

CABLES CON FIBRAS OPTICAS

Con referencia a la producción de preformas para fibras ópticas, de cables y a los diferentes tipos de cables ópticos en el mercado.

1. PRODUCCIÓN DE FIBRAS ÓPTICAS

Es trabajo se refiere a los aspectos relacionados con la tecnología de las fibras ópticas FO. Estos aspectos se relacionan con la producción de la FO y la formación del cable que las contiene. Entre los métodos de producción de FO se tienen dos tipos fundamentales: el método de doble crisol (del que se obtienen FO de calidad regular y que no se usan en telecomunicaciones) y el método de la preforma.

1.1- MÉTODO DEL DOBLE CRISOL

Las fibras ópticas FO se producen por varios métodos distintos dependiendo del tipo de material que la componen. Una clasificación inicial comprende a las FO de plástico, multicomponentes y sílice. Las FO útiles para telecomunicaciones son las de multicomponentes y de **sílice** (SiO_2), si bien estas últimas son las únicas usadas en la actualidad por su alta calidad. El método de doble crisol es más interesante por su carácter histórico que por su utilidad actual.

PRODUCCIÓN DE FO. En el caso de FO multicomponentes es una producción en dos etapas. **La primer etapa** de éstas consiste en producir el vidrio a partir de polvos de alta pureza. La materia prima [SiCl_4 ; BCl_3 ; Na_2NO_3 ; $(\text{NO}_3)_2$] se mezcla en proporciones apropiadas para obtener el índice de refracción deseado y se purifica mediante el intercambio iónico por destilación y extracción de disolventes en el horno. El horno se calienta mediante un generador de radiofrecuencia RF de 5 MHz.

A temperaturas superiores a 1300 °K los vidrios alcalinos tienen una conductividad iónica suficiente como para producir un acoplamiento entre el campo de RF y el material fundente. Se permite actuar al principio a un calefactor de grafito para el calentamiento inicial, dejando al campo RF el mantenimiento de la temperatura deseada. Sólo el material fundido recibe la energía del campo. El crisol se mantiene frío mediante una corriente gaseosa o de agua. Sobre las paredes del crisol se crea una capa de sílice sólida debido al salto de temperatura lo que ayuda a aislar el material fundido.

En la primer etapa del desarrollo de este método (mitad de la década del '60 en Inglaterra) se usaba un crisol de platino, pero la alta atenuación de las fibras llevó a pensar en una migración de iones ferrosos y cúpricos desde el crisol hacia el material fundente. Se cambió entonces por un crisol de sílice puro, cuya temperatura de fusión es mayor que la del vidrio multicomponente. Con el propósito de homogeneizar el material, para disminuir los esparcimientos de Rayleigh y Mie, se hace burbujear un gas inerte en el material fundido. Elevando la temperatura se disminuye la viscosidad permitiendo a las burbujas alcanzar la superficie.

ESTIRADO DE LA FO. El montaje consiste en dos crisoles concéntricos fabricados de platino o sílice. El orificio inferior del crisol interior se diseña en función de la FO deseada. El material se introduce en forma de varilla, de forma que la alimentación del crisol puede ser continua. La viscosidad del material se lleva a un valor adecuado para el estirado mediante un horno de RF. El perfil del índice de refracción se ajusta mediante la posición relativa de los crisoles.

Por ejemplo, una separación amplia produce mezcla en los vidrios de ambos crisoles lo cual corresponde a un perfil gradual. Tanto la velocidad de estirado como la temperatura del horno permiten también controlar la mezcla de materiales y por lo tanto el tipo de perfil de índice. El estirado de la FO se efectúa enrollando a la misma en un tambor giratorio colocado debajo del doble crisol. Los mejores valores conseguidos con este método son de 4 dB/km para 0,85 μm y una dispersión modal de 0,6 ns/km. Estas FO no se usan en telecomunicaciones, en cambio se prefieren las que se producen por el método de preforma, un método puesto a punto en la década de los años '70.

