



91
201

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CUAUTITLAN

**"COMUNICACIONES.
FABRICACION DEL CABLE DE FIBRA OPTICA"**

TRABAJO DE SEMINARIO

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A :

EDGAR OROZCO FLORES

ASESOR: ING. FRANCISCO TELLITUD LOPEZ



CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX. 1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

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



DR. JAIME KELLER TORRES
 DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
 PRESENTE.

AT'N: ING. RAFAEL RODRIGUEZ CEBALLOS
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES-C.

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautilán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

Uso de las computadoras.

 Encargado del curso de Teoría Óptica

que presenta el presente: Sigfrido Roberto Flores
 con número de cuenta: 100710000 para obtener el Título de:
ingeniero mecánico industrial.

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

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautilán Local, Edo. de México, a _____ de febrero de 1996

| MODULO: | PROFESOR: | FIRMA: |
|---------|----------------------------------|------------------------------------|
| 1 | ing. Alfonso Contreras Contreras | <i>Alfonso Contreras Contreras</i> |
| 2 | ing. Juan Carlos Contreras | <i>Juan Carlos Contreras</i> |
| 3 | ing. Francisco Contreras | <i>Francisco Contreras</i> |

DEP/VORSEN

ÍNDICE

CAPITULO 1

| | |
|---|----------|
| LA FIBRA ÓPTICA | 1 |
| 1.1 Generalidades | 1 |
| 1.2 Características de la fibra óptica | 2 |
| 1.2.1 Material de la fibra óptica | 3 |
| 1.2.2 Índice de refracción del núcleo | 3 |
| 1.2.3 Modo de propagación | 4 |
| 1.2.4 Apertura numérica | 5 |
| 1.2.5 Diámetro del núcleo y revestimiento | 6 |

CAPITULO 2

| | |
|--|----------|
| DISEÑOS EN EL CABLE DE FIBRA ÓPTICA | 8 |
| 2.1 Tipos de diseño | 8 |
| 2.1.1 Cables sin núcleo | 9 |
| 2.1.2 Cables con núcleo | 10 |

CAPITULO 3

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| ELEMENTOS PARA LA FABRICACIÓN | 14 |
| 3.1 Materiales | 14 |

| | |
|--|----|
| 3.1.1 Tereftalato de Polibuteno (PBTF) | 15 |
| 3.1.2 Poliamida (PA Nylon) | 15 |
| 3.1.3 Aramida | 16 |
| 3.1.4 Polietileno | 16 |
| 3.1.5 PVC | 18 |
| 3.2 Instalaciones | 19 |
| | |
| CAPITULO 4 | |
| MÉTODOS DE FABRICACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA | 21 |
| 4.1 Método de la barra en tubo | 22 |
| 4.2 Método de separación de vidrio por fase | 22 |
| 4.3 Método de deposición de vapor por fase | 23 |
| 4.3.1 El método OVD | 24 |
| 4.3.2 El método VAD | 25 |
| 4.3.3 El método MCVD | 26 |
| 4.3.4 El método PCVD | 26 |
| 4.4 Estirado de la fibra | 27 |
| 4.4.1 Protección durante el estirado | 29 |
| | |
| CAPITULO 5 | |
| MANUFACTURA DEL CABLE DE FIBRA ÓPTICA | 30 |
| 5.1 Chequeo de las características de la fibra | 30 |

| | |
|--|-----------|
| 5.2 El pintado de la fibra | 31 |
| 5.3 Extruido | 32 |
| 5.3.1 Tubo holgado | 34 |
| 5.3.2 Tubo apretado | 35 |
| 5.3.3 Tubo plano | 37 |
| 5.4 Disposición de los buffers alrededor del núcleo | 37 |
| 5.5 La cubierta secundaria | 38 |
| 5.6 Embobinado | 39 |
| | |
| CONCLUSIONES | 41 |
| | |
| BIBLIOGRAFÍA | 43 |

PREFACIO

El campo de acción de la ingeniería mecánica eléctrica es en nuestros días sumamente extenso, ya que sus diferentes ramas abarcan gran parte de la tecnología moderna. Así pues, se mostrara en este trabajo una parte muy especifica de la rama de las comunicaciones: el cable de fibra óptica.

La fibra óptica como medio de transmisión de voz y datos es probablemente el medio mas eficaz hasta ahora conocido, para dicho fin. Por eso, este trabajo se dedica a tan importante medio de transmisión.

Pese a que en algunas aplicaciones la fibra óptica se utiliza sin ninguna cubierta secundaria, en la mayoría de las aplicaciones no se conecta una fibra óptica sin algún tipo de recubrimiento. Las fibras ópticas son cubiertas por varias capas de diferentes materiales para protegerlas contra los efectos del medio ambiente, de esta manera se van formando los cables de fibra óptica.

Aquí se podrán encontrar las características principales de las fibras ópticas en cuanto a sus tipos, materiales y modos de transmisión a manera de introducción, para finalmente terminar con un alto grado de especialización. Por eso, este texto es una excelente opción para aquellos que pretendan introducirse a fondo en el tema de la

fabricación del cable de fibra óptica ya que se recopiló la información de varias empresas para poder lograr un trabajo de calidad.

Desde el primer capítulo nos introducimos al tema, exponiendo las bases de este. Posteriormente en el capítulo dos se da una imagen completa de a donde vamos y como llegaremos. Así, se irán analizando punto por punto los diferentes temas sin perder de vista el panorama general.

En el capítulo tercero se proporcionan algunas de las características de los materiales necesarios para la fabricación del cable de fibra óptica. De esta manera al mencionar su utilización sabemos porque estos materiales fueron escogidos de entre tantos y como es que protegen a las fibras.

El capítulo siguiente está dedicado a la fabricación de la fibra óptica mencionando los métodos más importantes.

El capítulo cinco es la conjunción de todo lo descrito en los capítulos anteriores. Aquí se podrán ver como todas las anteriores teorías son llevadas a la práctica para culminar en un producto de gran durabilidad y funcionalidad.

Finalmente llegamos a las conclusiones ya que siempre es bueno y necesario llegar a una conclusión sino categórica, crítica, propia de este trabajo. Desafortunadamente en este,

la velocidad con la que la tecnología evoluciona hace que una vez terminado el mismo, este pueda resultar demasiado sencillo o demasiado complejo, muy extenso o apenas una introducción, pero cualquiera que fuese el caso se hizo con la plena conciencia de dejar plasmada una experiencia, ya que el camino de la tecnología en nuestro país es largo pero estas experiencias nos servirán algún día para desarrollar nuestros propios métodos. Así pues, espero que este trabajo no sea visto como un simple requisito, sino como algo más.

LA FIBRA ÓPTICA

1.1 Generalidades

En el presente siglo los avances tecnológicos se han desarrollado vertiginosamente, principalmente en los últimos cincuenta años. El crecimiento de la computación junto con el tráfico de datos ha hecho que las técnicas de transmisión de datos sean cada vez más rápidas, confiables y eficientes dando origen a nuevas tecnologías en lo que a esta área se refiere. Una de estas nuevas ramas, que de hecho tiene más de veinte años, es la fibra óptica.

Como es sabido, la fibra óptica puede transmitir gran cantidad de información a una gran velocidad con pocas pérdidas y gran confiabilidad, de ahí que su uso se esté extendiendo rápidamente. Sin embargo, el costo de los equipos que operan con fibra óptica sigue siendo bastante elevado en comparación con los equipos que transmiten a través de cable coaxial o par trenzado.

Pese que el cable de cobre como el de fibra óptica pueden llegar a tener los mismos recubrimientos su producción dista mucho de ser similar ya que una fibra óptica

requiere de un proceso complicado de producción, no obstante que el recubrimiento final puede ser idéntico que el de un cable de cobre con requerimientos específicos. Todo cable de fibra óptica empieza por un centro que es precisamente una fibra óptica la cual tiene un diámetro el cual oscila entre los 140 μm dependiendo el tipo de fibra. Sin embargo con todos sus recubrimientos un cable puede llegar a portar cientos de fibras y tener un diámetro final de 10 cm. ó más.

