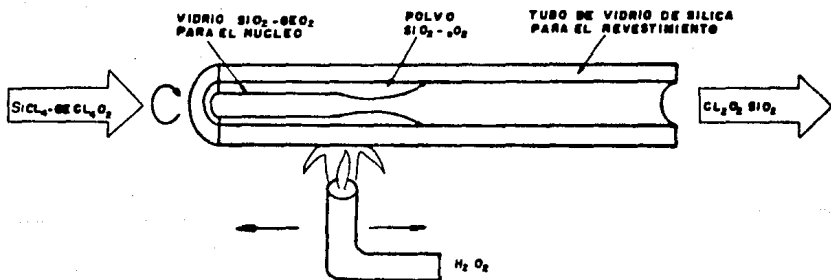


FIG. III.3.A.1

La velocidad de deposición de las capas es tanto mayor cuanto más grande es la diferencia de la temperatura del gas entre la zona de equilibrio y las paredes del tubo de Sílice.

Se ha comprobado prácticamente que no es conveniente sobrepasar velocidades de crecimiento superiores a 1 g/min.

En algunas ocasiones se han obtenido crecimientos hasta de 2.3 g/min a costa de incrementar hasta 14 cm. la zona de calor del calentador, esta alternativa tiene el inconveniente de eliminar la diferencia de los Índices de Refracción entre Núcleo y Revestimiento a un valor del 3% como mínimo.

Además se ha visto que cuanto mayor es el espesor de las sucesivas capas de vidrio que constituyen el Núcleo de la Preforma, menos preciso es el perfil del Índice de Refracción, lo que trae como consecuencia que el ancho de banda de la fibra se reduzca en la zona calentada por la flama que produce una reacción de Óxidos, en fase de gas y que son:



En estas reacciones los Óxidos aparecen como finas partículas de vidrio llamadas "soot". Este "soot" se puede recolectar como polvo o bien se adhiere, como en este caso, a una superficie caliente para formar un sólido poroso, dando lugar a capas de vidrio transparente.

La reacción forma capas de Sílice puro mientras que las otras reacciones se usan para aumentar o disminuir los Índices de Refracción.



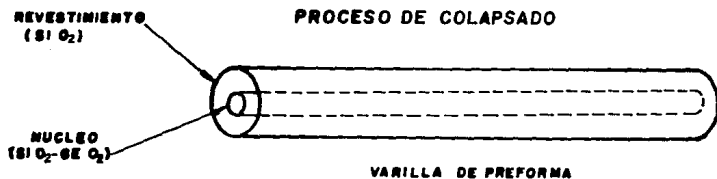
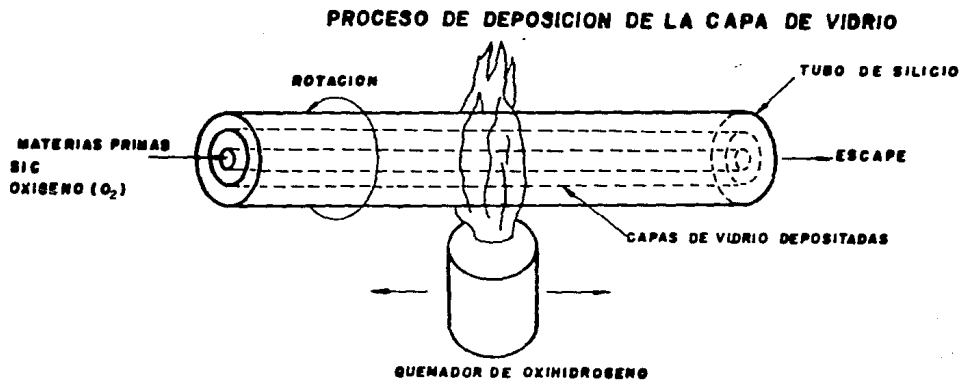


FIG. III.3.A.2

En condiciones de fabricación las *Preformas* equivalen de 10 a 14 km. de fibra.

Si se utiliza una velocidad de crecimiento de 0.4 g/min. y eficiencias de 50% en la disposición del SiO<sub>2</sub> y del 10 al 20% en la de GeO<sub>2</sub>.

Continuando con el proceso, una vez que se ha depositado el material del Núcleo en las capas requeridas, que son de 50 a 60 capas, la temperatura se eleva a 1950 °C aproximadamente, y debido a la tensión superficial, el tubo se colapsa y forma un cilindro macizo de vidrio que constituye la *Preforma*.

Se obtiene entonces una barra con las dimensiones de 1 m. de longitud y 2 cm. de diámetro, dicha barra pasará a un proceso de estirado el cual se tratará más adelante.

Con éste método, como ya se mencionó, se pueden fabricar *Fibras Monomodo* y *Multimodo* con las siguientes características de transmisión (enlistado a continuación).

	FIBRAS MULTIMODO		FIBRAS MONOMODO	
LONGITUD DE ONDA (µm)	0.85	1.3	1.3	1.55
ATENUACION (dB/km)				
VALOR MEDIO	2.7	0.9	1.0	0.0
MEJOR VALOR	<2.4	0.5	0.6	
ANCHO DE BANDA (MHz-km)				
VALOR MEDIO	1000	>1000	>10000	>10000
MEJOR VALOR	1700	2300	>10000	>10000
DOBLE VENTANA	1300	1300		

CUADRO III.3.A.3

### III.3.B) METODO OVD.

(DEPOSICION EXTERNA DE VAPORES).

El Método OVD (Deposición Externa de Vapores), fué desarrollado por Corning Glass Works, y es uno de los más difundidos en los Estados Unidos Americanos.

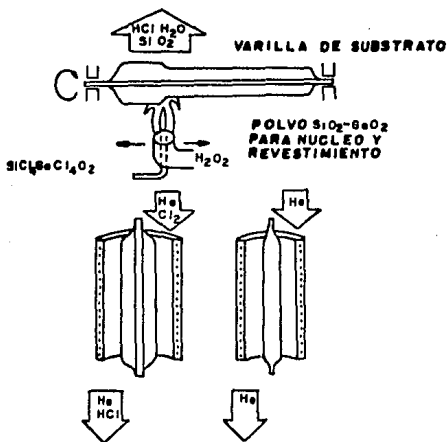
Este método tiene ciertas similitudes con el Método VAD. También se conoce como Método de Oxidación Externa de Fase de Vapor.

En el OVD la Preforma se realiza en dos fases que son:

1) Deposición de los Oxidos y Secado.

2) Sinterización o Colapsado.

En la Deposición de Oxidos se vacían los cloruros ( $\text{SiCl}_4$ ) y ( $\text{GeCl}_4$ ) en forma de vapor, lateralmente sobre un mandril que puede ser de grafito o de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de unos 5 mm. de diámetro y que gira a una velocidad constante. De los vapores depositados posteriormente son condensados los Oxidos.



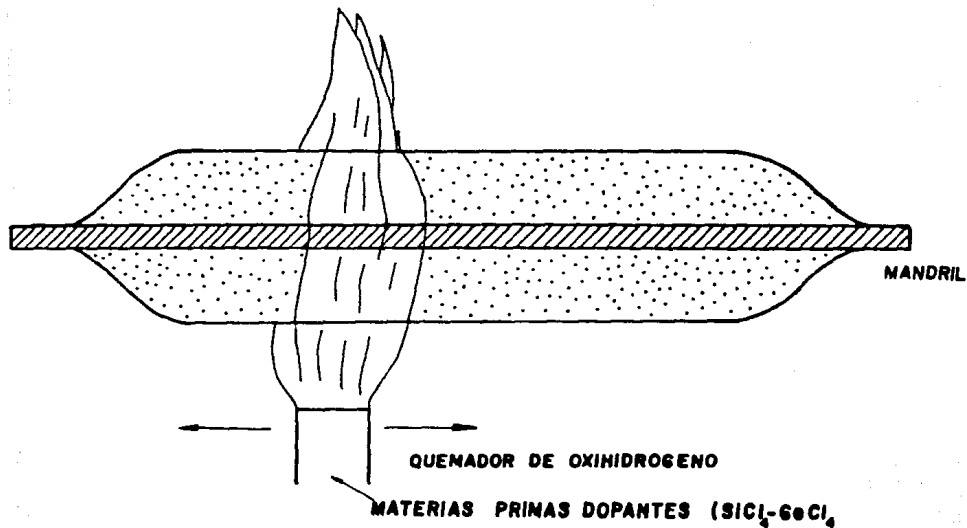
CL	CLORO
$\text{GeCl}_4$	TETRACLORURO "
$\text{H}_2$	HIDROGENO
HCl	ACIDO CLORHIDRICO
He	MELIO
$\text{O}_2$	OXIBENO
$\text{SiCl}_4$	TETRACLORURO DE SILICIO
$\text{SiO}_2$	DIOXIDO DE SILICIO

FIG. III.3.B.1

Se tiene entonces un quemador que es de Oxihidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) y que se desliza a lo largo del mandril y a una temperatura de flama de aproximadamente  $1500^\circ\text{C}$ . Con las constantes idas y venidas del quemador se van depositando las capas vitreas, comenzando con la composición del vidrio del Núcleo y colocando luego el vidrio del Revestimiento, dichas capas darán lugar al perfil del Índice de Refracción deseado.

Acabado éste proceso, el mandril es retirado aprovechando el diferente coeficiente de dilatación del vidrio depositado, y se prosigue a un paso de secado con Cloro Gaseoso en un horno separado; a continuación el cuerpo poroso es sinterizado para obtener una varilla maciza.

PROCESO DE DEPOSICION DE LOS DOPANTES



31

FIG. III.B.2

El proceso de Sinterización o Colapsado de la Preforma en un estado poroso, se realiza introduciendo la varilla después del secado en un horno a 500 °C en una atmósfera de Helio con un pequeño porcentaje de Cl<sub>2</sub>, con el objeto de eliminar grupos de OH. Con la Sinterización se ajustan también los diámetros de las varillas. (Véase Fig. III.3.B.3).

### PROCESO DE SINTERIZACION

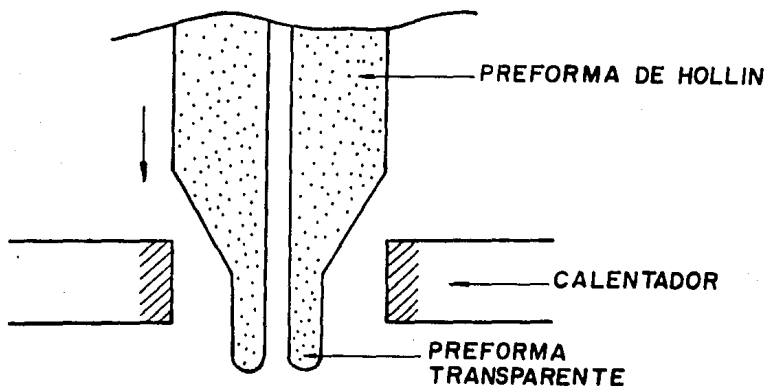


FIG. III. 3. B. 3

Gracias a la cronología de los pasos del proceso: *Deposición, Secado y Sinterización*, se ha podido optimizar cada parte del proceso, y así mismo se han logrado velocidades de *Deposición* de polvo de vidrio sumamente elevadas.

A esto se agrega que la velocidad de *Deposición* aumenta con el nivel progresivo debido al incremento de la superficie del sustrato, lo que resulta ventajoso al ampliarse el proceso.

Bajo el Método *OVD* se han obtenido *Preformas* de un crecimiento de 1.8 g/min para el *Núcleo* y 6 g/min., para el *Revestimiento* que proporcionan en condiciones normales, de 10 a 13 km. de fibra.

En la *Fibra Multimodo* obtenida por *OVD*, el *Núcleo* llega a tener hasta 1000 capas finas de vidrio, mientras que en la *Fibra Monomodo* se logra muy baja sensibilidad de atenuación. A continuación se listan propiedades de transmisión de fibras obtenidas por este método.

	FIBRA MULTIMODO		FIBRA MONOMODO	
LONGITUD DE ONDA (µm)	0.85	1.3	1.3	1.55
ATEENUACION (dB/km)				
VALOR TÍPICO	2.4	0.9	0.40	0.25
MEJOR VALOR	2.2	0.52	0.27	0.14
ANCHO DE BANDA (MHz-km)				
VALOR TÍPICO	800	800	>10000	>10000
MEJOR VALOR	3000	3000	>10000	>10000

CUADRO III.3.B.4

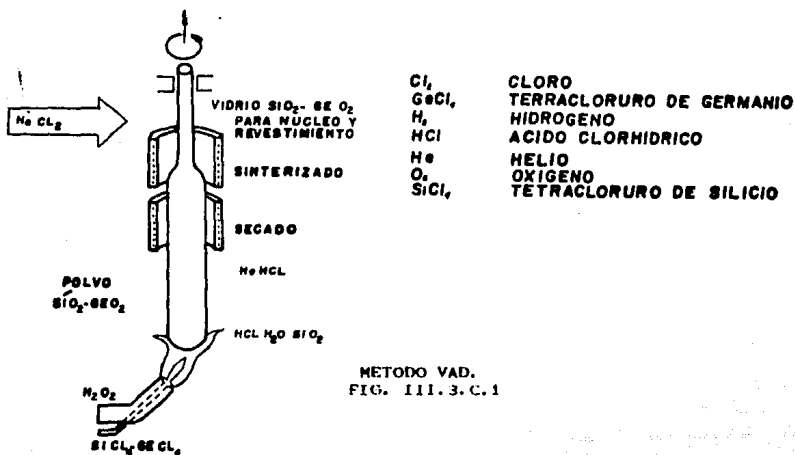
### III.3.C) METODO VAD.