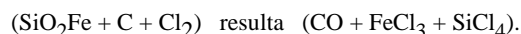
2- PRODUCCIÓN DE LA PREFORMA

La producción comercial actual de las FO de sílice para telecomunicaciones se realiza mediante el método de la preforma que consiste en dos pasos, la fabricación de la preforma (un bastón de sílice de 1 m de longitud y 2 cm de diámetro cuyo perfil de índice de refracción es idéntico a la FO deseada) y el estirado de la preforma.

Los métodos comerciales responden a procesos diseñados en distintos laboratorios pudiendo identificarse:

- OVD (*Outside Vapor Deposition*) de la Corning Glass W (Siecor).
- MCVD (*Modified Chemical Vapor Deposition*) de la Bell Labs.
- PCVD (*Plasma Activated Vapor Deposition*) de la Philips.
- VAD (*Vapor Axial Deposition*) de la NTT.

MATERIALES DE ORIGEN. Las FO están constituidas por sílice (SiO_2), el mismo en forma natural tiene una alta concentración de óxidos metálicos. Por ello, mediante **reducción, clorinación y destilación** con C y Cl se logra su purificación, de forma tal que partiendo de:



Tanto el CO como el FeCl_3 son desechos de este proceso con lo que se elimina el Fe contenido en el SiO_2 y se obtiene SiCl_4 (Tetracloruro de Silicio) como material base para la producción de la preforma. Si bien el SiCl_4 es líquido a temperatura ambiente se trabaja en la fase de vapor para lograr un mejor control en la producción, de forma que mediante oxidación o hidrólisis se obtiene nuevamente el SiO_2 .

En la **Fig 01** se muestra el proceso de producción de MCVD y OVD. A partir de una corriente de oxígeno molecular O_2 , la cual es filtrada y controlada en su densidad de flujo, se produce el "burbujeo" en saturadores. El O_2 es un gas a temperatura ambiente, mientras que el contenido de las botellas (SiCl_4 , GeCl_4 , POCl_3 , etc.) son líquidos. Se tiene entonces una corriente de O_2 con moléculas de cloruros. El control de flujo permite dosificar la densidad de cada compuesto en la reacción. La proporción de ellos da lugar al índice de refracción deseado, así por ejemplo, mientras el Ge y P incrementan el índice de refracción, el B lo reduce. Hasta aquí los métodos de producción son idénticos.