A diferencia del cable de cobre, la forma de transmisión de la fibra óptica es mediante la reflexión de la luz, es decir, la luz que entra en un extremo de la fibra óptica es reflejada dentro del cable hasta llegar al otro extremo.

1.2 Características de la Fibra Óptica

La fibra óptica se compone de un núcleo y de una cubierta. Dependiendo de la composición de estos, se clasifican de acuerdo a sus materiales. Algunas de las características mas importantes de la fibra óptica son:

- material
- índice de refracción del núcleo
- modo de propagación
- apertura numérica
- diámetro del núcleo y del revestimiento.

1.2.1 Material de la Fibra Óptica

Las fibras pueden ser de vidrio vidrio (fibras de vidrio), plástico plástico (fibras plásticas) y vidrio plástico (fibras compuestas). Esto es que su núcleo es del primer elemento y su cubierta es del segundo. Las primeras son más caras pero sus pérdidas son menores y pueden transportar mayor volumen de información. Las segundas son las más económicas pero sus pérdidas son mayores y el volumen de datos transmisibles es menor. Las últimas son una combinación de ambas donde el costo es mediano y sus características son similares a las fibras de vidrio.

1.2.2 Índice de Refracción del Núcleo

Existen dos tipos que son el escalonado y el global parabólico. Este índice de refracción del núcleo se refiere a la manera en que la transmisión de la luz será efectuada. En el escalonado el índice de refracción cambia bruscamente entre el núcleo y el revestimiento. En la figura 1.1 se puede ver como el núcleo es el que refleja toda la luz. En el global parabólico el cambio del índice de refracción es gradual tanto en el núcleo como en la cubierta. La figura 1.2 muestra este tipo de refracción.

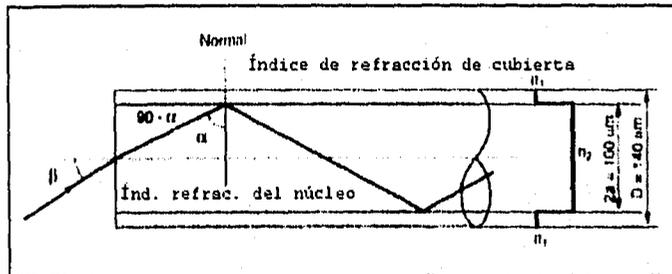


Fig. 1.1 Índice de refracción escalonado.

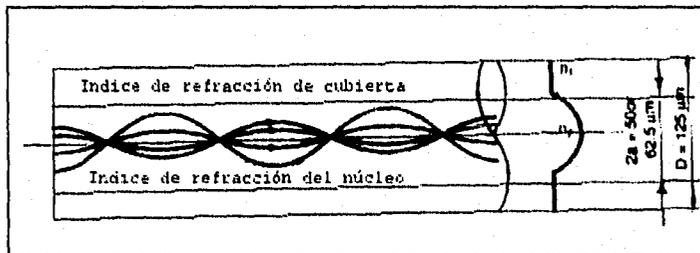


Fig. 1.2 Índice de refracción parabólico.

1.2.3 Modo de Propagación

Los modos de propagación son dos: el monomodo y el multimodo. Esto indica, por así decirlo, el número de trayectorias que un haz seguirá dentro del núcleo. En el monomodo existe solo una trayectoria para el haz mientras que en el multimodo existen

varias trayectorias para un haz. La figura 1.3 muestra el modo de propagación de una fibra monomodo.

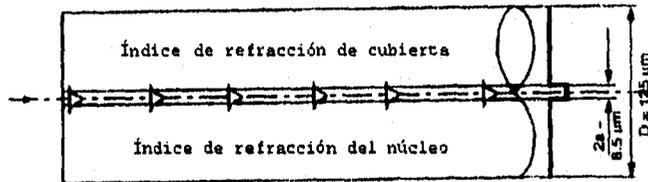


Fig. 1.3 Fibra monomodo.

1.2.4 Apertura Numérica

La apertura numérica es el ángulo con el cual un rayo de luz puede entrar a la fibra óptica (Figura 1.4). Cuando la luz es introducida en la fibra, esta es refractada en relación a la normal, produciendo el *ángulo de aceptación*. El seno de este ángulo se define como la apertura numérica de la fibra y esta es calculada en base a los índices de refracción del núcleo y de la cubierta de la fibra.

De esta manera, la fibra con una apertura numérica pequeña necesitara de que el haz entre exactamente en el centro para poder transmitir. En cambio una fibra con una apertura numérica grande no necesitara de ser direccionado exactamente en el centro del núcleo.

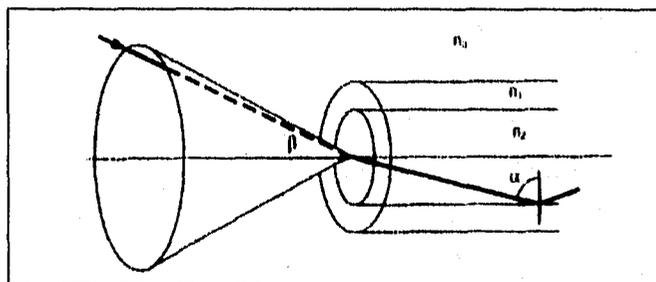


Fig. 1.4 El cono de aceptación de la fibra.

1.2.5 Diámetro del núcleo y del revestimiento

En la figura 1.5 se pueden apreciar comparativamente las partes de la fibra óptica. Aquí se ve un núcleo muy pequeño. Este varía en tamaño dependiendo del tipo de fibra. Las de menor diámetro son las fibras monomodo, mientras que las multimodo son las de dimensiones mayores. Por ejemplo, una fibra monomodo con un índice de refracción escalonado tiene un diámetro de $10 \mu\text{m}$, en tanto que una fibra multimodo con índice de refracción parabólico presenta un diámetro de $62.5 \mu\text{m}$. La cubierta de la fibra puede ser de varios diámetros oscilando entre los $100 \mu\text{m}$. Finalmente las dos capas de acrilato como protección de la fibra tienen un espesor de $150 \mu\text{m}$.

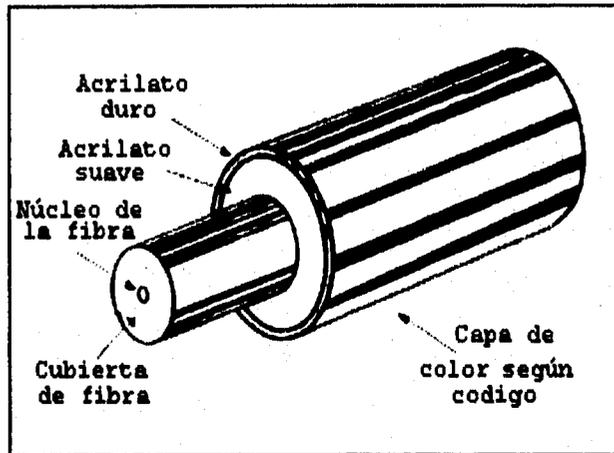


Fig. 1.5 El revestimiento y el núcleo.

EL DISEÑO EN EL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

En el cable de fibra óptica se conjuntan el buen diseño y la tecnología de materiales para poder producir un cable, que entre otras características, debe de ser muy durable y resistente. En este capítulo nos dedicamos precisamente al diseño, dejando a los materiales para el capítulo siguiente.

2.1 Tipos de diseño

La gran variedad de aplicaciones que la fibra óptica ha alcanzado en la transmisión de datos hace que en la actualidad exista una gran variedad de diseños de construcción. Las especificaciones en el diseño de los cables corresponden al tamaño y al uso, así como a los materiales empleados. De esta manera el núcleo, la cubierta primaria y la cubierta secundaria, son seleccionados cuidadosamente con el fin de asegurar el buen funcionamiento del cable por muchos años. Particularmente se hace hincapié en la protección de la fibra óptica contra el medio ambiente y contra los esfuerzos mecánicos.