#### (DEPOSICION AXIAL DE VAPORES).

El Metodo de Deposición Axial desarrollado por la NTT en Japon, es el mas utilizado en este pais para la fabricación de Preformas. Se puede producir a partir de este Fibras Multimodo y Monomodo.

Su principal diferencia con los otros métodos es que el crecimiento de la Preforma se realiza en Dirección Axial, además de que por este método se evita por completo la depresión central ayudando así a conservar las propiedades de la Preforma.

Partiendo de una varilla de alimentación dispuesta perpendicularmente, la varilla es soplada en Dirección Axial o ligeramente inclinada hacia aquella, con lo cual se logra un aumento de la longitud de la pieza en bruto y porosa.





Cuando el movimiento rotatorio de la varilla, mediante el soquete se inyectan las materias primas dopantes separados que son el *Tetracloruro de Silicio* ( $\text{SiCl}_4$ ) y el *Tetracloruro de Germanio* ( $\text{GeCl}_4$ ), así como el *Fósforo* y el *Boro*, todas estas reacciones hasta formar finas partículas de vidrio, que es lo que se conoce como *Hidrolisis por llama*. La cantidad de estos productos en el orden y proporción adecuada de acuerdo al perfil de Índice de Refracción, es decir, a mayor concentración de dopantes mayor Índice de Refracción tendrá.

El crecimiento da lugar a una *Preforma Porosa*, que sometida a un calentamiento localizado se contrae hasta formar la *Preforma Definitiva*.

La *Deposición de Vapores* se realiza a una temperatura comprendida entre los 1400 y 1500 °C, mientras que la consolidación a la *Preforma Definitiva* se realiza a una temperatura de 1800 a 2000 °C; ambas fases se realizan simultáneamente. El crecimiento de la barra es del orden de 0.4 g/min., y la contaminación por las aguas puede producirse por debajo de 0.05 ppm.

Cabe señalar que la composición de la llama es muy importante para ajustar el perfil (un perfil próximo al óptimo se obtiene con una inclinación del mechero próxima a los 45 grados).

El ajuste fino del perfil se controla variando la proporción del  $\text{H}_2$  u  $\text{O}_2$  en la llama.

Para fabricar *Fibras Monomodo* suelen usarse dos mecheros: uno para el *Núcleo* y otro para el *Revestimiento*.

Las barras obtenidas por este método son de aproximadamente de unos 10 mm. de diámetro y se obtienen mediante su estirado, de 10 a 20 km. de fibra.

Sus parámetros son los siguientes:

LONGITUD DE ONDA ( $\mu\text{m}$ )	FIBRA MULTIMODO			FIBRA MONOMODO	
	0.85	1.3	1.55	1.3	1.55
ATENUACION (dB/km)					
VALOR TIPICO	2.4	0.7	0.5	0.50	0.35
MEJOR VALOR	2.2	0.42	0.29	0.33	0.22
ANCHO DE BANDA (MHz-km)					
VALOR TIPICO		1300		>10000	>10000
MEJOR VALOR		9700		>10000	>10000

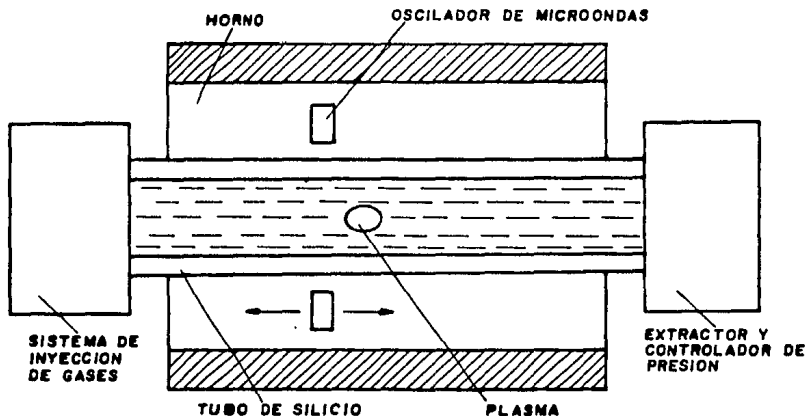
CUADRO III.3.C.2

### III.3.D) METODO PCVD.

#### (DEPOSICION DE VAPOR POR PLASMA QUIMICO).

Este método fué desarrollado recientemente en los Laboratorios de Phillips en Eindhoven, Holanda. Este método, aunque apenas comienza a difundirse en Europa y en otras partes del mundo, ha obtenido valores de atenuación considerablemente bajos.

Desarrollado y actualmente en producción por Phillips, el Método PCVD, realiza una Deposición en el interior de un tubo de Silicio. Se diferencia PCVD en que se utiliza un plasma no isoterma para iniciar la reacción de los gases.



CUADRO III.3.D.1

Un sistema inyecta las materias primas en forma de gas ( $\text{SiCl}_4 - \text{GeCl}_4$ ) y ésto se mantiene a una presión de 10 (torr), dentro del tubo de Sílice, el cual se mantiene dentro de un horno a unos 1200°C. Dentro de dicho horno se instala un resonador de microondas que se desplaza de izquierda a derecha a una velocidad promedio de 7 a 8 m/min., sobre una longitud de 1m. La energía de radiofrecuencia de 2 GHz genera un plasma dentro del tubo que inicia a un proceso *Heterogéneo* de reacción en el interior de las paredes del mismo.

Finalizada la *Deposición del Núcleo*, tiene lugar el *Colapsado* a unos 2000 °C.

Mediante éste proceso, la energía se acopla directamente al plasma sin que las paredes del tubo de Sílice puedan producir un retardo térmico, de éste modo el resonador puede desplazarse a 7 m/min., depositando unas 700 capas de vidrio, con un espesor de 0.05 mm., con un índice de refracción bien ajustado; es posible así lograr fibras con un perfil de índice muy próximo al deseado.

Con éste método se han alcanzado *Preformas* equivalentes a 16 km. Aunque en condiciones normales de producción se alcanzan 8 km. de fibra por *Preforma*.

El *Método PCVD* permite elaborar fibras tanto *Monomodo* como *Multimodo*.

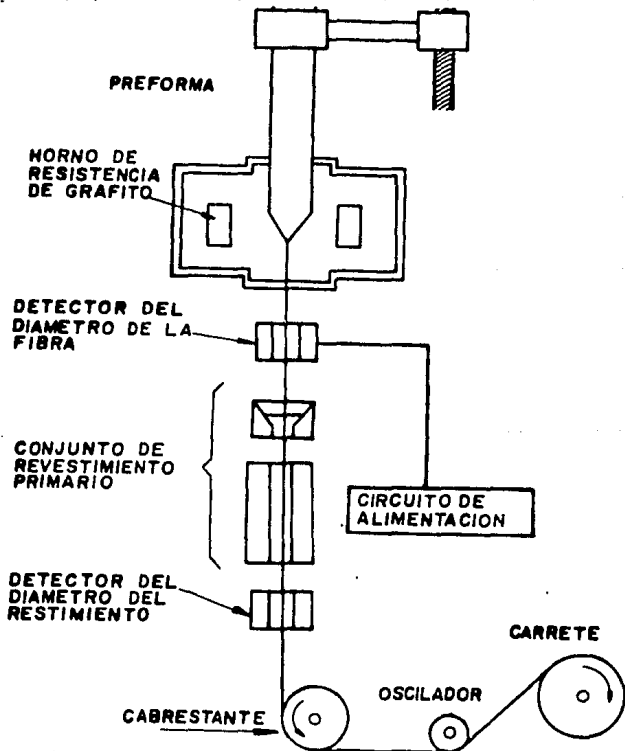
Las características de transmisión del *Método PCVD* son:

	FIBRA MULTIMODO		FIBRA MONOMODO	
LONGITUD DE ONDA ( $\mu\text{m}$ )	0.85	1.3	1.3	1.55
ATENUACION (dB/km)				
VALOR MEDIO	2.7	0.9	1.0	0.8
MEJOR VALOR	<2.4	0.5	0.6	
DOBLE VENTANA				
ANCHO DE BANDA (MHz-km)				
VALOR MEDIO	1000	>1000	>10000	>10000
MEJOR VALOR	1700	2300	>10000	>10000
DOBLE VENTANA	1300	1300		

CUADRO III.3.D.2

### III.4) ESTIRADO DE LA PREFORMA.

Una vez que se obtiene la *Preforma*, con los Indices de Refracción, la siguiente etapa es el estiramiento de la *Preforma*, que se realiza mediante la siguiente técnica:



ESTIRAMIENTO DE PREFORMAS.  
CUADRO III. 4.1

La varilla de Preforma (realizada por cualquiera de los metodos ya mencionados), se introduce en el horno que está a una temperatura del orden de los 2000 °C en su centro, requiriendo una estabilidad de  $\pm 10$  a fin de reducir las fluctuaciones del diámetro de la fibra. Una vez que sale del horno, la fibra pasa por un control de diámetro que debe ser capaz de resolver discrepancias de  $\pm 0.2$  m. Si bien, el margen de aceptación es de  $\pm 3$  m. y  $\pm 6$  m.

Cuando se llega a sobrepasar dichos parámetros, el proceso se detiene a través de un circuito de realimentación, paralizando el cabrestante que origina la tensión del estiramiento.

Posteriormente y sin solución de continuidad, se aplica el primer recubrimiento o protección por encima del Revestimiento de la fibra. Este primer Recubrimiento sirve como protección mecánica de la fibra para las fases subsiguientes, hasta llegar al cableado.

Para este, suelen emplearse Siliconas o Acrílicos y los diámetros exteriores suelen oscilar entre 250  $\pm 15$  m. y 500  $\pm 25$  m.

Existe también un Recubrimiento secundario, que puede ser de dos tipos:

a) *Cebido*

b) *Olgado*.

El Recubrimiento *Cebido* se realiza mediante un proceso de extrusión (Poliamidas y Nylon) directamente sobre la fibra, el diámetro exterior es del orden de 1 mm.

El Recubrimiento *Olgado* se realiza por extrusión de un tubo (de Polipropileno, Nylon, PVC, etc) alrededor de la fibra; los diámetros interiores y exteriores del tubo oscilan entre 1.5 y 2.5 mm. La fibra se ubica libremente en el interior del tubo.

lo cual hace posible que no se dañe aunque el cable sufra elongaciones. Además, el tubo se llena con alguna sustancia de baja viscosidad para evitar la entrada de agua o impurezas.

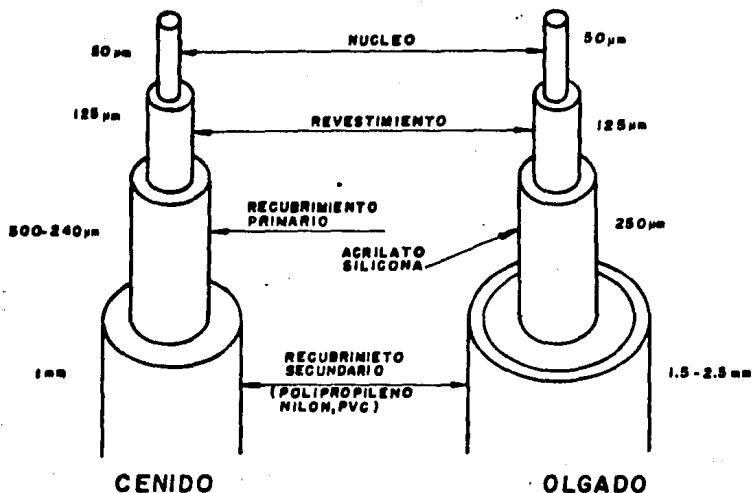


FIG III. 4.2



### III.5) PROCESO DE CRISOL.

El proceso de *Crisol*, o mejor conocido como *Proceso de Doble Crisol*, es un método de fabricación de Fibra Óptica, en el cual se emplean dos tipos de varillas de vidrio que son diferentes en cuanto al valor de su Índice de Refracción. Ésto es que la varilla que conforma al Núcleo tendrá que ser de un vidrio más puro que la que conforma el Revestimiento.