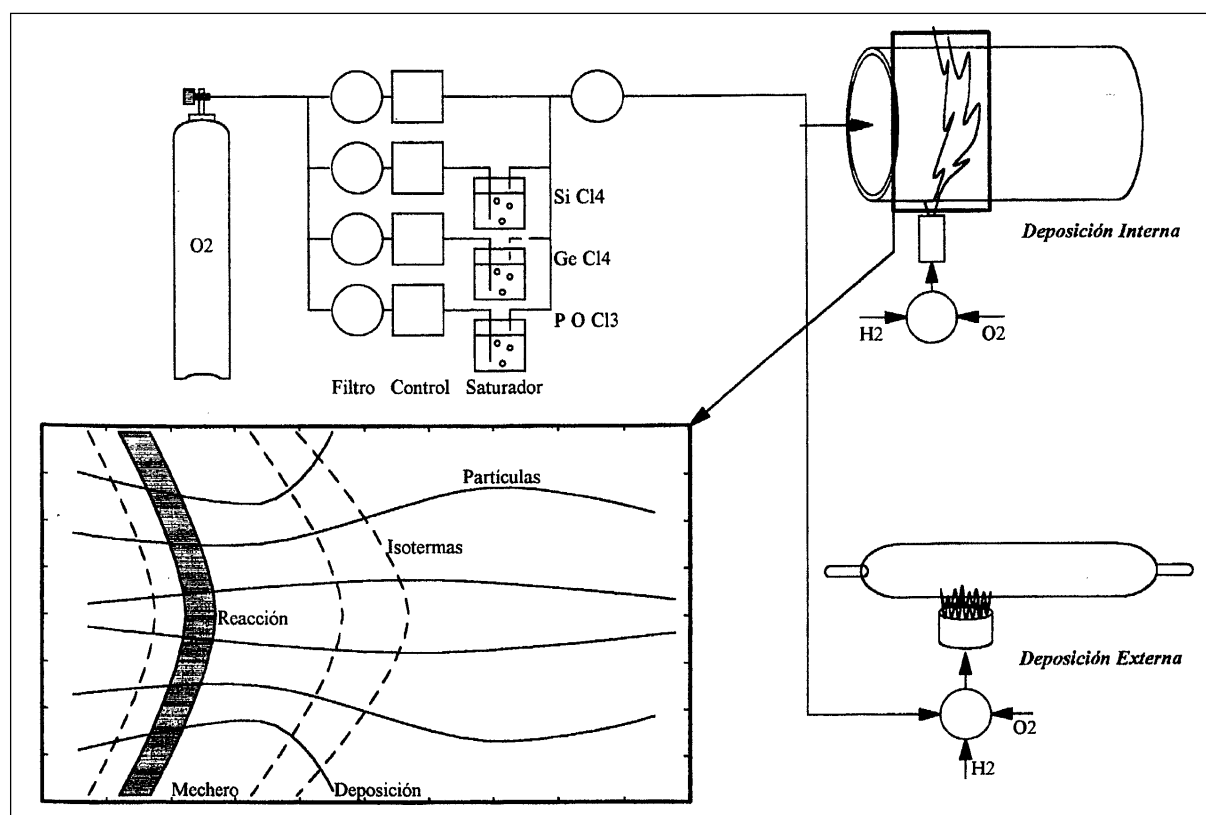


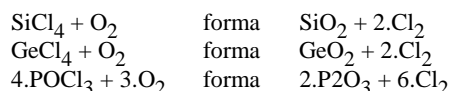
Fig 01. Métodos de producción de la preforma.

CABLES CON FIBRAS OPTICAS

2.1- DEPOSICIÓN INTERNA

MÉTODO MCVD. La deposición se realiza sobre un tubo de cuarzo puro que actúa de **sustrato**. Por ejemplo el tubo fabricado por Heraeus tiene 1 m de longitud y un diámetro exterior de 20 ó 25 mm con tolerancia de 0,8 mm. La pared tiene un espesor de 2 ó 3 mm respectivamente con tolerancia de 0,3 mm. El peso es de 25 gr. Otro fabricante es la General Electric con dimensiones similares pero no idénticas; en este caso se indican contenidos de OH en el cuarzo de 3 ppm (partes por millón).

El tubo se coloca en un torno para el proceso de producción. La **oxidación** en el método MCVD se produce debido a la elevada temperatura interior del tubo lograda mediante la **hidrólisis** de una llama de H_2+O_2 . La reacción de oxidación es:



Siempre resulta como subproducto de la reacción el Cl_2 que es un gas a temperatura ambiente y se extrae mediante una bomba de vacío, mientras que los óxidos son sólidos y se depositan en la cara interior del tubo formando una fina capa cristalina.

Para mantener una **deposición homogénea** se hace girar al tubo en el torno y se mueve la llama que cataliza la reacción en forma longitudinal a una velocidad de algunos mm/seg. La deposición resulta ser capa a capa. El perfil del índice de refracción deseado se logra variando la composición de los reaccionantes para cada capa. La zona de deposición se muestra en la misma **Fig 01**; también se tiene una ampliación, mediante isotermas y recorridos de partículas. Se observa que la deposición es posterior a la llama debido a que las partículas de la zona de reacción siguen las isotermas.

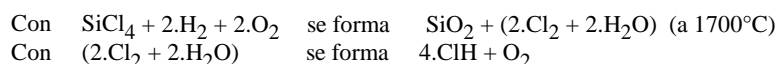
MÉTODO PCVD. Se crea una zona no-isotérmica producida por un generador de RF (2 a 3 GHz y 100 a 500 w). El método PCVD es similar al MCVD cambiando la forma de calentamiento. El horno de RF tiene una menor inercia térmica, lo cual permite capas más delgadas y en mayor número, obteniéndose un perfil de índice más suave, con menos saltos. La deposición en PCVD puede realizarse a temperatura ambiente pero el vidrio resulta agrietado por lo que se prefiere sumergir al sistema en un calefactor de grafito.