Existen dos tipos básicos de diseño para los cables de fibra -óptica:

- los cables sin núcleo
- los cables con núcleo.

2.1 Cables sin Núcleo

Este tipo de diseño es el más simple. Consiste en una o dos fibras multimodo o monomodo, la mayor de las veces con un recubrimiento secundario de tubo apretado, con una o dos cubiertas de aramida y con una o dos de plástico (PVC o PV) que no propaga la flama. Como se puede apreciar, este tipo de cable es fabricado de muchas formas. Inclusive con una capa de poliuretano termoplástico (TPU) como cubierta secundaria este cable puede ser utilizado para aplicaciones militares. En la figura 2.1 podemos ver la estructura del cable sin núcleo.

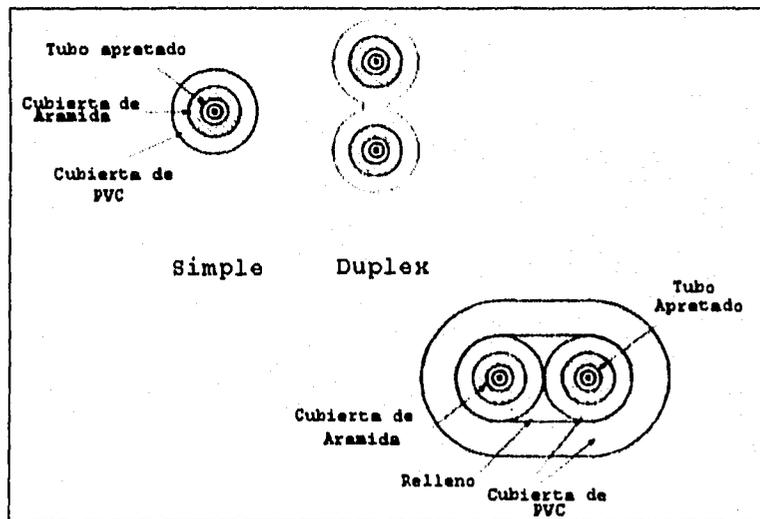


Fig. 2.1 Cable sin núcleo.

2.2 Cables con Núcleo

Con el objeto de incrementar la resistencia mecánica de la fibra, los elementos de tensión son trenzados alrededor de un núcleo el cual sirve tanto como elemento de soporte como de elemento de absorción de tensión. Por supuesto que existe un pequeño espacio entre el núcleo y estos elementos a fin de evitar que la tensión, presión, torsión, etc. no afecten las características de transmisión de la fibra.

La presentación más simple de este tipo de cable es la que tiene un cuerpo rígido como núcleo alrededor del cual se van trenzando los buffers en una o varias capas. Son mejor conocidos como cables con núcleo circular. Normalmente de 4 a 12 fibras son colocadas sobre el núcleo que posteriormente serán sostenidos por una capa delgada de plástico. Si el cable se utilizará en el exterior, un relleno (gel) se aplicará en el espacio entre los buffers para hacer el cable contra agua. Finalmente, una capa protectora de plástico es colocada sobre la cubierta secundaria.

En la figura 2.2 se puede ver como las fibras ópticas con todos sus recubrimientos se van agrupando en una o varias capas para formar cables independientes. Estos a su vez pueden agruparse, también en capas, para formar otros cables de mayores dimensiones.

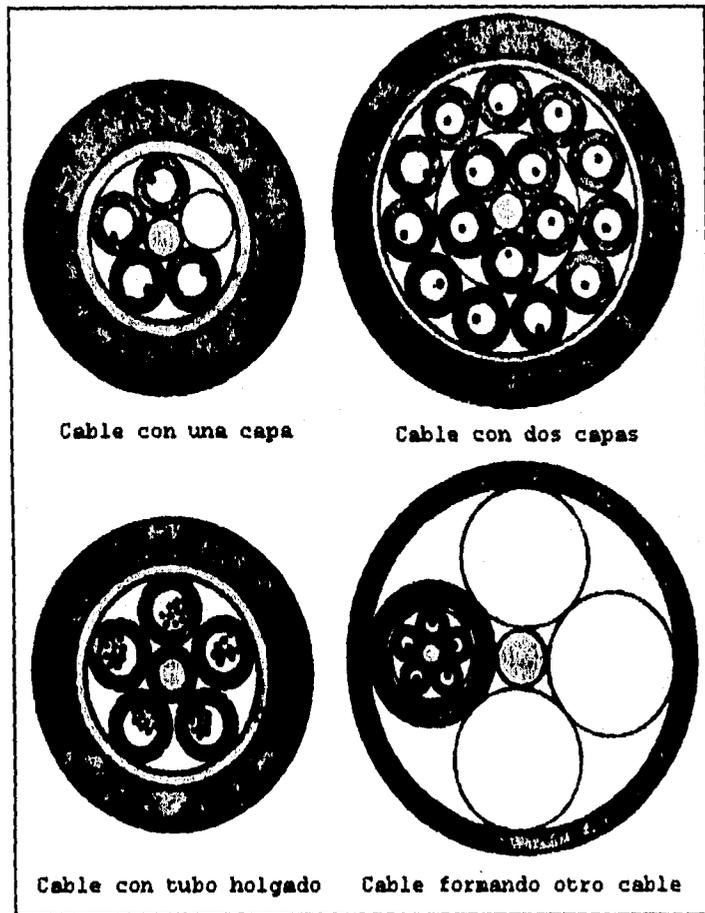


Fig. 2.2 Cable con núcleo en varias capas.

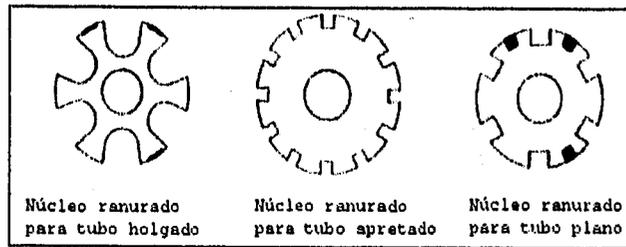


Fig. 2.3 Núcleos ranurados para los tres tipos de buffers.

Otro tipo de diseño es el del cable con núcleo ranurado (Fig. 2.3). Se utilizan cuando éstos estarán expuestos a esfuerzos radiales. Diferente tipos de núcleos de cables han sido desarrollados para este propósito. La mayoría se basan en el principio del núcleo ranurado donde las fibras ópticas son colocadas en las ranuras guía. Generalmente, un núcleo entre 6 y 12 ranuras es moldeado alrededor de un cuerpo rígido metálico o no metálico.

Las ranuras tienen ya sea una forma helicoidal (en dirección S o Z) o forma SZ. Las de forma helicoidal tienen la misma dirección de rotación a lo largo de todo el cable, mientras que las de forma SZ cambian la dirección de rotación cerca del eje central. Esto significa que las ranuras tienen un movimiento en S y posteriormente, después de algunas rotaciones, su movimiento es en forma de Z. Esta disposición se puede apreciar en la figura 2.4 Independientemente de la forma que se tenga, estarán cubiertas por una

cubierta de plástico de polietileno (PE) o de polipropileno (PP). Por lo general su longitud oscila entre los 25 y 30 km., pudiendo acomodar de 1 a 16 fibras en cada una de las ranuras que van de 6 hasta 12. En la actualidad se utiliza la forma SZ ya que se ha comprobado que esta resiste mejor los esfuerzos mecánicos.

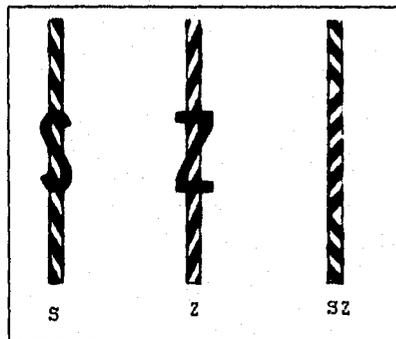


Fig. 2.4 Disposición de las ranuras.

Esta disposición de las ranuras al rededor del núcleo es la misma que se usa para el trenzado de los buffers alrededor del núcleo.