#### III.5.A) ELABORACION DE LA VARILLA.

Las varillas están elaboradas básicamente de *Dióxido de Silicio* ( $SiO_2$ ) (ya tratado), con condiciones de *Germanio* y *Fósforo* cuando se trata de la varilla del Núcleo, ya que éstos aumentan el Índice de Refracción sin modificar propiedades mecánicas y térmicas; para el caso de la varilla del Revestimiento, se agrega *Boro* y *Fluor* para disminuir su Índice de Refracción, sin afectar sus propiedades.

Todos éstos componentes son pesados, con gran precisión e higiene y son depositados en un mezclador especial para que dichos elementos tengan una composición *Homogénea*. Cabe aclarar que las cantidades necesarias de cada elemento, varían de acuerdo al fabricante, pero éstas no se dan a conocer.

Una vez lista la composición, el polvo pasa a un recipiente mediante el cual se puede verter en un horno de fundición convencional sin que ensucie, en este caso se puede cuidar que la mezcla no adquiera ningún contaminante, ya que de lo contrario se alterarían las propiedades de la varilla que desea elaborarse.

Durante la fundición se protege a la masa de vidrio del aire ambiente y de la humedad que se produce, aplicando gas de Bióxido de Carbono ( $CO_2$ ) a través de ésta.

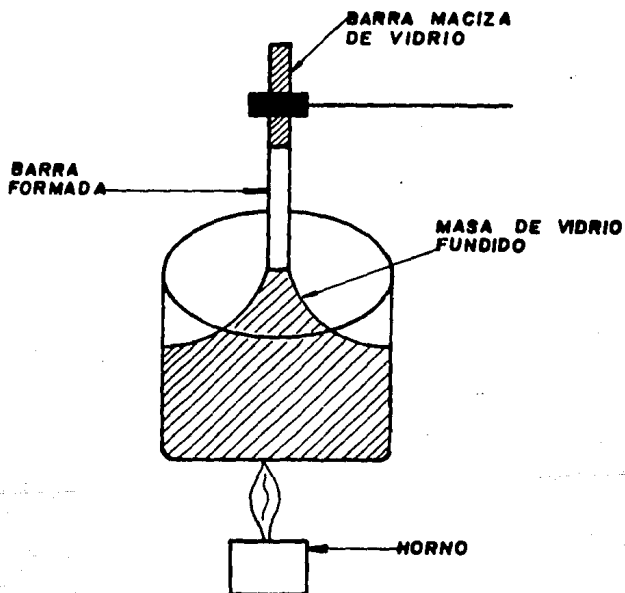


FIG. III. S. A. 1

Cuando la masa de vidrio está lista, se forma con ésta una barra larga; para ello se introduce primero un enfriador y después una barra corta de vidrio, con la que se presa la masa fundida y posteriormente se estira para formar la barra larga deseada.

Cuando ésta masa se solidifica a temperatura ambiente, se le da el corte requerido, 1 m. aproximadamente de longitud y un diámetro de 1 a 2 cm.

Estas varillas son graduadas en una vitrina que se encuentra aislada de impurezas, para su estirado posterior.

Este proceso es similar, tanto para la varilla que compone el Núcleo como para el que compone el Revestimiento, cambiando sólo en la fase donde se agregan ciertas impurezas.

Una vez que se tienen listas los dos tipos de barras, pasamos al equipo de Doble Crisol.

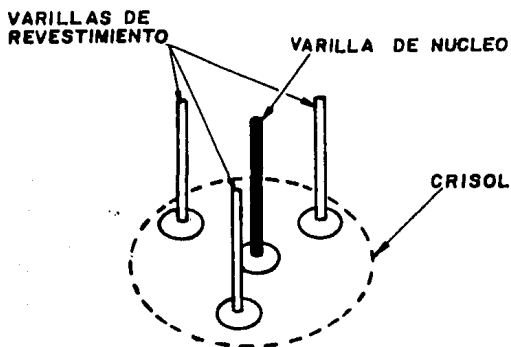
La vasija para el Crisol se construye de tal manera que los Dos Crisoles, uno conteniendo el Vidrio del Revestimiento, y otro para el Vidrio del Núcleo, se encuentren verticalmente. Los Crisoles son fabricados de Platino y de algún otro material resistente al calor.

Cada Crisol tiene una abertura muy angosta en su base, de tal manera que cuando se calienta el vidrio del Revestimiento y del Núcleo, puedan fluir simétricamente, produciendo así un Flujo de Vidrio Compuesto.

Primeramente se colocan las barras que forman el Revestimiento, en forma vertical y en la parte superior del equipo.

Posteriormente se coloca la barra de vidrio que ha de formar el Núcleo, en forma vertical, en la parte superior del equipo y en el centro del mismo.

Una vez que la parte inferior de las barras se introduce en el *Crisol Doble*, éste comienza a calentarse por medio de un horno, entonces las barras comienzan a fundirse y entran automáticamente en el *Crisol Doble*. (Véase Fig. III.5.A.2)



**NOTA: LA VARILLA DEL CENTRO DEBE ESTAR ALINIADA CON LAS 3 VARILLAS DE ALREDEDOR, QUE REPRESENTA AL CRISOL**

FIG III.5.A.2

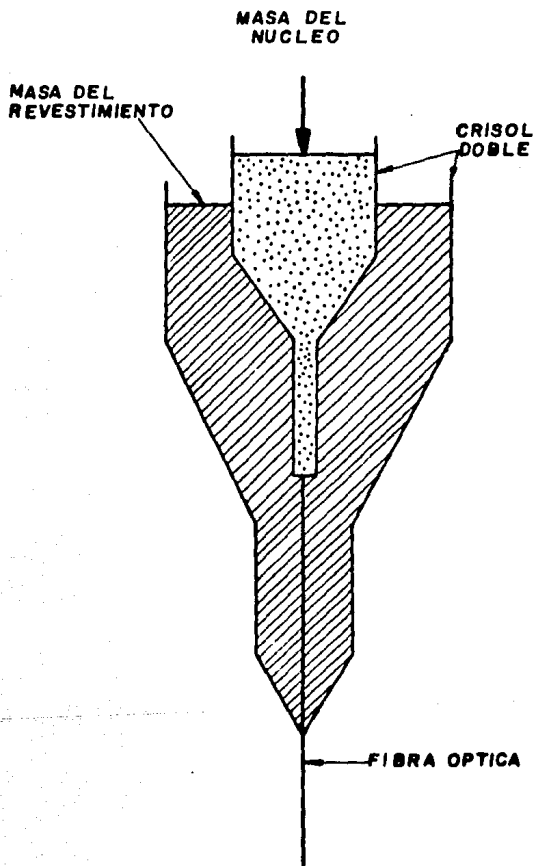


FIG. III.5.A.3

Cuando la temperatura en el horno alcanza aproximadamente 1000°C, el vidrio comienza a fluir por el fondo del Crisol.

Primeramente aparece un pedazo de masa al cual va unida la Fibra Optica, la cual es retirada posteriormente del extremo.

Conforme la fibra va saliendo, ésta pasa a través de un equipo de medición, el cual mide constantemente el diámetro del Revestimiento que debe ser alrededor de 125  $\mu$ m.

Una vez que se ha checado el diámetro de la Fibra Optica, se reviste de Silicón, o sea, una protección primaria. El Silicón, se aplica en forma líquida, endureciéndose al pasar posteriormente por un horno de secado por Aspersión.

<i>Medidor del Diámetro Exterior</i>	<i>125 <math>\mu</math>m.</i>
<i>Baño de Cubierta Primaria</i>	<i>200 <math>\mu</math>m.</i>
<i>Horno de Secado</i>	

Para controlar que la fibra esté centrada en su Posición Primaria, se monta un equipo láser de medición, que consiste en una base metálica circular con espejos alrededor. Para esto el Rayo Láser se dirige contra la fibra mediante los espejos, formándose entonces una imagen en la escala circundante, guiándose por ésta imagen se hace un ajuste fino de la protección alcanzada, aproximadamente de 200  $\mu$ m. (Véase Fig. III.5.A.4)

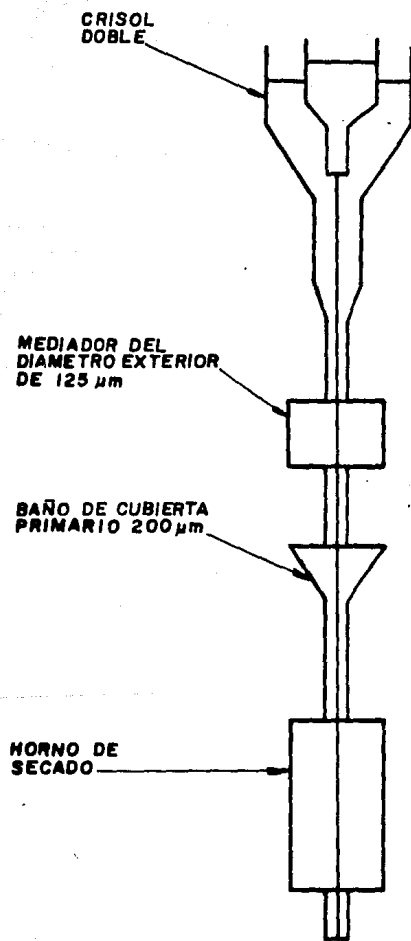


FIG. III.5.A.4

C A P I T U L O   I U

P R U E B A S   M E C A N I C A S

A P L I C A D A S   A

L A   F I B R A   O P T I C A



Los descubrimientos tecnológicos, mientras más sofisticados, tienden a ser más perfectos y esto nos conduce a mejorar la calidad de lo obtenido en cualquier proceso industrial. El material denominado Fibra Optica, engloba un proceso de manufactura de alta tecnología que con el correr del tiempo tiende a perfeccionar.

La calidad de manufactura de la Fibra Optica depende de varios factores como:

- a) *Precisión del Equipo Empleado.*
- b) *Personal Calificado.*
- c) *Ambiente de Trabajo (temperatura).*
- d) *Control de Calidad.*

Todo esto nos conduce a obtener una alta pureza en el proceso de fabricación de la fibra.

Una vez obtenida la Fibra Optica, se somete a diversas pruebas, las cuales pueden ser sencillas o complejas.

Las pruebas realizadas quedan clasificadas dentro de las áreas Mecánica, Optica, Química, Electrónica, etc.

En el presente capítulo presentaremos importancia a las *Pruebas Mecánicas.*

Las diversas patentes internacionales dedicadas a la manufactura de la Fibra Optica, son en su mayoría de nacionalidad:

- 1) *Japonesa.*
- 2) *Alemana.*
- 3) *Canadiense.*

- 4) Suiza.
- 5) Norteamericana.
- 6) Inglesa.

que están al día con una intensa competencia y en una constante evolución; cada una de éstas patentes con el perfeccionamiento de la manufactura han venido desarrollando una tecnología propia.

Además cada una de ellas realiza pruebas específicas en cuanto a control de calidad y la manera de efectuar una de las mismas, con ésto pretendemos dar a entender que no se pueden dar normas prestablecidas, ni pruebas estandarizadas en el control de calidad de la manufactura de la Fibra Óptica.

Los objetivos de las pruebas que afectan cada una de las patentes conducen hacia el mejoramiento de las propiedades para dar un mejor servicio. Lo anterior se puede considerar como el común denominador de las patentes, así como en el caso de las pruebas nosotros consideramos los parámetros prestablecidos de una patente.

#### IV.1) PRUEBA DE TENSION.

Las pruebas mecánicas se pueden clasificar en dos grupos:

- a) Pruebas Científicas.
- b) Pruebas Empíricas.

#### a) Pruebas Científicas.

La Fibra Optica en su instalación estará sometida a diversas condiciones ambientales y exigencias de funcionamiento, los cuales nos conducen a esfuerzos combinados.

La Fibra Optica, como ya se dijo, es un material constituido a base de Silice en su mayor parte, los materiales siempre van a ofrecer una resistencia en su forma y tamaño, y por ello cuando se les somete a un ensayo de tensión, los ingenieros de pruebas deberán seleccionar los componentes o variables del sistema de pruebas que se adecúe a la norma más exacta de la patente que se trate.

La Tensión es un esfuerzo que siempre acompaña a la Fibra Optica. Para realizar un ensayo del mismo, existen diversos diseños de equipo (según la patente), pero en su forma general, se realizan bajo el mismo principio, empleando equipo mecánico o equipo neumático.

#### IV.1.A) DESCRIPCION DEL EQUIPO PARA LA PRUEBA DE TENSION.

El aparato consiste basicamente en cuatro poleas de iguales diámetros, cuyo movimiento se rige por bandas y bajo la acción de un motor eléctrico.