La Bell Labs ha desarrollado una variante del MCVD denominado **PMCVD** (*Plasma-enhanced MCVD*) que usa un calefactor de cobre colocado luego de la llama para crear un plasma de O_2 en el interior del tubo. La termoforesis del plasma produce fuerzas físicas (isotermas) sobre las partículas de SiO_2 que obligan a la deposición entre la llama y el plasma. Con este método se aumenta la eficiencia de deposición de SiO_2 . El PCVD permite lograr más de 1000 capas en FO multimodo y tiene una eficiencia de deposición muy elevada (del orden del 100% para el SiO_2 y del 90% para el GeO_2). La tasa de deposición es de 0,1 gr/min. Para los métodos MCVD y PCVD pueden aplicarse las técnicas "*Rod in tube*" que consiste en fabricar mediante una preforma solamente el núcleo y luego colocar un tubo exterior que da origen al revestimiento.

Como las capas centrales de la preforma no pueden construirse, se realiza un **colapsado** para compactar la preforma. El mismo se efectúa elevando la temperatura hasta cerca de 2000 °C o más. El Ge tiende a evaporarse durante el colapsado, con la consiguiente reducción del índice de refracción y produciendo un "*dip*" en la curva de índice; esto se previene colocando C_2F_6 y O_2 en la última fase. Posterior al colapsado se colocará la camisa de sílice que forma el revestimiento (rod in tube) y por sintetizando se colapsa.

2.2- DEPOSICIÓN EXTERNA

MÉTODO OVD. El método de mayor producción en el mundo es el OVD que es usado por la **Siecor** (*Corning-Siemens*). La deposición es por hidrólisis y se genera una **preforma porosa** (no es un sólido macizo). La **hidrólisis** tiene la siguiente reacción química:



Esta reacción permite reducir el contenido de agua en la preforma porosa mediante la segunda fase eliminando el gas clorhídrico HCl. Posteriormente se realiza el secado de la misma mediante la circulación por su interior de $He+Cl_2$ de forma que el Cl reacciona con los OH residuales y forma $O+He+2.HCl$. Obsérvese que la deposición es en el exterior de un sustrato sólido que se extrae luego de la formación de la preforma porosa y por este agujero se inyecta el gas para el secado. El último paso es el compactado de la preforma porosa.

MÉTODO VAD. El método OVD es más complejo que MCVD pero permite un mayor volumen de producción. También el **método VAD** es más complejo e interesante. El VAD es usado casi con exclusividad por las empresas japonesas y consiste en el crecimiento axial de una preforma porosa con reacciones idénticas al OVD. En la cámara se enfrentan los tubos que

CABLES CON FIBRAS OPTICAS

alimentan los reaccionantes y la preforma en formación. Los quemadores son tubos coaxiales cilíndricos de sílice donde el material reaccionante ($\text{SiCl}_4 + \text{O}_2$) penetra por el tubo central y los gases para la combustión ($\text{O}_2 + \text{H}_2$) por el exterior.

El perfil del índice de refracción se controla con la temperatura de la cámara, el flujo de material, la velocidad de rotación que mantiene la uniformidad geométrica y la posición relativa de los quemadores y la preforma. La cámara de calentamiento posterior produce el colapsado de la preforma porosa dando lugar a la preforma transparente. Como el crecimiento y el colapsado se producen en la misma atmósfera, es más eficiente el control de los contaminantes. Por otro lado, la longitud de la preforma puede ser del valor deseado aparentemente sin restricciones de longitud.

Las distintas patentes para los métodos de fabricación MCVD/OVD/VAD para FO del tipo multimodo y monomodo vencen en el período desde 1998 al 2002.

3- ESTIRADO DE LA PREFORMA

La preforma debe ser estirada para llevarse a las dimensiones normalizadas de las FO. Por ejemplo, de una preforma de 1 m de longitud se pueden estirar varios kilómetros de FO del tipo 9/125. El esquema del proceso de estirado se muestra en la **Fig 02** y consiste en las siguientes etapas: horno de calentamiento, control de diámetro, colocación del recubrimiento primario, horno de secado, capstan y enrollado.

La **preforma** se coloca en la parte superior de la máquina de **estirado** que tiene cerca de 4 m de altura. El centrado de la preforma en el horno es manual. En este caso se eleva la temperatura del horno para reducir la viscosidad hasta un valor donde fluya por debajo debido a la gravedad un hilo de FO.