ELEMENTOS PARA LA FABRICACIÓN

3.1 Materiales

Para la fabricación de cables de fibra óptica se requieren de diversos materiales los cuales se pueden apreciar en la siguiente tabla con algunas de sus propiedades:

| MATERIAL | DENSIDAD (g/cm =) | COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA (1/K). |
|--|-------------------|---|
| Vidrio (Fibra óptica) | 2.20 | 5.5×10^{-7} |
| Tereftalato de Polibuteno (PBT) | 1.3 | 1.5×10^{-4} |
| Poliamida (PA) | 1.06 | 7.8×10^{-5} |
| Aramida | 1.45 | -2×10^{-6} |
| Fibra de Vidrio con Plástico reforzado | 2.1 | 6.6×10^{-6} |
| Acero (Spring) | 7.8 | 1.3×10^{-5} |
| Poliétileno de Baja densidad | 0.92 | $1-2.5 \times 10^{-4}$ |
| Poliétileno de densidad media | 0.93 | $1-2.5 \times 10^{-4}$ |
| Poliétileno de alta densidad | 0.95 | $1-2.5 \times 10^{-4}$ |
| Polivinil clorhídrico | 1.3 | 1.5×10^{-4} |

Los materiales mostrados en la tabla anterior provienen en su gran mayoría del exterior del país. Desafortunadamente México no cuenta con la infraestructura necesaria para cubrir la demanda de los mismos así como tampoco con todos los recursos necesarios para aminorar sus costos.

A continuación se explicarán brevemente cada uno de estos materiales no sin antes señalar que la fibra óptica como material, será tratada en el siguiente capítulo debido a la importancia que ésta representa.

3.1.1 Tereftalato de Polibuteno (PBTf)

Este material es muy durable y resistente a los esfuerzos mecánicos. Es empleado principalmente en el recubrimiento primario (buffers).

3.1.2 Poliamida (PA, Nylon)

Se usa principalmente como una cubierta protectora del PE o PVC en los cables que estarán sujetos a un esfuerzo mecánico bastante considerable o en ambientes químicos. También se utiliza para recubrimientos primarios (elementos de tensión). Existen diversas variantes de PA empleados en la fabricación del cable de fibra óptica. Por ejemplo, el PA 12 es usado como cubierta primaria mientras que el PA 6 se utiliza sólo como una protección mecánica.

Algunas de sus propiedades son:

- se puede utilizar en amplios rangos de temperatura ya que permanece aún flexible a los -40°C y se mantiene rígido hasta los 150°C
- es muy resistente a casi todos los aceites y químicos
- soporta tensiones de hasta 50 MPa a 20°C y este puede ser estirado al menos un 100% antes de romperse
- no contamina a los demás plásticos y no es afectado por estar en contacto con el PVC.

3.1.3 Aramida

Este se puede utilizar como un refuerzo para los tipos más simples de cable de fibra óptica. Para cables más anchos con diámetros de 8 a 15 mm, se puede aplicar aramida como una capa o como nexos entre la primera y segunda capa para fortalecer el cable. El cable es entonces capaz de soportar grandes fuerzas longitudinales. Su expansión varía entre 75, 150, 250 hasta 1000 m.

3.1.4 Polietileno

El polietileno de baja densidad es comúnmente empleado para manufacturar cable. Sin embargo, los grados más fuertes - media y alta densidad - también están siendo

utilizados debido a su gran fortaleza y resistencia a la deformación a altas temperaturas.

Algunas de sus características son:

- se puede seguir utilizando aún con temperaturas de 60 y 70°C teniendo un periodo corto de calentamiento a 90°C, siempre y cuando no se sujete a presión simultáneamente. Se desase entre los 110 y 130°C. Como otros termoplásticos se convierte más rígido cuando se expone al frío volviéndose más frágil sólo a temperaturas alrededor de los -65°C

- sus propiedades mecánicas son muy buenas. Su punto de máxima tensión a los 20°C es cuando menos 10 MPa. Aislado se puede estirar 400% antes de romperse y el polietileno para cubiertas de cable puede ser estirado 500% y tiene un punto máximo de tensión de cuando menos 12 Mpa

- su vida es ilimitada cuando se utiliza en interiores y no se expone a los rayos del sol. La radiación ultravioleta (UV) causa formación de grietas en el material, si un estabilizador UV no se encuentra presente en el polietileno. El estabilizador UV más utilizado es un tipo de carbón llamado *Black carbón*

- a temperatura ambiente es resistente a casi todos los químicos, aceites y otros solventes

- tiene muy baja permeabilidad a la humedad. Lo que significa que el polietileno como un material de recubrimiento externo provee una protección excelente en contra de la humedad

- es altamente flameable por lo que se recomienda utilizar aditivos.

3.1.5 PVC

Este es una mezcla de Polivinil clorhídrico, plasticida, estabilizadores y otros materiales que pueden variar en tipo y grado. Se le pueden dar diferentes propiedades para diferentes propósitos.

- es un material termoplástico por lo que se suaviza cuando se calienta y se endurece cuando se enfría. Se suaviza a diferentes temperaturas dependiendo del tipo y cantidad de plasticida. Debido a que el material se endurece a temperaturas bajas, se recomienda que la temperatura no sea menor a -10°C . A temperaturas de alrededor de 100°C por periodos largos de tiempo el PVC estándar se volverá rígido, esto por la evaporación del plasticida. PVC especiales como el PVC 105 contiene menos plasticida volátiles por lo que mantiene su maleabilidad por periodos de tiempo más largos
- es muy resistente a la tensión. La fortaleza del material se puede adaptar al área de aplicación por medio del uso de diferentes tipos y cantidades de plasticida
- tiene una vida prácticamente ilimitada cuando se usa en interiores. Para utilizarlo en exteriores el PVC negro es el mas recomendable. Es altamente resistente al ozono
- es muy resistente hacia los ácidos y alcalinos así como al aceite de motor y a un gran número de solventes. Algunos aceites y solventes pueden, sin embargo extraer el plasticida del PVC haciéndolo más duro
- el contacto prolongado con otros materiales plásticos puede afectarlos, el PVC puede hacer estas superficies pegajosas e inclusive causar otros daños en ellas. Las lacas a base

de celulosa son particularmente afectadas mientras que los plásticos termofijos son menos vulnerables a estos efectos. El plasticida generalmente emigra hacia otros materiales

- el PVC puro contiene 57% de cloro el cual hace el material difícil de quemar. El cloro, como un ácido hidroclofórico, decrementa el proceso de combustión en los gases flamables. Sin embargo, el PVC utilizado en los cables debe ser ablandado adicionándole diferentes tipos de materiales los cuales reducen la capacidad del PVC de ser inflamable, principalmente en temperaturas altas. Añadiendo algunos otros químicos se puede incrementar la capacidad de ser inflamable.

3.2 Instalaciones

En general no se requieren instalaciones especiales más allá de cualquier industria dedicada a la fabricación de cable. Algunas de las cubiertas son iguales tanto para las fibras ópticas como para los cables telefónicos.

En cualquiera de los casos una planta donde se pretenda fabricar cables de fibra óptica debe de contar con los servicios normales de agua y electricidad. Maquinaria para la manufactura como pintadores de fibra, extractores para sus diferentes capas y máquinas embobinadoras. También deben de contar con instrumentos para la realización de pruebas de calidad y resistencia. Estas pruebas son las de tensión, torsión, impacto elongación, durabilidad y atenuación.

Cabe señalar que la nave industrial debe de cubrir una limpieza extrema por las condiciones que el mismo proceso requiere principalmente en el estirado de la fibra óptica. De la misma forma, el personal solicitado es mínimo gracias a los avances tecnológicos.

MÉTODOS DE FABRICACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA

Estos procesos son generalmente llevados a cabo en dos etapas de producción lo cual permite optimizar las características de la fibra haciendo el proceso más rápido y económico.