Según la Figura IV.1.A.1 son referencias con las las letras (A, B, C, D), cada una va montada sobre su respectivo eje y sobre estructuras rígidas. La polea A está acoplada al motor eléctrico que se conduce a una velocidad constante.

Existe un clutch magnético que se acciona sobre la

polea B; es aquí donde se provee la tensión de carga y el rápido desembrague. Las poleas conductoras (A y B) mueven a las conducidas (C y D). Un tramo de Fibra Óptica, aproximadamente 1000 mm, es puesta de manera directa enrollada en las poleas A y B que están constantemente en movimiento. El nivel de tensión es puesto por un torque ajustable en la polea B, lo que además determina la carga de tensión de prueba. Una rueda de fricción dentro del clutch de la polea B permite que la carga se libere rápidamente.

Un tramo muestra sometido a prueba avanza progresivamente en forma directa mientras está sometido al esfuerzo de tensión.

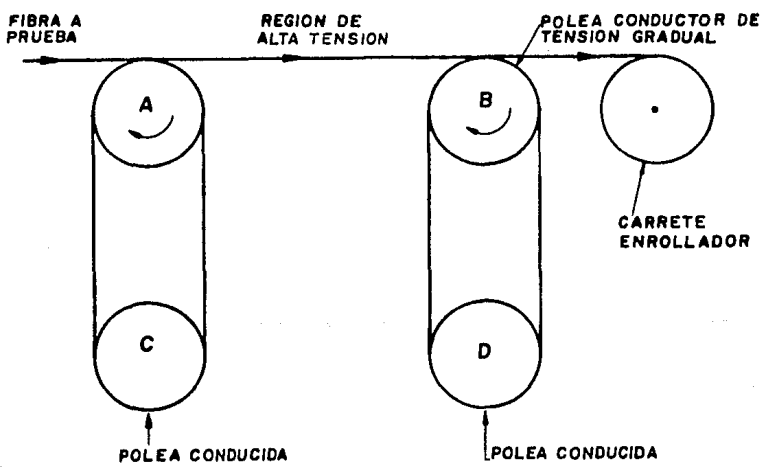


FIG. IV.1.A.1

Una prueba estandar tomada para ésta prueba se puede considerar como:

*Largo = 1000 mm. (distancia entre centros de poleas)*

*Velocidad de estirado = 30 mm/min. hasta 50 mm/min.*

*Tiempo = 10 seg.*

*Tensión Máxima = 400 Kg. (Véase Fig. IV.1.A.2)*

Se coloca la fibra entre centros de las poleas, se somete a las condiciones antes mencionadas regulando la velocidad entre las poleas A y B. En la Fig. IV.1.A.1 se le denomina zona de tensión.

#### **IV.1.B) RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO.**

Los parámetros medidos básicos son:

a) *Tiempo bajo carga a la cual estuvo sometida la Fibra Optica antes de la fractura (si existe).*

b) *Máxima elongación de la Fibra Optica bajo la carga.*

#### IV.1.C) RESULTADOS DE LA FIBRA.

Para esta prueba se deduce que la fibra no debe fracturarse con los parámetros de tensión, Velocidad de Estirado y Largo Prestablecido. De éstos dependerá el destino o uso de la misma y una de sus aplicaciones posible donde sería altamente eficiente con estas características sería por ejemplo: el cableado submarino, donde existen altos esfuerzos de tensión debido a la marea, por entre otras aplicaciones.

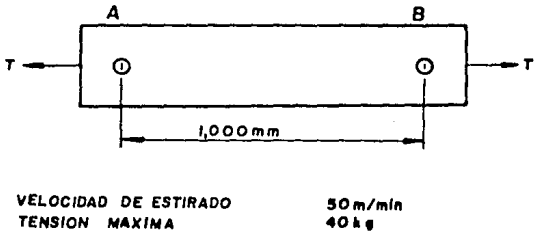
ENSAYO	CONDICIONES	RESULTADO
<p>TENSION</p>	 <p>VELOCIDAD DE ESTIRADO 50 m/min TENSION MAXIMA 40 kg</p>	<p>SIN DANOS EN LAS FI- BRAS SIN CAMBIOS EN LAS PER- DIDAS OPTI- CAS</p>

FIG. IV.1.C

#### IV.2) PRUEBA MECANICA DE COMPRESION.

En situaciones de instalación y funcionamiento de la Fibra Optica se puede encontrar enterrada o presionada por algo; por ser un sólido no escapa a las causas y efectos de la *Mecánica de Sólidos*.

En esta prueba es particularmente significativa la determinación de la intensidad de las cargas sobre porciones de sección transversal de la Fibra Optica.

Recordemos que la Fibra Optica es un sólido que posee un Núcleo y un Revestimiento en su forma más elemental físicamente.

Es decir, son dos cilindros coaxiales, que interactúan con esfuerzos que presionan sobre la sección transversal de éstos. las patentes han tomado en cuenta éste accionar de la Fibra Optica y por ello el esfuerzo de compresión es estudiado, con el objeto de resistir mayores cargas de sección transversal.

#### IV.2.A) DESCRIPCION DEL EQUIPO PARA LA PRUEBA DE COMPRESION.

El aparato donde se realiza este tipo de pruebas es automático apoyado en una estructura robusta. Consiste en dos placas de acero de forma cuadrada y cuyas dimensiones son de 50 x 50 mm.

En sus extremos el aparato tiene dos puntos donde se hace la sujeción de la muestra, con el objeto que el tramo de la Fibra Muestra no se mueva al efectuar la prueba. (Véase Fig. IV.2.A.1)

Se incerta un tramo de Fibra Optica (largo no normalizado, ya que varia de patente a patente), se aplica una presión la cual se debe variar linealmente hasta llegar a una presión máxima de 100 kg., en éste instante la Fibra Optica en largo contenido por placas debe ser capaz de resistir la carga de compresión. El ingeniero de pruebas deberá observar la calidad de la prueba.

#### IV.2.B) PARAMETROS OBTENIDOS DESPUES DEL ENSAYO.

Los parámetros obtenidos una vez realizada la prueba son:

- a) *Tiempo de ruptura de la fibra (si existe).*
- b) *Intensidad de la carga.*

#### IV.2.C) RESULTADOS DE LA PRUEBA.

Una vez verificada la calidad de la prueba y después de analizar los resultados obtenidos se procederá a clasificarla para un determinado uso y si no cumple con la calidad de los requerimientos será rechazado el lote.



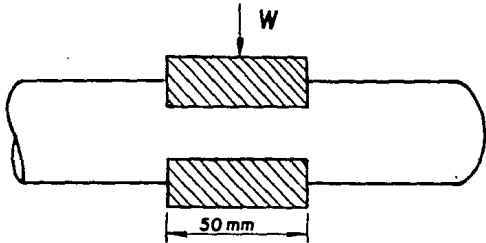
ENSAYO	CONDICIONES	RESULTADO
COMPRESION	 <p data-bbox="487 668 791 720">PLACAS DE COMPRESION CARGA DE PRESION MAXIMA</p> <p data-bbox="909 668 1029 720">50 X 50 mm 100 kg</p>	<p data-bbox="1176 429 1323 476">SIN DAÑOS EN LAS FIBRAS</p> <p data-bbox="1176 481 1323 569">SIN CAMBIOS EN LAS PER- DIDAS OPTI- CAS.</p>

FIG. IV.2.A.1

#### IV.3) PRUEBA MECANICA DE IMPACTO.

La Fibra Optica puede estar sometida a cargas repentinas en su proceso de funcionamiento e instalación. Por ello las cargas repentinas aplicadas, llamadas cargas de impacto, nos producen tan complicadas respuestas que cualquier procedimiento de proyecto que se adopte implica una considerable incertidumbre.

En la *Prueba Mecánica de Impacto* intervienen dos cuerpos: el primer cuerpo es el que incide o choca, éste constituye la carga que produce el efecto,

El segundo es el que recibe el choque que es la muestra del material a probar y el que dará una respuesta al impacto. la *Fibra Optica Muestra*, no escapa de la *Ley de Conservación de la Energía* y de la *Conservación de la Cantidad de Movimiento o Impulso*, así tenemos:

*Energía Cedida por el Cuerpo*

*Energía Absorbida por*

*que actúa de carga*

*el Cuerpo Cargado*

La duración de la *Prueba de Impacto* para la *Fibra Optica*, es muy corta y sencilla, ya que dura una milésima de segundo y el procedimiento de prueba es tan simple como se describirá.

#### IV.3.A) DESCRIPCION DEL EQUIPO PARA LA PRUEBA DE IMPACTO.

El aparato para efectuar ésta prueba consiste en una base rectangular que soporta a dos partes, sobre los cuales se encuentran unas mordazas, las cuales sostienen un tramo de fibra, que aproximadamente es de 400 mm. de largo. En la parte superior existe una pesa que se acciona bajo una polea que es la que produce la carga.

La pesa va contenida por la polea y pesa aproximadamente 2 kg., tiene una forma circular y 25 mm. de diámetro. Esta pesa se deja caer varias veces a lo largo de la fibra, aproximadamente 10 veces.

Se observa a lo largo del tramo si alguna sección de la fibra sufrió algún daño. (Véase Fig. IV.3.A.1)

#### IV.3.B) PARAMETROS MEDIDOS DE LA PRUEBA.

Las medidas básicas son:

a) *Profundidad en la fractura.*

b) *Frecuencia de incidencia en la fractura (a lo largo de la fibra).*

Estos parámetros son medidos y procesados estadísticamente.

IV.3.C) RESULTADOS DE LA PRUEBA.

La Fibra Optica Muestra deberá resistir estas cargas, si mostrara reincidencia en la fractura se devolverá para su reprocesamiento.

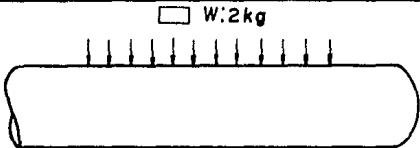
ENSAYO	CONDICIONES	RESULTADO
<p>IMPACTO</p>	<div style="text-align: center;">  <p>W: 2kg</p> </div> <p>ALTURA 1 m            PESO 2 kg            DIAMETRO DEL CILINDRO 25 mm            NUMERO DE CAIDAS 10 VECES            (EN DIFERENTES PUNTOS)</p>	<p>SIN DAÑOS            EN LAS FI-            BRAS            SIN CAMBIOS            EN PERDIDAS            OPTICAS</p>

FIG. IV.3.A.1

#### IV. 4) PRUEBA MECANICA DE TORSION.

La *Prueba Mecánica de Torsión* es otra de las *Pruebas Mecánicas* que se aplica a la *Fibra Optica* para evaluar la calidad del material.

Un cable de *Fibra Optica* puede estar expuesto a torceduras en su instalación y por ello la *Torsión* está presente. Recordemos que la *Torsión* es aplicada sobre el eje longitudinal de la *Fibra Optica* (deformación de un elemento producido por la acción de un momento externo).

#### IV. 4. A) DESCRIPCION DEL EQUIPO PARA LA PRUEBA DE TORSION.

Para efectuar la *Prueba Mecánica de Torsión*, el aparato en su forma más elemental es una barra vertical, una barra horizontal y un soporte sobre la barra horizontal. Se colocan dos tramos de *Fibra Optica*, de aproximadamente 1 m. de largo a los cuales se les agrega el peso de 50 kq., una vez colocado el peso se les somete a un giro de 180 grados, a éste giro se le conoce como el *Angulo de Torsión*. Los efectos de éste estarán en función de:

$$\theta = \frac{TL}{GJ}$$

$\theta$  = *Angulo de Torsión.*

$T$  = *Momento de torsión.*

$L$  = *Longitud de la Fibra.*

$G$  = Módulo de Rigidez de la Fibra.

$J$  = Momento Polar de Inercia del Area Transversal.

Al ir incrementando el Índice de Torsión se observa si existió una torzedura al ir incrementando el ángulo.

La Fibra Optica no debe sufrir deformación plástica.  
(Véase Fig. IV.4.A.1)

#### IV. 4. B) PARAMETROS OBTENIDOS DESPUES DE LA PRUEBA.

Los parámetros obtenidos una vez efectuada la prueba son:

- a) Angulo de torsión de la fractura (si existió).
- b) Tiempo de deformación.

#### IV. 4. C) RESULTADOS DE LA PRUEBA.

Al efectuar la prueba y poco a poco al ir incrementando el ángulo, los tramos de experimentación no deben sufrir deformación por Torsión. Esto existiría ya en la instalación de la Fibra Optica no soportaría amarres torcidos, que con el tiempo se traduciría en la emisión de señales erróneas.