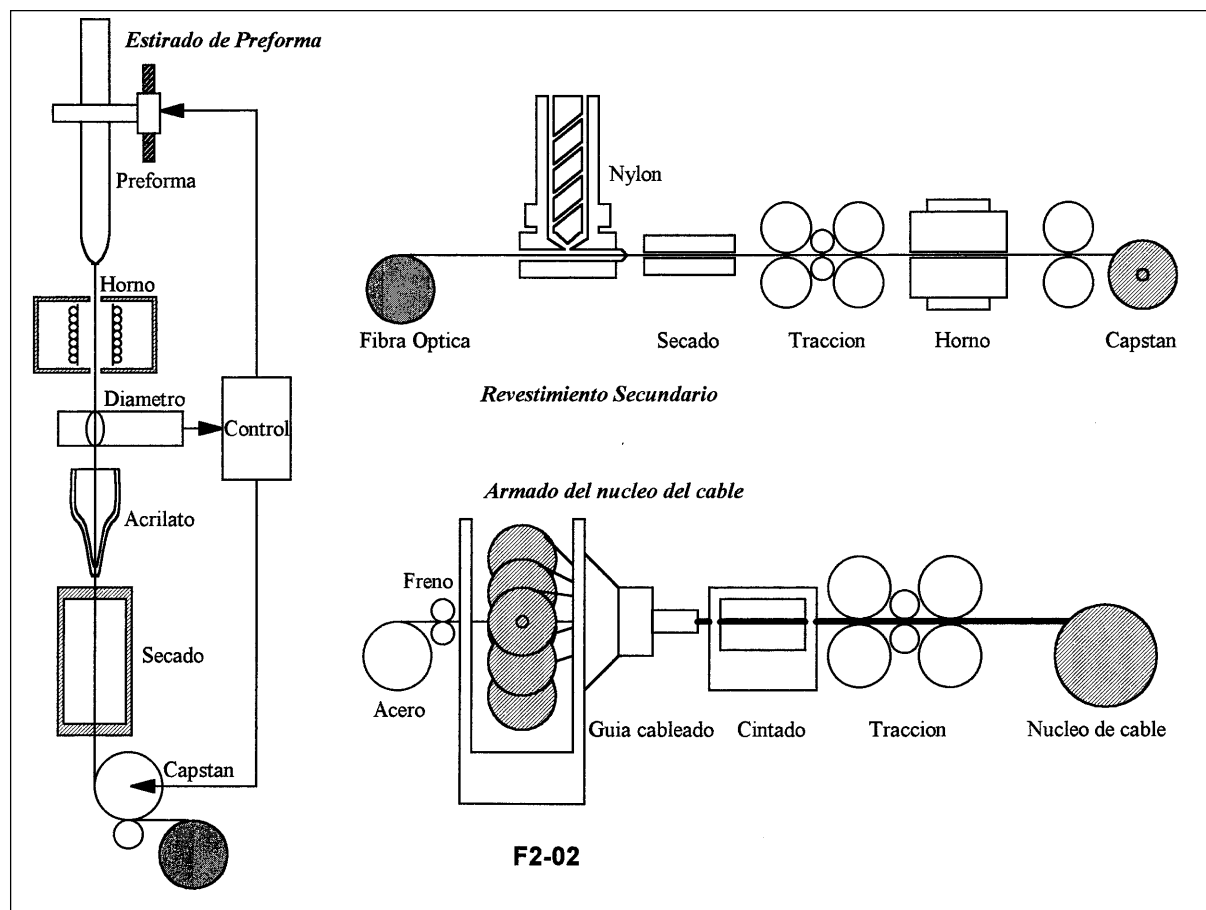


Fig 02. Forma de estirado de la preforma y ensamble de cables.

El horno puede ser de **grafito o zirconio**. El horno de grafito requiere estar inmerso en un flujo de gas inerte (N o He/Ar) para evitar la migración de contaminantes; es enfriado en un cuerpo de agua y controlada la temperatura mediante un pirómetro. El tiempo de vida medio es entre 1500 y 2000 hs y funciona a 30 KVA. Para lograr un mejor control se recurre al **horno de inducción de zirconio** (introducido en 1977 para evitar el uso de gas inerte) que trabaja entre 150 y 400 kHz. En todos los casos se realizará un flujo laminar ascendente a lo largo de la FO y la preforma en calentamiento dentro del horno para impedir turbulencias térmicas que se traducen en variaciones del diámetro de la FO. Sin embargo, no se requiere de un gas inerte pues el zirconio no reacciona con el oxígeno.