En todas las técnicas usadas una barra llamada preforma es producida primero. Esta barra contiene al núcleo y su cubierta. A través de esta barra se pueden medir las dimensiones geométricas y los índices de refracción que se pueden obtener con dicha barra. Para obtener la fibra un extremo de la barra es calentado mientras se estira para ir formando la fibra al mismo tiempo que su primer capa protectora le es aplicada, este proceso recibe el nombre de estirado.

Son muchos los métodos de producción de fibra óptica, sin embargo solamente se explicarán tres de ellos los cuales son los más representativos y a continuación se presentan.

4.1 Método de la Barra en Tubo

Una de las primeras técnicas de producción de fibra óptica fue el método de *la barra en tubo*, en donde una barra de vidrio era introducida en un tubo, también de vidrio con un índice de refracción mas bajo que el de la barra el cual seria la cubierta. Este proceso tenia la desventaja de que pequeños espacios quedaban entre el núcleo y la cubierta lo cual producía atenuaciones muy grandes. Cabe mencionar que este tipo de proceso ya no se utiliza en la actualidad.

4.2 Método de Separación de Vidrio por Fase

El método de *separación de vidrio por fase*, es un método en el cual una barra de vidrio de sodio borosilicio es formada a 1200 C para después mantenerla a 600 C por varias horas, tiempo en el cual la separación de una fase del vidrio de sodio y boro se efectúa. En esta separación los metales de transición como el fierro y el cobre son absorbidos por el vidrio de sodio boro, por lo cual es necesario introducir la barra en una solución ultra pura de sal, como nitrato de cesio, para posteriormente ser lavado. El dopaje de cesio incrementa el índice de refracción en el interior de la barra, mientras que la parte exterior que ha sido lavada será la cubierta.

Este método de producción es de bajo costo en volúmenes grandes y su nivel de producción es muy alto, sin embargo su calidad es moderada. Las pérdidas varían entre los 5 y 10 db/km y su apertura numérica tiene un valor típico de 0.2. Con este proceso no se tienen restricciones de dimensiones ya que se puede construir una fibra de cualquier tamaño. La dispersión posible de fibras fabricadas con este método es de 300 Mhz/km.

4.3 Método de deposición de vapor por fase

En 1970 la compañía Corning Glass Works USA creó un nuevo método de producción de fibra óptica. El método de *deposición de vapor por fase o deposición química de vapor* mejorando notablemente todos los procesos anteriores, alcanzando atenuaciones extremadamente bajas y mayor eficiencia en el proceso.

La deposición del vidrio puede hacerse en el exterior de una barra giratoria (OVD, *outside vapor deposition*), en el extremo inferior de una barra de vidrio de silicio fundido (VAD, *vapor axial deposition*) o en el interior de un tubo giratorio de vidrio de silicio fundido (IVD, *inside vapor depositon*). Este último método requiere de cierta energía para la deposición del vidrio, la cual puede ser obtenida desde el exterior mediante un quemador de gas (MCVD, *modified chemical vapor deposition*) o desde el interior (PCVD, *plasma activated chemical vapor deposition*). En la figura 4.1 podemos ver los cuatro métodos de deposición de vapor por fase.

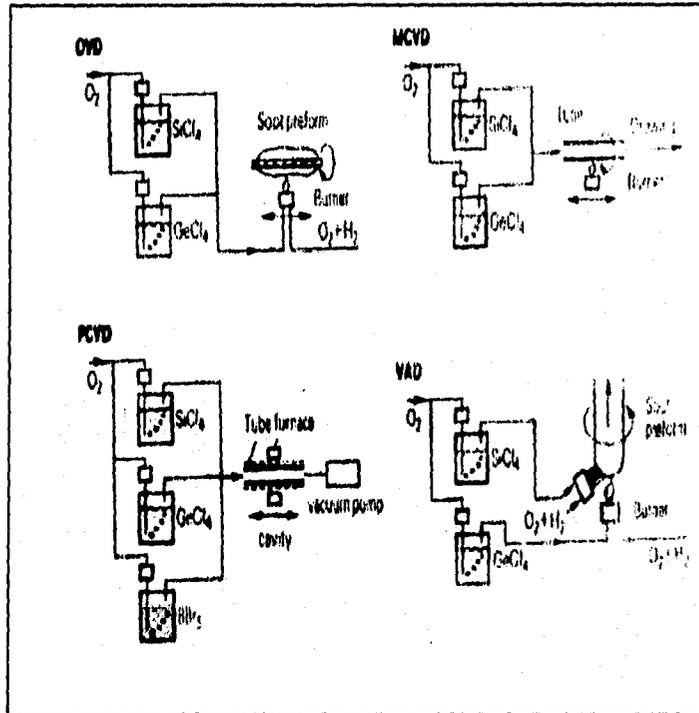


Fig. 4.1 Métodos de deposición de vapor por fase.

4.3.1 El Método OVD

Este proceso es un proceso de horneado el cual produce el núcleo y la cubierta de una forma ultra pura mediante el cual es posible producir fibras multimodo y de índice graduado de muy alta calidad pero es menos conveniente para la producción de fibras monomodo.

En este método el vidrio de la composición deseada es depositado mediante un proceso de hidrólisis por flama en forma de un polvo u hollín a una barra sobre todo su largo capa por capa. Una vez que el número deseado de capas ha sido aplicado a la barra, esta es removida y el tubo de la preforma es calentado en segmentos hasta alcanzar el punto de fusión, posteriormente es fundido y colapsado simultáneamente en una barra preformada lista para el estirado.

4.3.2 El Método VAD

Este método es idéntico al anterior solo que las capas no son aplicadas a lo largo de la barra sino en el extremo inferior de esta. Al igual que en el método anterior también se extrae la barra y se obtiene la barra preformada fundiendo y colapsando. En este método los quemadores deben de mantener siempre la misma distancia con respecto a la barra, para lo cual estos deben de moverse conforme la aplicación de cada capa.

Tanto en este método como en el anterior la deposición típica es de 1 a 2 g/min. Por estos métodos se pueden obtener fibras de buena calidad pero su costo es mas elevado que en el caso de el método de *separación de vidrio por fase*. Su dispersión no es mayor a 1GHz/km. La apertura numérica típica es de 0.2 y se pueden lograr grandes tamaños de barras preformadas.

4.3.3 El Método MCVD

La producción de barras preformadas mediante este método requiere de un tubo de vidrio de silicio en el cual fluyen los dopantes por su interior mientras un quemador de gas esta calentando dicho tubo, el tubo. Las capas quedan contenidas en el interior del tubo y el tubo en si es la parte exterior de la cubierta de la fibra óptica. Una vez que se han aplicado suficiente numero de capas al tubo se detiene el proceso y se calienta dicho tubo a 2000 C en segmentos para obtener la barra preformada.

La razón típica de deposición es de 0.5 g/min, su apertura numérica típica es de 0.22 y tiene una restricción de dimensión de 1.5:1 del diámetro exterior al interior, una dispersión no mayor a 1GHz y el tamaño de la barra preformada es de 10 a 20 km con un diámetro exterior de 125 μm . Con este método de producción se obtienen fibras mono modo y multimodo con una excelente calidad.

4.3.4 El Método PCVD

Al igual que en el método anterior se utiliza un tubo de vidrio y en general es el mismo proceso salvo que el calor necesario para la reacción es generado por un plasma isotérmico. Los dopantes fluyen a la misma velocidad del plasma en el interior del tubo. La razón de deposición puede ser mayor debido a que el tubo es mas estable y de ahí es

que se pueden obtener barras preformadas de mayor tamaño, sin embargo con una razón mayor de deposición la calidad disminuye.

Las características de la fibra fabricadas por este método son muy similares a las obtenidas por el método anterior y en general estos dos métodos son los más eficientes, ya que producen fibras de excelente calidad pero también son los procesos más caros.

4.4 Estirado de la Fibra

El proceso de estirado de la fibra involucra el calentamiento de la barra preformada, para esto pueden ser utilizados varios tipos de fuentes de calor. No obstante la fuente de calor que se utilice en el proceso es similar.