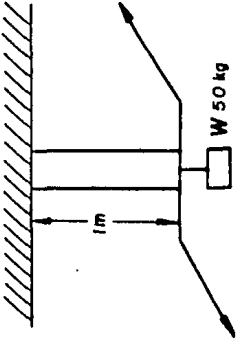
ENSAYO	CONDICIONES	RESULTADO
<p style="text-align: center;">TORSION</p>	 <p style="text-align: center;">ANGULO DE TORSION 180°</p>	<p style="text-align: center;">SIN DAÑOS EN LAS FIBRAS SIN CAMBIOS EN PEDIDAS OPTICAS</p>

FIG. IU.4.A.1

#### IV.5) PRUEBA MECANICA DE VIBRACION.

La Fibra Optica también estará expuesta a las vibraciones, la vibración se considera como el movimiento de una partícula o de un sólido que oscila al rededor de una posición de equilibrio.

La inmensa mayoría de las vibraciones que se producen en los sólidos son perjudiciales, por supuesto que la Fibra Optica no escapa a éste fenómeno. La vibración mecánica se produce cuando se separa o se desplaza un sistema cualquiera de posición de equilibrio estable.

#### IV.5.A) DESCRIPCION DEL EQUIPO PARA LA PRUEBA MECANICA DE VIBRACION.

El aparato es muy simple y consiste en una boquilla neumática la cual contiene un tramo de Fibra Optica, es decir, la fibra que se encuentra apoyada libremente. La prueba debe tener una longitud de 500 mm. Se hace vibrar por medio de un oscilador mecánico con una intensidad de  $5 \times 10^6$  veces una frecuencia de 10 hz. (Véase Fig. IV.5.A.1)



#### IV.5.B) PARAMETROS MEDIDOS DESPUES DE LA PRUEBA.

El parámetro medido es que la fibra con respecto a su eje horizontal no debe exceder en una amplitud de  $\pm 5$  mm.

La prueba termina cuando alcanza el valor antes señalado.

Con esta prueba se debe comprobar que la vibración en la Fibra Optica debe ser minima, ya que esto afectaría los anchos de banda en la señalización.

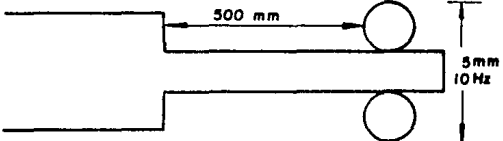
ENSAYO	CONDICIONES	RESULTADO
<p>VIBRACION</p>	 <p>CANTIDAD <math>5 \times 10^6</math> VECES</p>	<p>SIN DAÑOS EN LAS FIBRAS SIN CAMBIOS EN PERDIDAS OPTICAS</p>

FIG. IV.5.A.1

### c) Pruebas Empíricas.

Las pruebas específicas de cada patente, enunciarlas y describirlas quizá englobaría otro capítulo, que para muchos sería irrelevante tratarlo ya que caen dentro de las *Pruebas Empíricas*.

Estas pruebas son tan variadas y son de rango simple. Tratamos tan solo dos tipos de pruebas.

#### 1) Pruebas de Clasificación de la Dimensión.

Esta prueba de medición involucra al *Núcleo* y al *Revestimiento* de la Fibra Óptica, consiste en usar una especie de calibre de anillo, pasa y no pasa de tamaño mínimo para la verificación del diámetro del *Núcleo* y *Revestimiento*. (Véase Fig. IV.B.1)

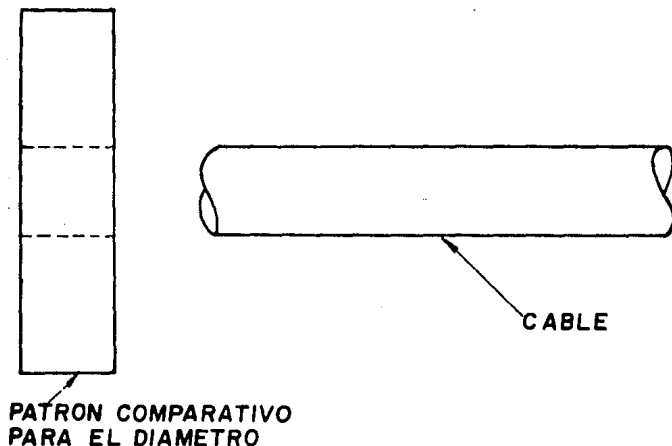


FIG. IV. B.1

2) Pruebas de Enrollamiento.

Esta prueba consiste en colocar dos rodillos, los cuales llevan enredados una cierta longitud de fibra, los rodillos giran al mismo tiempo y en un mismo sentido, y pasado algún tiempo por inspección ocular se observará si hubo alguna deformación en la fibra. El radio de curvatura de los rodillos es de aproximadamente 200 mm., y se gira a diez veces ambos sentidos. (Véase Fig. IV.B.2)

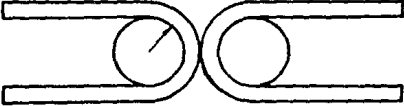
ENSAYO	CONDICIONES	RESULTADO
<p>ENROLLAMI- ENTO</p>	 <p>RADIO DE CURVATURA R 200 mm CANTIDAD 10 VECES EN AMBOS SENTIDOS</p>	<p>SIN DAÑOS EN LAS FI- BRAS SIN CAMBIOS EN PERDIDAS OPTICAS</p>

FIG. IV.B.2

Con el objeto de ejemplificar y ampliar la complejidad de las pruebas en la Fibra Optica, después de la manufactura, ampliamos el concepto de las Pruebas Mecánicas con el producto de la patente Corning Glass "FUSED SILICA No. 7949", cuyas características principales adicionales son:

- 1) Sopla los diversos gases atmosféricos.
- 2) Resistente al ataque químico.
- 3) Anticorrosiva.
- 4) Resistente a cualquier onda electromagnética externa.

La fibra, ya que es un sólido, se somete a diversos esfuerzos ingenieriles así como también a deformaciones; con éstos datos y obteniendo un cociente se obtienen gráficas en cuya abscisa está la temperatura, contra el Módulo Elástico. (Véase Fig. IV.B.3)

ELASTIC (YOUNG'S)

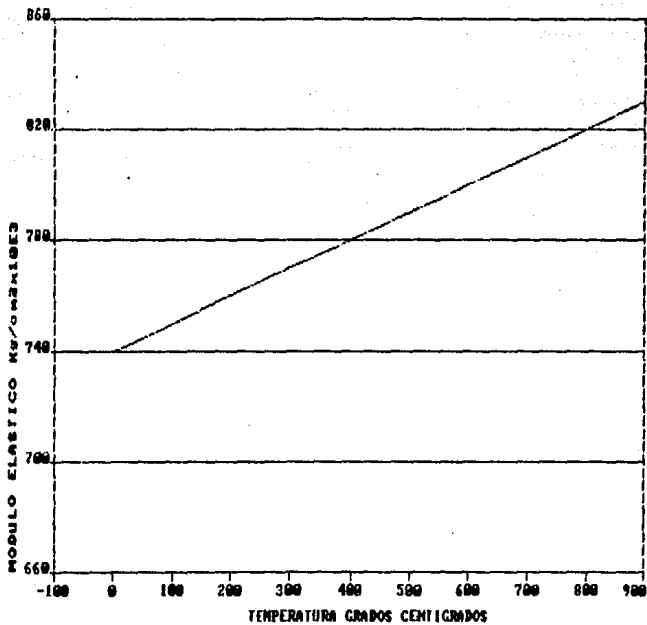


FIG. IV.B.3

### 3) Prueba del Módulo de Ruptura.

Un tramo de Fibra Optica, se monta como viga simple y se le aplica el ensayo a la flexión transversal. Este tipo de ensayos se aplica también a materiales quebradizos.

Estas tres pruebas se realizan en ambientes carentes de contaminantes, pero la información de los procedimientos es aún secreto de patentes por lo que aquí solo refuerza la idea de que existen otras pruebas más. (Véase Fig. IV.B.4)

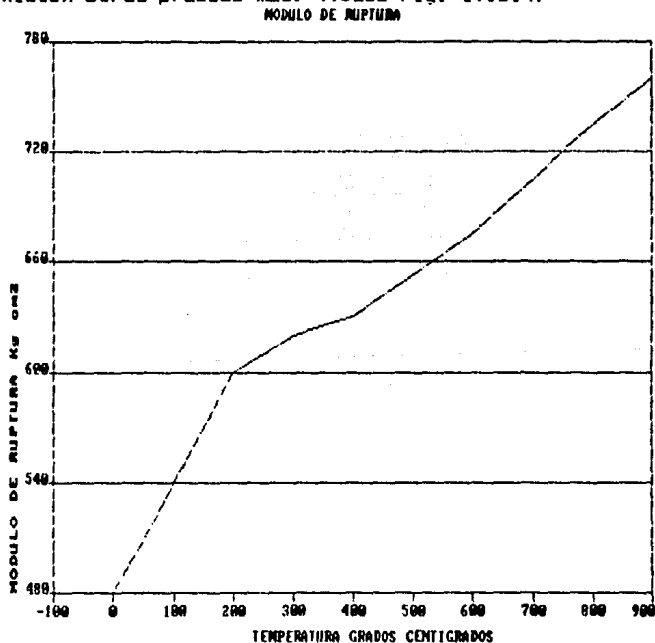
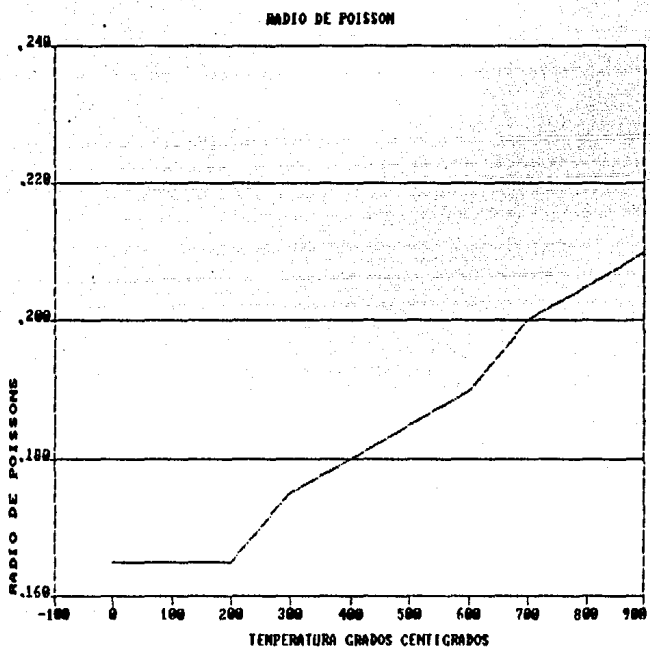


FIG. IV. B. 4



**FIG. IV. B. 5**

C A P I T U L O    U

A P L I C A C I O N E S

Y   P E R S P E C T I V A S

D E   L A   F I B R A   O P T I C A



La tecnología de la fabricación de la Fibra Optica en la actualidad, está sólidamente establecida y ampliamente respaldada a niveles corporativos internacionales, por ello es aceptada en un gran número de aplicaciones.

Al inicio de los años 70's, la producción de la Fibra Optica, sólo podía contemplarse a nivel experimental; pero debido a las modificaciones y desarrollo que existió en los Métodos de Fabricación, y además, al gran interés por diversos países altamente tecnificados, se lograron obtener las primeras producciones de Fibra Optica, que pudieron satisfacer las necesidades prevaletientes en el mercado internacional. Pues bien, ésta década marcó el inicio de la producción comercial de la Fibra Optica, pero fué en los 80's, donde alcanzó su máximo auge industrial, ya que todas las cualidades tecnológicas que se esperaban de dicho elemento, fueron una realidad.

Esto se debió a la amplia concentración de recursos técnicos y financieros, por parte de los países del Primer Mundo, razón por la cual, son los máximos y únicos productores capaces de satisfacer la demanda mundial.

Poco a poco la Fibra Optica se fué introduciendo en diversas áreas del quehacer humano, como por ejemplo, en Medicina, Proyectos Militares, algunos Proyectos Agroindustriales, entre otros, pero donde alcanzó su máximo desarrollo y utilidad es, definitivamente, en Telecomunicaciones.

En Telecomunicaciones se utiliza para la transmisión de datos, de información, de voz, de video, etc., pues es considerada el mejor medio de transmisión terrestre que se conoce hasta el momento.

Esta gran preferencia se debe a las enormes ventajas que presenta la Fibra Optica y que son:

a) Gran Capacidad de Transmisión.

b) No se afectan por la Inducción Electromagnética.

- c) *Gran Facilidad de Instalación, debido al reducido espacio y poco peso que tiene.*
- d) *Constante Evolución Tecnológica, ya que los Métodos de Manufactura se mejoran a razón de 4 meses.*
- e) *Abatimiento de Costos respecto a los Conductores Metálicos.*

Esto significa que las tendencias tecnológicas de la Fibra Optica muestran un panorama muy ambicioso, y se ha previsto que al principio de la década de los 90's el 10% de los sistemas metálicos instalados en el mundo, hayan sido sustituidos por los sistemas de Fibra Optica y el 100% para el año 2000.