El medidor de diámetro controla el posicionador x-y de la preforma y la velocidad de estirado del **capstan** a partir de un sistema de control por ordenador. La resolución del instrumento debe ser superior a 1 μm y de rápida lectura por lo que se recurre a medidores láser. Posteriormente se coloca un **recubrimiento primario (Coating)** de acrilato. Esta capa de 250 μm de diámetro nominal y 10% de tolerancia, protege la superficie de la FO del ataque de los iones OH. Los radicales oxidrilos producen la oxidación de la superficie de la FO, rompiendo los enlaces Si-O-Si y formando grupos silanol Si-OH. Este proceso produce microfracturas en la superficie con lo que incrementa la posibilidad de fractura de la FO.

El material sintético (**acrilato** curado con UV o también hace algún tiempo **silicona**) se coloca por estrusión en un embudo que puede ser una punta flexible y que permite que la FO permanezca en el centro debido a la acción de las fuerzas

CABLES CON FIBRAS OPTICAS

hidrodinámicas. Una FO sin este recubrimiento de protección se convierte en frágil y quebradiza en algunas horas de exposición al ambiente natural. Posteriormente se tiene un medidor de diámetro del recubrimiento y de concentricidad de éste con la FO; el mismo se realiza con un láser y observando el diagrama de interferencia en una pantalla. El material es **secado o curado** mediante un horno (para silicona con temperatura de 100 a 450°C) o rayos UV (para acrilato con longitud λ de 240 a 400 nm).

Por último, la FO se recoge en una bobina mediante un capstan de estirado que trabaja a una velocidad entre 15 y 300 m/min. Muchas veces en este mismo lugar se realiza la prueba de "*screen test*" o "*proof test*" que consiste en ejercer una tracción sobre todo el largo de la FO de forma que se crean y propagan todas las microfracturas posibles en la superficie asegurando que se soportará una fuerza de tracción igual a la de prueba sin inconvenientes. La FO en estas condiciones tiene una carga de rotura superior a la del acero (5000 contra 3000 MN/mm²).

Un modelo de comportamiento creado por Mitsunaya permite calcular el tiempo de vida de la FO en base a los resultados de la prueba de proof test. Para fibras convencionales se encuentran que se tienen $7,5 \cdot 10^{-5}$ roturas espontáneas en 30 años de vida de un cable por cada 2 km de longitud.

4- CABLEADO DE FIBRAS ÓPTICAS

4.1- RECUBRIMIENTO SECUNDARIO

El tipo de **recubrimiento primario** no es suficiente para asegurar el continuo mantenimiento de las propiedades ópticas de las FO durante la vida útil. Para elevar la resistencia a la tracción y a los esfuerzos mecánicos transversales, mediante el principio de reparto de carga, se acude a la colocación de un **recubrimiento secundario** de material con alto módulo elástico como poliamidas¹⁾, poliéster, poliuretanos, etc.

Existen dos formas básicas de recubrimiento secundario: el **adherente** (*tight*) y el **suelto** (*loose*). En el tipo suelto se construye un tubo holgado de poli-butano con la FO en su interior. El espacio libre entre las paredes del tubo actúa como aislante mecánico y se rellena con un gel tixotrópico. En el adherente el tubo es más pequeño y el espacio se completa con un material de bajo módulo elástico, como la goma silicónica, que actúa de amortiguador (*buffer*) para el movimiento de la FO. Distintas variantes sobre estos dos tipos buscan aumentar el número de FO en un reducido espacio.

Desde el punto de vista del diámetro exterior la protección suelta es mayor (2 mm) que la adherente (0,9 mm). Pero, las sollicitaciones transversales y las dilataciones o contracciones por la variación de temperatura se transmiten desde el recubrimiento a la FO en el adherente. Sin embargo, la protección en los extremos del tubo es más débil en el suelto. El cambio de longitud de una FO de sílice para 1 Km de longitud entre 20 y 40°C es:

$$\Delta L = \alpha \cdot T \cdot L = 1,1 \text{ cm}$$

donde el coeficiente de expansión térmico lineal α es $5,5 \cdot 10^{-7}$ por °C.