Para el estiramiento de la fibra, se coloca la barra preformada en la torre de estiramiento la cual tiene una altura aproximada de 15 m. La barra es montada y se ajusta a un mecanismo de alimentación. La parte inferior de la barra preformada es calentada a unos 2000 C, así la fibra puede ser estirada desde este extremo por un dispositivo mecánico. Con el objeto de mantener el diámetro de la fibra constante a un valor determinado la velocidad de estiramiento (generalmente de 200 m/min) y la del mecanismo de alimentación debe de estar ajustado a un sistema de control automático de gran precisión.

Cabe mencionar que durante el proceso de estiramiento las proporciones geométricas del núcleo y de la cubierta se mantienen constantes aunque el diámetro de la barra preformada se reduzca 300 veces, así mismo el índice de refracción se mantiene sin cambios. La figura 4.2 nos muestra este proceso.

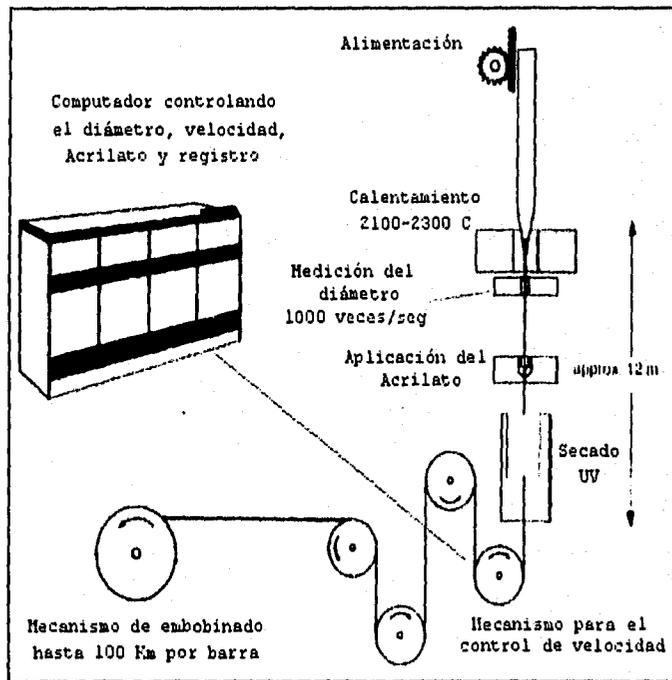


Fig. 4.2 Estirado de la fibra.

4.4.1 Protección Durante el Estirado

Para evitar impurezas en la fibra es necesario protegerla desde el proceso de estirado de la abrasión y de las reacciones con el medio ambiente. El acrilato es el material más empleado como protección en el estirado.

Generalmente se utilizan dos capas de acrilato en el mismo proceso. La primera es una capa de acrilato suave para proteger la fibra y la segunda más fuerte para proteger a la primera. Estas capas de acrilato son secadas por luz ultravioleta, asegurándose siempre del perfecto secado de estas capas ya que un mal secado afecta las características de la fibra además de ser altamente irritante.

MANUFACTURA DEL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

El proceso de fabricación del cable empieza con la fabricación de la fibra óptica y el pintado de la misma, posteriormente una o varias fibras son agrupadas e introducidas en extractores (buffers) los cuales pueden ser holgados o apretados, se les aplica un gel protector y según el diseño son agrupados alrededor de un núcleo o simplemente son agrupados para formar un cable plano, finalmente se procede a cubrir el cable con algún material protector de acuerdo al uso y a las necesidades del cliente como puede ser PVC o algún otro para posteriormente embobinar este cable y ser entregado al consumidor.

5.1 Chequeo de las características de la Fibra

El chequeo de las propiedades de la fibra se realiza de una manera muy sencilla, ya que algún defecto en esta se reflejaría en una atenuación mayor a la especificada por el fabricante, por lo tanto este proceso consiste en mandar un haz de luz desde un extremo de la fibra para después medir el haz recibido en el otro extremo y así poder conocer la atenuación. La figura 5.1 nos muestra el chequeo después del pintado con una máquina que nos entrega las condiciones de la fibra después del proceso.

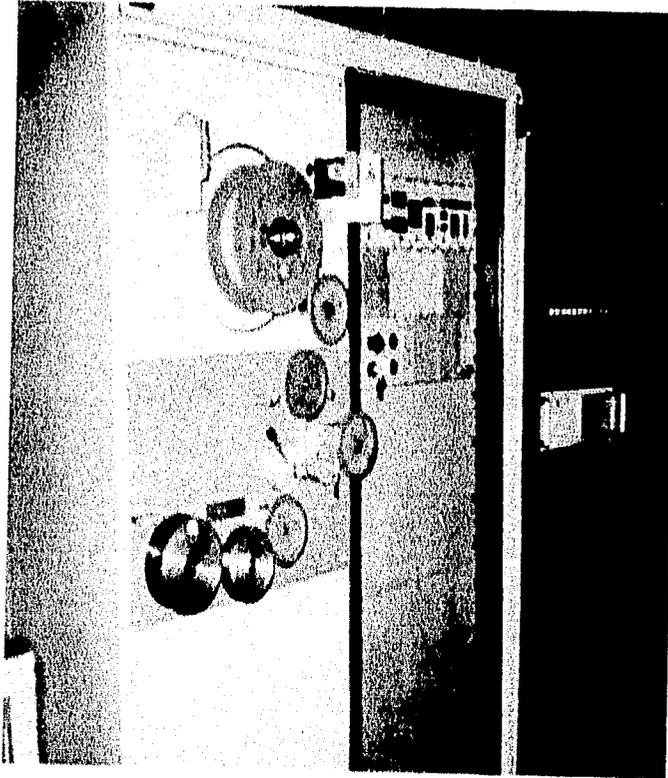


Fig. 5.1 Chequeo después del pintado.

5.2 El Pintado de la Fibra

Con el objeto de poder identificar a las diferentes fibras contenidas en un cable estas son pintadas de varios colores de acuerdo a un gran numero de standares ya sean nacionales internacionales o de fabricantes. Para el pintado de la fibra se requiere de una pintura especial a base de agua. Una vez que la pintura ha sido aplicada esta es secada por luz ultravioleta. Como es de esperarse la pintura no debe de dañar las características

de la fibra, debe de ser durable y por supuesto no debe de ser afectada por su ambiente químico. La figura 5.2 nos muestra el proceso de pintado.

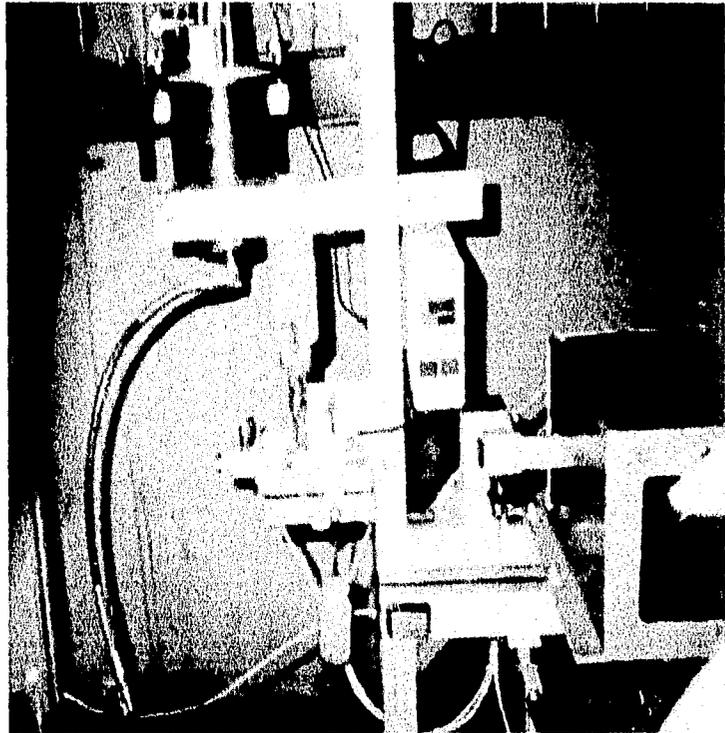


Fig. 5.2 El pintado de la fibra.