#### V.1) APLICACIONES GENERALES.

Existen numerosas aplicaciones en los sistemas de Fibras Opticas, las mayores áreas de aplicación están en las *Telecomunicaciones (Telefonía y Telegrafía), Automatización Industrial y Aplicaciones Militares*. En el área de servicio de datos, las Fibras Opticas pueden captar una gran porción de la expansión del futuro mercado, el cual incluye aplicaciones en *Sistemas Bancarios y Aseguradoras (enlaces múltiples de computadora), Sistemas Múltiples de Correo, Servicios de Transportación (aviones, barcos, etc.), Nuevas Comunicaciones, etc.*

En el área de los *Sistemas de Información Visual*, las Fibras Opticas son sumamente atractivas para gráficas por computadora, transmisión de nuevos servicios fotográficos, micrográficos, videofono, enlaces de televisión educacional.

A continuación se exhibe un gráfico (Fig. V.1), en el

cual nos muestra el porcentaje de aplicación en el uso de la Fibra Optica en la actualidad.

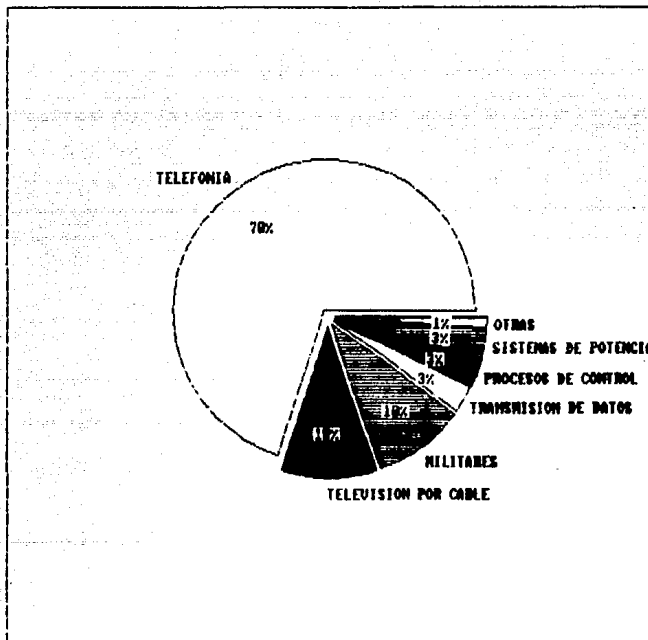


FIG. V.1

## **V.2) APLICACIONES EN TELEFONIA.**

### **V.2.A) ENLACES URBANOS.**

En forma global, las distancias de transmisión son del orden de decenas de kilómetros y mediante el uso de las fibras puede carecerse de un repetidor.

Esto beneficia el aspecto económico y técnico. La Fibra Optica permite utilizar la infraestructura existente y evita la construcción de salas de repetidores.

### **V.2.B) ENLACES A LARGA DISTANCIA.**

Lo que se pretende con la utilización de las Fibras Opticas se busca eliminar pérdidas y disminución de anchos de bandas.

### V.2.C) ENLACES DE ABONADOS.

Con este tipo de redes, es posible lograr una red integrada sobre un único portador físico para todos los servicios de banda ancha y banda estrecha (videofono, teledistribución).

### V.3) APLICACIONES DE TELEVISION POR CABLE.

#### V.3.A) SISTEMAS DE TRANSMISION DE VIDEO.

Una aplicación muy interesante de las Fibras Ópticas es una realización de una red interactiva de video que permita la comunicación por televisión entre abonado y otro. Por ejemplo, éstos pueden ser los servicios interactivos detectores del humo y calor que a su vez alertarían automáticamente al servicio de bomberos.

Servicios para alertar la atención médica, ya sea para el caso de los primeros auxilios o de rescate para una transportación inmediata a un hospital.

La automatización de ésta clase de servicios se consigue acoplando todos los dispositivos de un uso interactivo (detectores, alarmas) a una computadora central, la cual registrará las señales de alarma y alertará automáticamente al servicio apropiado (policía, médicos, bomberos).

La tendencia mundial es incrementar éstos servicios, los cuales se usan principalmente en:

- a) *Japón.*
- b) *Estados Unidos.*
- c) *Países de Europa.*

#### **V. 4) APLICACIONES MILITARES.**

##### **V. 4. A) COMUNICACION CON CABLES SUBMARINOS.**

Se podría clasificar en tres generaciones bien diferenciadas en la historia de los *Cables Submarinos para Telecomunicación*. La *Segunda Guerra Mundial*, marcaría la frontera entre la primera y la segunda generación, y la década de los 80's señalaría la frontera entre la segunda y tercera generación.

En la *Segunda Guerra Mundial* los *Cables Submarinos* eran esencialmente delicados y destinados para señales telegráficas, su vida podría ser inferior a diez años y la ausencia de puntos intermedios que amplificasen las señales eléctricas (repetidores submarinos) limitaban fuertemente la longitud de estos cables.

Con el avance de la electrónica y de los materiales (Poliétileno) mejoraron la calidad de los cables.

# ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

La última generación de cables submarinos viene marcado el sello de las comunicaciones ópticas, la Fibra Óptica, permite canalizar más la información y necesitar menos repetidores submarinos que los cables metálicos.

En 1851, se tendió el primer cable submarino del mundo entre *Francia y Gran Bretaña*, para evitar mensajes telegráficos.

Hoy en día la firma TAT-8, en 1988 instaló un cable submarino el cual tiene la capacidad de transmitir 35.000 llamadas al mismo tiempo, esto nos da la idea de la ventaja del uso del cable de la Fibra Óptica.

## V.5) APLICACIONES EN SISTEMAS DE POTENCIA.

La Fibra Óptica puede ser canalizada hacia su aplicación en sistemas eléctricos de potencia de los productos como son la medición, control y comunicación. Dichos sistemas de potencia requieren de efectivos métodos de comunicación para un adecuado funcionamiento, desgraciadamente, éstos sistemas de comunicación se encuentran altamente influidos por el ruido producido por las líneas de alta tensión, requieren de dispositivos de protección contra aumentos de potencial con las estaciones eléctricas y además de ser dependientes de algunos disturbios atmosféricos, es por ello que la aplicación de las Fibras Ópticas en la comunicación de estaciones eléctricas es muy necesaria ya que su alta inmunidad a la interferencia electromagnética, su aislamiento dieléctrico y su resistencia en altas temperaturas, le permiten su utilización en enlaces dentro de las subestaciones eléctricas a niveles de inducción electromagnética fuertes donde los cables de conductores metálicos son poco confiables.

Los problemas que actualmente presenta ésta aplicación son relativos al desarrollo de repetidores adecuados

para niveles de alta inducción electromagnética y protegidos contra transitorios.

#### V.6) APLICACIONES A PROCESOS DE CONTROL E INSTRUMENTACION.

Con la aplicación de elementos electrónicos modernos, la tecnología en los procesos de control automático de sistemas y en los procesos cuya medición es por medio de instrumentación tradicional (sistema neumático, hidráulico, mecánicos), ha sido sustituido por circuitos electrónicos cuyos componentes, como los transistores (Germanio y Silicio), LEDS, Circuitos integrados por ejemplo, han revolucionado el concepto de procesos de control e instalación. Si a todos éstos elementos le sumamos la instalación de Fibras Ópticas, en su conjunto, tendremos procesos más controlados con una máxima legibilidad, una medida más exacta y una respuesta casi inmediata a cualquier medida. Las aplicaciones actuales en ésta área son infinitas, y conforme pasa el tiempo serán éstos sistemas la base del control e instrumentación.

Se estima que para el año 2000 en la Industria Europea de Procesos Industriales ocuparán un 90% del total de la misma.



## V.7) APLICACIONES DIVERSAS.

### V.7.A) EN COMPUTADORAS.

En la computación, la Fibra Optica tubo su mayor auge en enlaces que fueran inmunes a la interferencia electromagnética con gran ancho de banda.

Además se obtiene una gran confiabilidad en la transmisión de datos.

El mercado de la fibra en ésta aplicación es el de menor desarrollo comparado con los anteriores, se espera que para 1992, todos los enlaces entre computadoras ocurran completamente utilizando componentes ópticos.

### V.7.B) EN LA MEDICINA.

En diversos aparatos para la detección de enfermedades como el Cáncer, y no sólo para ésta enfermedad, sino también para el diseño de aparatos para todo lo que se relaciona con un diagnóstico médico.

#### V.7.C) EN APARATOS DE USO CONVENCIONAL.

Desde la aplicación de teléfonos celulares, hasta la aplicación de circuitos especiales de audio y video.

En el mundo actual se realizan cientos de proyectos, en los cuales la Fibra Optica está presente. A continuación mencionaremos algunos de los proyectos más significativos, aunque resten bastantes proyectos pero no menos importantes.

#### V.8) PROYECTOS SIGNIFICATIVOS.

##### *1) Enlaces Terrestres digitales en la Costa Este de los Estados Unidos.*

En febrero de 1983, la ATT inauguró la primera fase (372 millas) del enlace de 776 millas por Fibra Optica entre Washington (Virginia) y Cambridge (Massachusett). Esta primera fase une algunos puntos ubicados entre Washington y Nueva York; cuando el enlace global esté acabado, será el mayor del mundo con repetidores telealimentados.

Cuando el sistema esté totalmente equipado soportará 240,000 conversaciones telefónicas simultáneas (1987).

El cable contiene, según los tramos entre 48 y 144 *Fibras Multimodo de Indice Gradual*; la estructura del cable es de forma laminar, con 12 fibras por lámina; el diámetro exterior del cable es de 0.5 m.

De los 980 km. van instalados en ductos y 155 km. se instalan directamente enterrados. El costo total representa 125 millones de dólares, de los que 80 millones corresponden a equipos.

## 2) Enlaces Submarinos.

En 1988 se unieron Europa y Estados Unidos con un cable de Fibra Optica de 6,500 km., y tendido a una profundidad máxima de 5.5 km.

El proyecto está patrocinado por 28 entidades de telecomunicación y su costo global es de 335 millones de dólares. Tres compañías instalan y suministran el proyecto: *ATT* (3,150 millas), *STC* (283 millas) y *SUBMARCOM* (170 millas).

Su capacidad será de 8,000 canales telefónicos extensibles hasta unos 35,000 con el Sistema de Interpolación *TASI* (*Time Assignment Speech Interpolation*): en condiciones de plena carga un canal telefónico, necesita con esta técnica de Interpolación 16 kb/s.

El proyecto está concebido para admitir hasta cinco ramificaciones en Y. El sistema opera a 280 mb/s sobre Fibra *Monomodo*, los repetidores se distan a 35 km. El cable incluye 12 fibras, las cuales se han seleccionado cumpliendo con rigurosas medidas para comprobar la idoneidad de sus propiedades mecánicas; en particular se ha sometido a tracciones de 200 kpsi durante unas 15 horas.

## 3) Redes Multiservicio en el Area de Abonado.

*British Telecom* llevó a cabo una red experimental para 18 hogares; instaladas en las proximidades de la *Central Milton Keynes*.

ITT suministró los equipos. Se inauguró el 21 de junio de 1982 y fue la primera en el Reino Unido en su especie, y una de las primeras en el mundo. La red ofrece servicios de distribución de T.V., programas sonoros en F.M. y accesos a 200.000 páginas de información del Servicio Prestel.

La red se configura en dos niveles: La Estación Cabecera y el Centro de Conmutación se unen entre sí por un cable de 3 km. con diez fibras.

Cada abonado se une con la Central de Conmutación de Video por cable de dos fibras (entre 50 y 200 m.).

#### 4) Proyecto Bigfon.

En siete ciudades de la República Federal Alemana se llevó a cabo el conocido Proyecto Experimental Bigfon, patrocinado por el Deutsche Bundespost. Todos los equipos y cables implicados en estas siete islas son fabricados e instalados por seis compañías alemanas: Takeda, AEG, Fuba, Sel, Siemens y Krone; cada isla cubrirá 28 ó 48 abonados, de los que 25% aproximadamente recibirán videofonía.

Los servicios comunes incluyen: canales de video, programas de sonido en F.M., telefonía digital y servicios de datos.

Las islas Bigfon se interconectan mediante sistemas digitales de gran capacidad de Fibra Óptica. Una peculiaridad del Bigfon es la incorporación de la videofonía, con la calidad de imagen correspondiente a la norma PAL - g de 5 Mhz.

La señal se codifica entre 64 y 140 Mb/s. según los casos.

Las islas ubicadas en siete ciudades, permiten ensayar un amplio conjunto de transmisiones analógicas y digitales sobre base de una o dos Fibras Ópticas Multimodo por abonado.

## 5) Proyecto de Interconexiones Militares.

Las Fuerzas Aéreas de los Estados Unidos (USAF), patrocinaron durante 1983 un programa cuyo objeto es instalar una red de interconexión por Fibra Óptica, es el Complejo de Misiles Mx en Banderburg.

Se trata de uno de los proyectos de más envergadura realizada hasta la fecha; implica unos 15,000 km. de cable óptico y unos 10,000 transmisores y receptores.

El programa contempla diversos enlaces de corta y media distancia (hasta 8,000 km.), básicamente para telemetría. Los enlaces deben ser altamente fiables, con una vida superior a los 20 años en las rigurosas condiciones ambientales de los Sistemas Militares.

Se han empleado cables de 4, 6 y 8 fibras con perfil de Índice Gradual y geometría de 50/125 m.

La diversidad de proyectos, los cuales involucran a la Fibra Óptica, han despertado una gran competencia en el aspecto ingenieril y de proyecto, así tenemos que en Francia la aplicación en el Proyecto Biarritz, que ofrece servicios de telefonía, dos canales de T.V., y uno de alta fidelidad es una variante de la tecnología de la Patente Anonyme de Telecommunications y LIT.

Los japoneses con las Compañías Sumimoto Electric, Fujitsu, fueron los primeros en instalar un sistema de banda a base de Fibra Óptica, ofreciendo servicios de fonía y video.

Este proyecto se denominó Hi-Ovis y responde al cambio estratégico en la industria japonesa que se proponía:

- a) Potenciar las industrias de Fibras Ópticas y ponerlas en los primeros puestos de exportación internacional.

b) Facilitar la simbiosis entre la industria teleinformática y de la comunicación.

c) Dispersar las concertaciones industriales.

Los Canadienses no se han quedado atrás en este renglón industrial, y con el proyecto *Elite-Minítoha* que finalizó en su realización 1981, han gozado de comodidad tecnológica del servicio en banda ancha, que ofrece un circuito telefónico, con cuatro extensiones, siete canales de F.M. estéreo y accesos a nueve canales de video.

Los suizos han realizado también proyectos de esta índole con variantes de proyecto; dentro de este país la patente sobresaliente es *Autophon*.

#### V.9) PREVISIONES ACTUALES Y PREVISIONES DEL MERCADO HASTA 1990.

Durante la década de 1970-1980, se han invertido en todo el mundo unos 1.000 millones de dólares en estudios desarrollados y aplicaciones sobre comunicaciones por Fibra Óptica, telecomunicaciones por redes públicas militares, transmisión de datos, aplicaciones industriales, etc.

En 1982 se instalaron 170.000 kilómetros de fibra y un consumo de 270.000 km. para 1983 (incremento del 41%, por un valor de unos 620 millones de dólares), de los que los Estados Unidos Americanos consumió el 50% aproximadamente.

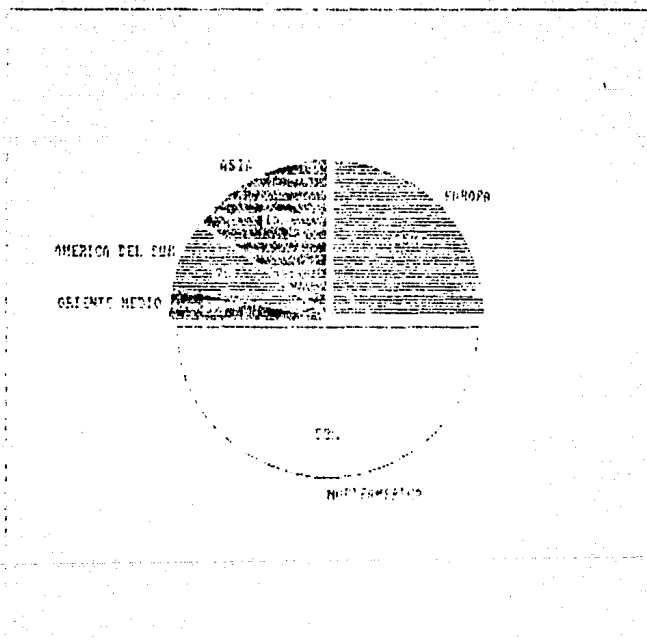
Las previsiones a nivel mundial para la presente década englobando componentes positivos, activos y cables de Fibra Óptica se cifraron en unos 650 millones de dólares para 1985 y en 1.800 millones de dólares para 1990.

Posteriormente, en 1983, se calculó un mercado de 550 millones de dólares para ese año, confiando a 3,000 millones de dólares para 1987, en éstas cifras se han barajado informaciones concernientes a 38 países; si bien los *Estados Unidos Americanos, Canadá, Europa* (sin incluir países del Este) y *Japón*, represensan el 96% del mercado.

La siguiente figura representa una distribución geográfica del mercado mundial. En 1982 los siete mayores consumidores por orden de importancia fueron: *Estados Unidos Americanos, Canadá, Reino Unido, Alemania Federal, Japón, Francia* y la tendencia en la década de que *Estados Unidos Americanos* siga encabezando el grupo.

A continuación se presentan cuadros representativos de la demanda a través del tiempo en los mercados internacionales.

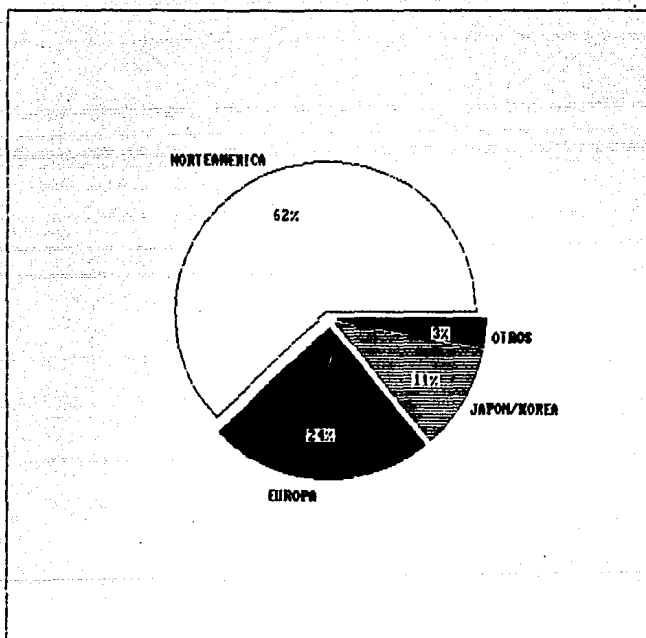
Tomaremos como muestra a los *Estados Unidos Americanos* por ser de los de mayor demanda. (Véase Fig. V.9.A, V.9.B, V.9.C y V.9.D)



**DEMANDA DE FIBRA MONOMODO**

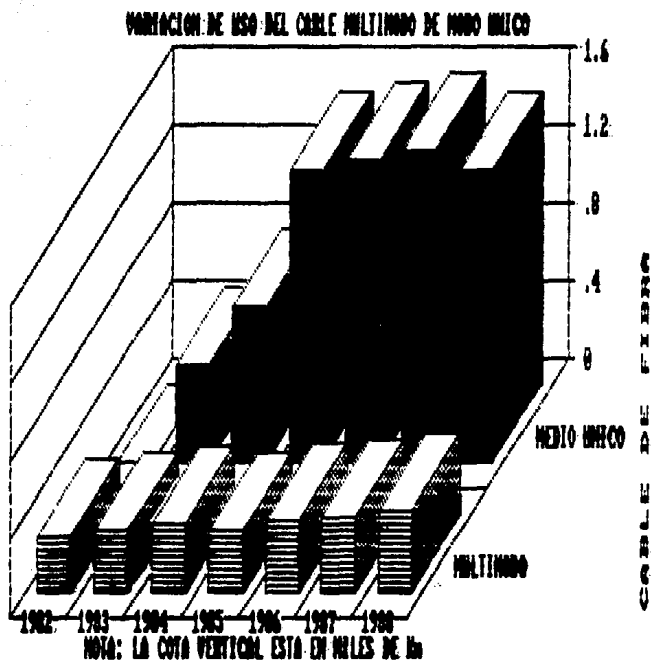
**FIG. V.9. A**





DEMANDA DE FIBRA MULTIMODO.

FIG. V. 9. B



**FIG. V.9.C**

### CABLE DE FIBRA OPTICA EN ESTADOS UNIDOS

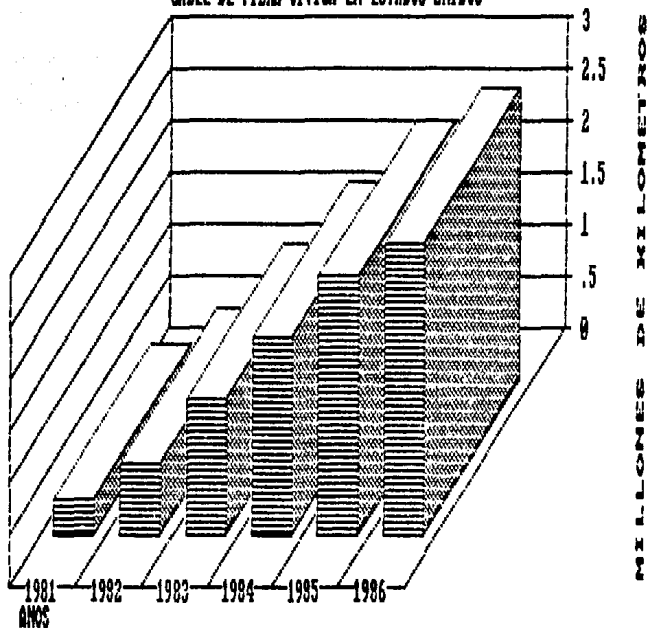


FIG. V.9.D

#### V.10) COSTOS Y REFLEJOS DE LA TECNOLOGIA.

La alta manufactura en la tecnología de la Fibra Óptica ha abarcado el costo/km. de la misma.

Esto es aplicable a cualquier tipo de fibra, y también a las diversas patentes internacionales existentes.

La patente norteamericana Corning, nos da una gráfica para poder visualizar cómo el costo/km. ha decrecido con el tiempo. (Véase Fig. V.10)

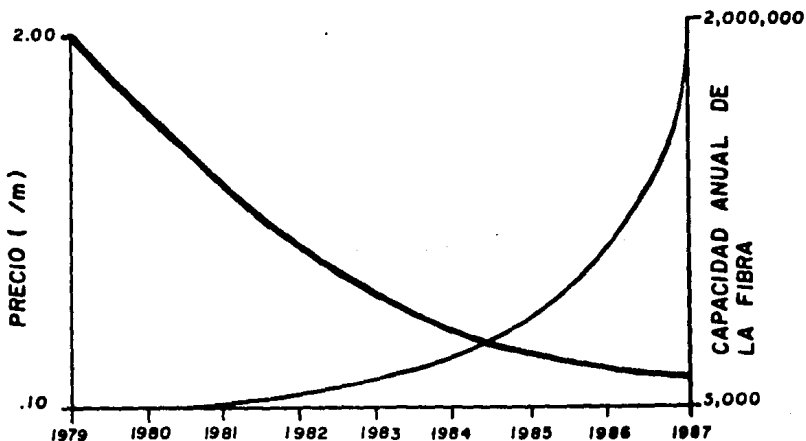


FIG. V.10

#### V.11) PROYECTOS DE LA FIBRA OPTICA EN MEXICO.

Al principio de la década de los 70's se empieza a conocer con gran difusión la Fibra Optica en sus diversas versiones en nuestro país (*Aplicaciones Electrónicas*), pero hasta el año de 1974 comienza a profundizar con verdaderos proyectos a las Fibras Ópticas. La empresa denominada *Condumex* comienza con los primeros estudios referentes a las aplicaciones de la Fibra Optica dentro del área de la telefonía. Algunos fabricantes de equipo optoelectrónico lanzaba a la venta algún equipo.

En el año de 1978. *TEL-MEX* expande la aplicación de la Fibra Optica dentro del área de las Telecomunicaciones.

La empresa *Condumex* propuso a *TEL-MEX* la instalación de un cable a prueba entre dos centrales telefónicas, propuesta que se presentó en 1979 y fué aceptada en 1981, con lo cual las Fibras Ópticas en México se empezaron a usar.

El proyecto comenzó a instalarse en el año de 1982 (febrero), y entró en operación en el mes de julio del mismo año.

A su vez, en el año de 1984 *Condumex* empieza a desarrollar sistemas de transmisión óptica y desarrolla cables de tipo especial para las necesidades actuales.

Actualmente existe una mayor difusión de proyectos en los cuales se usa Fibra Óptica, y hay una mayor tendencia de incrementar el uso de las Fibras Ópticas, por el mismo avance tecnológico de los países del *Primer Mundo*.