5.3 Extruido

Las fibras ópticas con su capa de acrilato pueden ser utilizadas en algunas aplicaciones técnicas sin mayor protección, sin embargo una capa mas se le aplica en este

proceso de extrucción. Esta capa protectora es un tubo donde se introducen diferente número de fibras con el objeto de evitar cambios en las características de la fibra debido a esfuerzos mecánicos. Este tubo puede ser del tipo holgado, apretado o plano. A este tubo se le conoce con el nombre de *buffer*. En la figura 5.3 podemos ver la maquina extractora, en la parte superior se coloca el material escogido, este es licuado y se forman los tubos en la parte de inferior para ser posteriormente enfriados por agua.

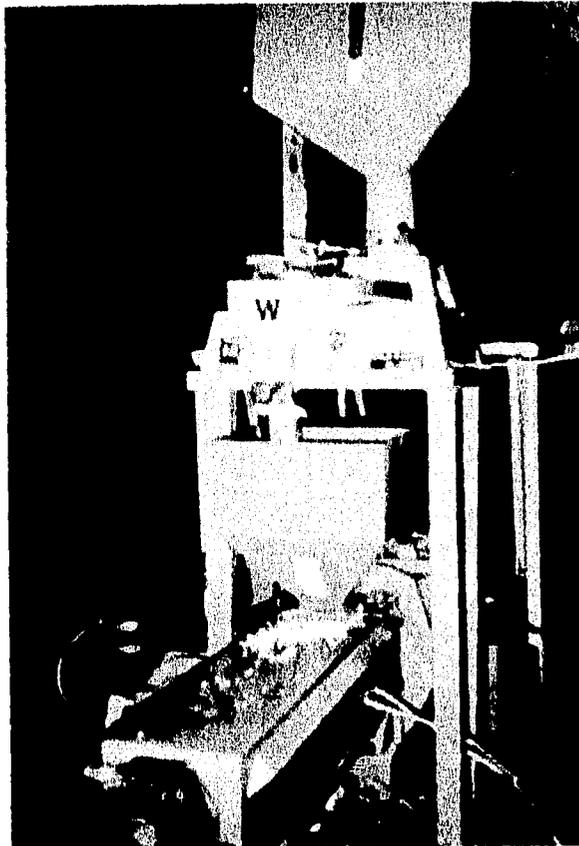


Fig. 5.3 Extruido.

5.3.1 Tubo Holgado

Este tubo recibe el nombre de tubo holgado ya que las fibras contenidas dentro de el se mueven con cierta libertad. En este tubo se introducen de 1 hasta 12 fibras dependiendo de el tamaño del tubo, pero, generalmente se introducen de 4 a 6 fibras.

Este tubo debe de cumplir con las siguientes características:

- no debe de deformarse con esfuerzos mecánicos normales
- debe que ser de gran durabilidad
- debe de tener baja fricción
- debe de soportar el manejo duro durante la instalación sin cambiar las propiedades de la fibra.

Durante el proceso de extrucción las fibras son introducidas en el tubo al mismo tiempo que en un gel. El diámetro externo del tubo varia de 1.3 mm a 3 mm dependiendo del numero de fibras que se deseen introducir. El espesor del tubo también varia de 0.3 a 0.5 mm. La función del gel es reducir la fricción tanto de las fibras con las otras fibras como de las fibras con el tubo, de manera que las fibras se puedan mover libremente con el mínimo de tensión. Este gel también protege contra el agua el tubo. El tubo esta echo generalmente de Poliamida (PA-12 o Nylon) o de Tereftalato de Polibuteno (OBTP), En este tipo de extruido primero se fabrica el tubo y después se van introduciendo las fibras en dichos tubos. El PA-12 o el OBTP son fundidos en una máquina se les forma y son enfriados con agua.

Al igual que con las fibras estos tubos pueden ser pintados según algún código de colores. La figura 5.4 nos demuestra la disposición de las fibras en este tipo de tubos.

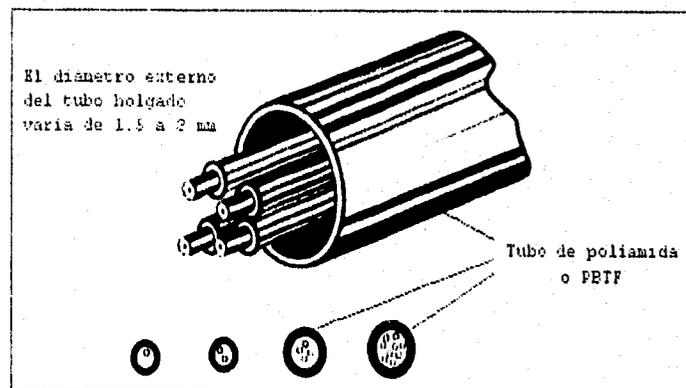


Fig. 5.4 El tubo holgado.

5.3.2 Tubo apretado

Una alternativa mas para proteger las fibras es aplicarle una capa gruesa de plástico directamente sobre la capa de acrilato.

En este método, una capa de PA-12 o PBTP es extruida a una temperatura aproximada de 250°C. Después de la extrucción, la fibra tiene en diámetro de 0.9 ± 0.1

mm. Durante el proceso, el tubo es pintado de acuerdo a un código de colores para facilitar su manejo durante la instalación. Con este tipo de extruido la fibra no tiene movimiento en el interior del tubo. Se puede ver en la figura 5.5 la estructura del tubo apretado.

Una de las ventajas de este tipo de extruido es que los cables fabricados con esta técnica son mas fáciles de manejar durante la instalación, además de que es mas fácil acoplarlos con los conectores.

La fabricación de esta cubierta primaria, a diferencia de la anterior se realiza al rededor de la fibra. Esto es que la fibra se introduce a la maquinaria y sobre esta se forma la capa de plástico, para posteriormente ser enfriada por agua.

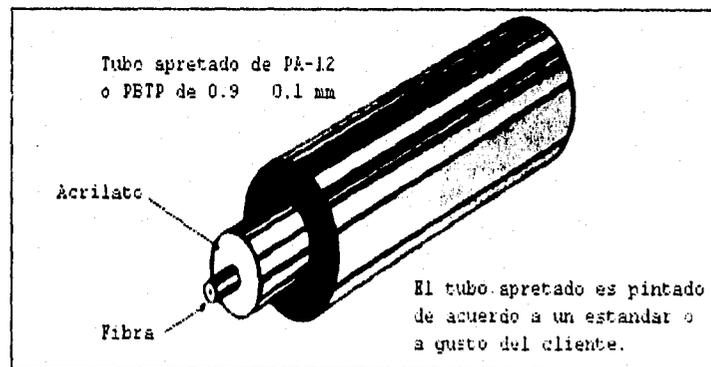


Fig. 5.5 Estructura del tubo apretado.

5.3.3 Tubo Plano

Esta técnica consiste en colocar varias fibras precubiertas (en general de 2 a 12) una al lado de la otra para posteriormente aplicarle una capa adicional de algún tipo de plástico. Esta técnica ha sido usada recientemente utilizada por la industria, por lo cual se le considera una técnica nueva. En la figura 5.6 se muestran los tres diferentes tipos de tubo plano que se utilizan en la actualidad.

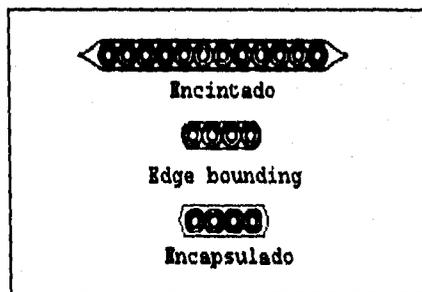


Fig. 5.6 El tubo plano.

5.4 Disposición de los Buffers Alrededor del Núcleo

Pese a que existen tres diferentes formas de hacer esto (ver figura 2.4), actualmente se utiliza en la práctica la SZ ya que se ha comprobado que de esta manera es más fácil manejar la fibra, además de que está más protegida contra los dobleces y sufre menos daño durante el embobinado.