Un ejemplo anterior es el del sistema "red" que ahora tienden a mejorarlo empresas privadas y que con la ayuda de las Fibras Ópticas obtendrán un beneficio en su sistema interno de comunicación.

## C O N C L U S I O N .

## CONCLUSION.

Las grandes civilizaciones han dado origen a grandes descubrimientos, mismos que pueden ser tan contundentes para cambiar el sentido de la vida humana. Así tenemos por ejemplo: el descubrimiento del fuego, de la rueda, máquinas de vapor y ahora Fibras Ópticas.

La importancia de la comunicación entre los hombres nos ha llevado a realizar estudios a fondo con respecto a la misma. El reto de evolucionar día a día en todas las áreas del quehacer humano involucra fuertemente a la Tecnología, y de aquí se desprende la importancia de las fibras.

Estamos viviendo un mundo extraordinario en cuanto a la capacidad inventiva del ser humano; la aplicación de los métodos científicos para determinar la calidad de los materiales, juegan un papel fundamental. Desde la década de los 70's, las Fibras Ópticas ya se venían usando en Europa y E.U.A.

Los métodos para la manufactura de la Fibra Óptica, son altamente tecnificados y cerrados. Las diversas patentes extranjeras han dejado su tecnología para sí mismas, y tan solo



dan a conocer lo necesario para poder darnos una idea de ciertas características que engloban éste proceso industrial.

Para fabricar Fibra Optica se necesita de recursos económicos, financieros técnicos y humanos.

La *Manufactura* de la Fibra Optica requiere de grandes inversiones, ya que es un proceso industrial que cada tres meses cambia en cuanto a sus características y la forma de fabricarla. Se necesita de ambientes muy puros, además de un clima controlado.

Los métodos de fabricación básicamente son el *Método de Preforma* y el *Método de Crisol*, pero no hay que descartar la posibilidad de la existencia de un método nuevo y además secreto, que esté actualmente funcionando para las diversas aplicaciones existentes.

De acuerdo al tipo de Fibra Optica dependerá la selección del método de fabricación.

No existe parámetro básico para determinar la calidad de la Fibra Optica. Las pruebas son diversas y dependerá de la patente, seleccionar las variadas pruebas para verificar la

calidad de lo obtenido. El auge moderno de la Fibra Optica tiende a una aplicación infinita. La tenemos en nuestra vida diaria y la usamos cada vez más con frecuencia. Es un elemento que debemos conocerlo y además aplicarlo. En México, se conoce bastante en cuanto a la aplicación de la Fibra Optica, pero no en cuanto a los métodos de fabricación. No obstante, nuestro país cuenta con materia prima para poder llevar a cabo la manufactura de la Fibra Optica, pero una vez más nos quedamos como en otras áreas técnicas, siempre limitados, y aunque existen empresas privadas que han realizado estudios para ver la factibilidad de la manufactura de la Fibra Optica, realmente no sería rentable, porque hay que recordar que es una tecnología que implica un alto costo y además que estamos expuestos, si la fabricamos a caer fácilmente en lo obsoleto por las razones antes mencionadas.

Dependemos de las patentes internacionales en Fibra Optica como proveedores de la misma fibra, así como del recurso técnico para poder llevar a cabo la modernización de nuestro país en materia de *Telecomunicaciones*, pero vale la pena pensar en una inversión de éstas, porque México no se puede quedar al margen, hoy en día en ningún aspecto de *Ingeniería* y quizá tecnología para la manufactura de la Fibra Optica, que pudiera

proveer de insumos a la nación de acuerdo a un crecimiento global nacional planeado y aplicar el uso de la fibra a sectores que de alguna manera generen productividad hacia la nación.

Realmente no estamos lejos de realizarlo, nosotros esperamos que éste trabajo pueda contribuir en cierta medida hacia el inicio de los grandes proyectos que necesita México.

**T E R M I N O S**

**T E C N I C O S**

## DICCIONARIO DE TERMINOS TECNICOS.

### ABSORCION:

Conjuntamente con la dispersión, causa principal para la atenuación de una Fibra Optica. Se genera por impurezas indeseadas con el material de la Fibra Optica y sólo se tiene consecuencias en determinadas longitudes de onda luminosa.

En *Fotodiodos*, la *Absorción* es el proceso en el cual un *Fotón* entrante es aniquilado y con su energía es elevado un *Electrón* desde la *Banda de Valencia* a la *Banda de Conducción* (separación de bandas).

### CONTRAPOSICION:

Emisión.

### ANCHO DE BANDA DE TRANSMISION:

La frecuencia con la cual la función de *Transferencia* de una Fibra Optica ha caído a la mitad de su valor con frecuencia cero, o sea, con

la cual la atenuación de señal ha aumentado en dB. Dado que el Ancho de Banda es una transmisión de Fibra Optica, es aproximadamente recíproca a su longitud (Mezcla Modal). Muchas veces es indicado el producto Ancho de Banda-Longitud como indicativo de calidad.

#### ANGULO DE ACEPTACION:

Semiángulo opuesto por el vértice del cono dentro del cual la potencia acoplada en una Fibra Optica uniformemente iluminada, es igual a una fracción especificada de la potencia total acoplada. De la Optica Geométrica, resulta el máximo ángulo de aceptación teórico.

$$\theta = \text{arc sen} \sqrt{\frac{r_1^2 - r_2^2}{r_1^2}}$$

Al seno del ángulo de aceptación de se le denomina apertura numérica.

#### ATENUACION:

Disminución de la potencia óptica entre dos secciones transversales de Fibra Optica. Sus causas principales son el esparcimiento y la absorción.

así como pérdidas ópticas en conectores y empalmes. Se le define por la expresión:  $-10 \lg (P_2/P_1)$  dB, donde  $P_2 < P_1$ .

#### DIFERENCIA ENTRE INDICES DE REFRACCION:

Diferencia entre el mayor índice de refracción  $n_1$  que tiene lugar en el Núcleo de una Fibra Óptica y en el índice de refracción  $n_2$  en el Revestimiento. La diferencia entre índices de refracción es determinante para la magnitud de la apertura numérica y para el valor de la atenuación causada por microcurvaturas. En cálculos se emplea generalmente la diferencia entre índices de refracción normalizada.

$$A = (n_1^2 - n_2^2) / 2n_1^2 \sim (n_1 - n_2) / n_1$$

#### DIODO LASER. (L.D.)

Diodo semiconductor que por encima de una corriente de umbral emite luz inerte (emisión estimulada). El servicio de trazo continuo únicamente es posible con diodos de doble heteroestructura. Se diferencia entre diodos láser de guía por la ganancia (gain-guided) y guía por el

índice (index-guided), cuyas propiedades por ejemplo, el ancho espectral de su radiación o su comportamiento de ruido, pueden diferir fuertemente.

#### DISPERSION:

Esparcimiento del tiempo de propagación de la señal en una Fibra Óptica. Está compuesta por distintas componentes: *dispersión modal*, *dispersión debida al material* y *dispersión debida al guiado*. Debido a su dispersión, una Fibra Óptica actúa para las señales a transmitir como filtro pasa bajo (función de transferencia).

#### ENVOLTURA DE LA FIBRA.

Consta de uno o varios materiales y sirve para la aislación mecánica de la Fibra Óptica (impedimento de la formación de microcurvaturas) y para protección contra daños.

#### FIBRA OPTICA DE INDICE GRADUAL ESCALONADO.

Fibra Óptica con perfil en escalón, o sea, con un perfil de índice de refracción caracterizado por un



índice de refracción constante dentro del núcleo y una caída abrupta del índice de refracción en el límite entre Núcleo y Revestimiento. Este perfil puede ser aproximado por un perfil exponencial con  $q > 10$ .

#### FIBRA OPTICA DE INDICE GRADUAL.

Fibras Ópticas con perfil de índice gradual, o sea con un perfil de índice de refracción que se modifica continuamente a través de la sección transversal de la Fibra Óptica. El perfil de Fibras Ópticas de índice gradual usuales puede ser aproximado por un perfil exponencial con  $1 < q < 3$ .

#### FIBRA OPTICA MONOMODO.

Fibra Óptica de pequeño diámetro de Núcleo en el cual sólo es propagable un único modo, el modo fundamental. Este tipo de Fibra Óptica es especialmente apropiada para transmisión de banda ancha a través de grandes distancias, dado que su ancho de banda de transmisión sólo está limitado por dispersión cromática.

## FIBRA OPTICA MULTIMODO.

Fibra Optica cuyo diámetro de Núcleo es grande respecto a la longitud de las ondas luminosas y en el cual por ello son propagables gran cantidad de modos. Mediante un perfil de índice gradual (Fibra Optica de Índice Gradual) puede mantenerse pequeña la dispersión modal de manera de lograr grandes anchos de banda de transmisión, que sin embargo aún son superadas por Fibras Opticas Monomodo.

## INDICE DE REFRACCION:

El factor  $n$  por el cual la velocidad de la luz es un medio óptico denso (por ejemplo vidrio) es menor que en el espacio libre.

## MODOS:

Formas de ondas lumínicas discretas que pueden propagarse en la Fibra Optica. Son soluciones propias de la conexión diferencial que describe la Fibra Optica y por ello también se les llama *Onda Propia*. Mientras en la Fibra Optica Monomodo, es un solo modo, el modo fundamental, en la Fibra Optica Multimodo, son varios cientos de modos que se

diferencian, entre otros por su distribución de campo y su velocidad de propagación (dispersión modal). Hacia arriba, su cantidad está limitada por el diámetro del Núcleo y la apertura numérica de la Fibra Óptica (volumen modal, diagrama espacio-fase).

#### RUIDO MODAL:

Efecto de perturbación de las Fibras Ópticas *Multimodo* que son alimentadas por diodos láser. Se presenta cuando las Fibras Ópticas contienen elementos con atenuación dependiente de los modos (por ejemplo empalmes defectuosos) y es tanto más fuerte cuanto mejor la coherencia de la luz láser, o sea, tanto más pronunciada sea su granulación. Ponen remedio a ésta situación las mejoras de la técnica de conectores y empalmes así como el empleo de diodos fotoemisores o diodos láser *Multimodo de Espectro Ancho*, ó el empleo de Fibras Ópticas *Monomodo*.

#### TRANSMISION DIGITAL:

Transmisión de una señal discreta ganada normalmente de una señal analógica mediante

digitalización; preferentemente mediante impulsos ópticos binarios en una configuración de intervalos de tiempo.

#### TRANSMISOR OPTICO:

Módulo para la conversión de señales eléctricas en ópticas. Consta de un diodo emisor (diodo láser o diodo fotoemisor) con fibra de conexión, conector y amplificador excitador, así como otros circuitos electrónicos. Con diodos láser se hace especialmente necesario un fotodiodo con amplificador regulador para la supervisión y estabilización de la potencia de radiación. En muchos casos, además es necesario usar un sensor de temperaturas y un disipador de Peltier para la estabilización de la temperatura operativa. Los componentes principales del transmisor son generalmente, en tanto sea posible, resumidos en una subunidad compacta, al transmisor.

## B I B L I O G R A F I A

B I B L I O G R A F I A .

CENTRO DE OPTICA, ITESM Fibras Opticas Latincasa. 1986.

CENTRO DE OPTICA, ITESM Fibras Opticas Latincasa. 1986.

FIBER OPTIC BOCA RATON, FLA CRC PERSS, Inc. Edit. International  
Text Books. 1979.

FIBER OPTICS CHED, P.K. Englewood Clidds. N.J. Edit Prentice  
Hall Inc. 1985.

FUNDAMENTALS OF OPTICAL FIBER COMMUNICATIONS BARNOSKI, M.K. Edit.  
Academic Press. 1981.

INTRODUCCION A LA METALURGIA FISICA, Syndey H. Auner. Edit. Mc.  
Graw Hill. 1977.

INTRODUCCION A LA MECANICA DE SOLIDOS, E. Popov. Edit. Limusa.  
1983.

LOCAL-AREA NETWORKS WITH FIBER OPTIC APLICATIONS BAKERS, D.C.  
Englewood Clidds. Edit. Pretice Hall. 1986.

MATERIALES DE INGENIERIA Y SUS APLICACIONES. Richard A. Flin-  
Trojan. Edit. Mc. Graw Hill. 1985.

MICHAEL DURR, Networking IBM. PC A: Practical Guide. 1987.

MICROONDAS: PROGRAMACION Y RADIACION: Joel Ruiz de Aquino ITESM.  
1980.

OPTICA. F.W. SEARS Edit. Aguilar. 1971.

OPTICAL FIBER CHARACTERIZATION CHAMBERLAIN. G.E.G.W. Day, D.L.  
Franzen, R.L. Gallwa, E.M. Kim, and M. Young;  
Washington, D.C. U.S. Government Printing Office.  
1983.

OPTICAL FIBER COMMUNICATION KEISER. G.E. New York: Mc. Graw Hill,  
Book Company. 1983.