5.5 La Cubierta Secundaria

La cubierta secundaria es aplicada de muchas formas, dependiendo del tipo de uso que se le pretenda dar al cable. En el caso de la cubierta de aramida, el trenzado se hace con maquinaria especial para dicho fin y en el caso de las cubiertas de plástico pueden hacerse con la misma maquinaria tan solo cambiando los materiales que pretendan usarse. Incluso varios cables pueden ser unidos para formar un solo cable, esto se hace en la misma forma que se fabrica un cable sencillo. Se montan los diferentes cables en rodillos y las maquinas los van juntando y trenzando a la vez, incluso en este mismo proceso la cubierta final se le es aplicada.

En la figura 5.7 se pueden apreciar todas las cubiertas secundarias. En este caso una alma de acero envuelve al cable para darle mayor resistencia.

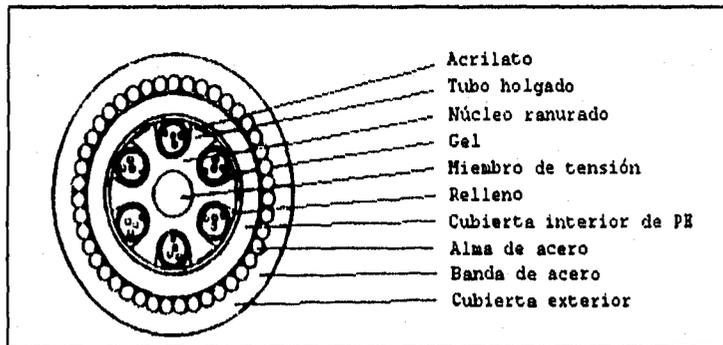


Fig. 5.7 Cable con alma de acero.

En el caso de los algunos cables especiales como el mostrado en la figura 4.7 (cable aéreo), un elemento mas es agregado. En este caso es un miembro de soporte. Este miembro será el que soporte la tensión al estar colgado entre dos postes. En esta figura se puede observar varias capas del cable.

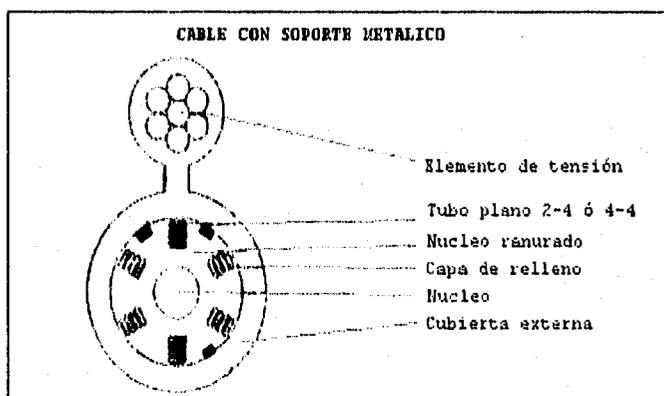


Fig. 5.8. Cable aéreo.

5.6 Embobinado

La técnica de embobinado depende principalmente del tamaño del cable que se pretenda embobinar. Si este se trata de tan solo un cable con un solo hilo o un cable dúplex el embobinado es en un carrete giratorio con una longitud aproximada de 20 km. En el caso de que el cable tenga un diámetro mayor, el embobinado se lleva a cabo en un carrete que a diferencia del anterior gira en dos sentidos, de esta manera el carrete

quedara perfectamente balanceado y listo para ser entregado al cliente. Una de las maquinas utilizadas para el embobinado se presenta en la figura 5.7.

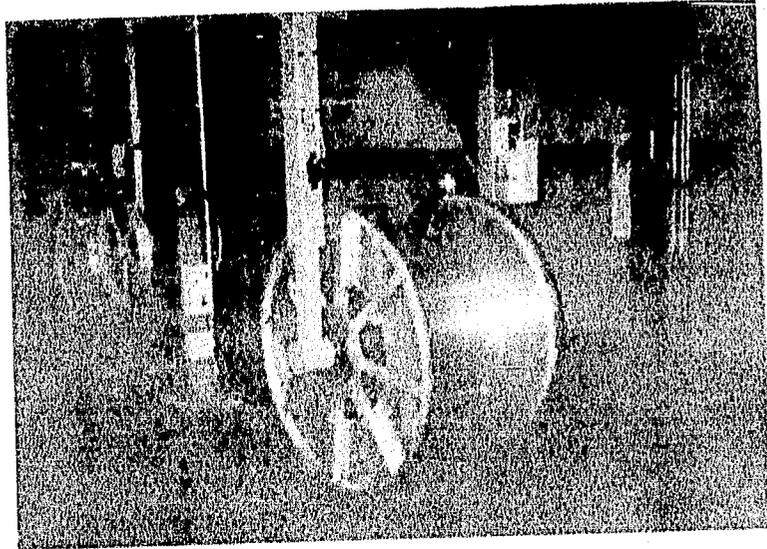


Fig. 5.7 Embobinado.

CONCLUSIONES

- 1. Se puede ver que en nuestro país se fabrica productos de calidad internacional. Lo cual nos deja ver que es solo cuestión de decisión para poder lograr avances en la producción de tecnología industrial.**
- 2. Desafortunadamente, la mayor parte de la materia prima es importada. El gran reto es producir la material prima en nuestro país.**
- 3. El gran crecimiento del mercado de la fibra óptica deja ver su importancia, ya que en un futuro este será el medio mas usado en la transmisión de voz y datos.**
- 4. La competitividad de las industrias mexicanas a nivel internacional solo se lograra en la medida de que cada día se dependa menos del extranjero.**
- 5. Un avance significativo sería manufacturar la fibra óptica en el país. Actualmente la Universidad de Guadalajara esta en vías de comprar una estiradora de fibra, lo cual representaría un gran paso en la producción del cable de fibra óptica.**

6. Finalmente se presenta una tabla de los tipos de cable y de sus usos.

| Cables para uso exterior | Cables para uso interior | Cables especiales |
|---|--|---|
| Estos cables tienen varias cubiertas protectoras debido a que estarán expuestos a los efectos del medio ambiente. | Los cables para interiores generalmente son cubiertos con alguna tipo de plástico que no propaga la flama. | Los cables especiales como los submarinos requieren de mayor numero de capas y a veces recubrimientos de acero. |
| Estos son cables con núcleo. | Estos pueden ser con núcleo o sin el . | Generalmente son cables con núcleo. |
| Estos cables se utilizan para todas aquellas aplicaciones aéreas y subterráneas. | Se utilizan estos cables dentro de algún inmueble. | Su uso puede ser variado según la necesidad. |
| En general estos cables cuentan con mas de 2 fibras por cable. | Estos pueden ser mono fibra o multifibra. | En general este tipo es multifibra. |

BIBLIOGRAFÍA

"FIBER OPTIC CABLES"

R. E. J. Baskett, S.G. Foord.

Electric. Commun.

"FIBER CABLE DESIGN AND CHARACTERISATION"

M. Y. Schwartz, P. F. Gagen.

IEEE.

"OPTICAL CABLE DESIGN AND CHARACTERISATION IN JAPAN"

T. Nakahara, N. Uchida.

IEEE.

"FIBER OPTIC CABLES FOR LOCAL DISTRIBUTION"

J.C. Smith, M. Pomerantz.

Cherry Hill.

"MICROONDAS: PROPAGACIÓN Y RADIACIÓN"

Joel Ruiz de Aquino.

ITESM.

"NETWORKING IBM PC'S: A PRACTICAL GUIDE"

Michael Durr.

"FIBER OPTICS"

Boca Raton Fla.

CRC Press.

"OPTICAL FIBER SYSTEMS TECHNOLOGY, DESIGN AND APLICATIONS"

Kao, C: K.

Mc Graw-Hill.

"FIBER OPTICS: TECHNOLOGY AND APLICATIONS"

Personick, S. D.

Plenum Press

"OPTICAL FIBER"

Simens.

"JOINTING OF OPTICAL FIBER CABLE"

Ericsson Network Engineering.