El **recubrimiento secundario** se realiza en una línea de extrusión, la que consiste en una cabeza estrusora alimentada desde una tolva con el material sintético. Mediante un motor unido a un huso (tornillo sin fin) se transporta el material a lo largo de varios estadios de calentamiento. La cabeza coloca el material fluido en forma de tubo holgado o adherido a la FO. Luego, con una batea con agua se enfría y se tracciona hacia el rollo. Tal procedimiento se muestra en la **Fig 02**. La línea puede estar preparada para manejar varias FO y para colocar un **gel de relleno** (*jelly filling*) **tixotrópico** para impedir la migración del agua o humedad dentro del tubo suelto. Hoy día estos materiales actúan como centros de absorción de H para FO en la segunda ventana²⁾.

En 1983 se encontró que el H reacciona con las FO y aumenta la atenuación principalmente más allá de 1 μm . Las fuentes de H son: la degradación de polímeros, la liberación desde metales (retienen H en trampas formadas por granos o dislocaciones; el Al libera H a 20°C y el acero por encima de 120°C), la corrosión galvánica (los hilos de acero revestidos de zinc con el agua de mar crean un par hierro-zinc que emite H por electrólisis) y las bacterias alógenas (fermentan sustratos orgánicos liberando H). Ahora bien, las FO aún con el recubrimiento secundario no están totalmente preparadas para la instalación y para una vida útil segura. Para lograr este objetivo se cablean las FO en un conjunto más apropiado.

4.2- NÚCLEO DEL CABLE

El cable consta de los siguientes elementos:

- refuerzo a la tracción;
- fibras ópticas FO;
- conductores metálicos;
- separadores de plásticos;
- rellenos para dar uniformidad cilíndrica;
- refuerzo de amortiguamiento radial;
- pantalla y cubierta exterior.

Las propiedades que debe cumplir el conjunto son: alta flexibilidad; bajo peso; alta resistencia a la tracción, torsión y vibración; fácil identificación de las FO y el cable; sencillez de limpieza, corte y empalme de FO; buen comportamiento climático; alta resistencia química, al fuego y al agua.

¹⁾ El Nylon fue sintetizado por vez primera en 1934 por W. Carothers en DuPont. El Nylon es un polímero sintético cuya estructura química es: $(-\text{CO}-\text{NH}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}-\text{CO}-(\text{CH}_2)_4-)$.

²⁾ El oxígeno es un elemento muy necesario y a la vez peligro para la vida. Cuando 2000 millones de años atrás la demanda de H por parte de las bacterias terminaron con el CO_2 , los antepasados de las actuales cianobacterias tomaron el oxígeno del agua H_2O y liberaron O_2 . Se produjo entonces una saturación de oxígeno libre provocando un holocausto en la vida. Aparecieron entonces aquellos seres que consumían oxígeno, para ello se dispone de la Hemoglobina. Se trata de una gran molécula que en su centro dispone de un anillo de átomos de Fe para transportar solo un átomo de O hasta las células que lo necesitan.

CABLES CON FIBRAS OPTICAS

El **núcleo del cable** tiene tal variedad que una clasificación resulta difícil; sin embargo, se puede intentar un agrupamiento basado en los ejemplos de la **Fig 03**:

- cable monofibra o bifibra (A,J)
- cable multifibras recubrimiento adherente: simple o múltiple (B,C)
- cable multifibras recubrimiento suelto: simple o múltiple (D,E,F,G)

Por otro lado, la cubierta del cable responde al método de instalación:

- cubierta para cable por conducto (B,G)
- cubierta para cable aéreo (D,I)
- cubierta para cable enterrado (C,E,H)

ELEMENTO DE TRACCIÓN. Se han usado hilos de acero, monofilamentos de plástico o fibras textiles o de vidrio. La elección se fundamenta sobre la forma de instalación. Por ejemplo, los cables instalados en conductos requieren una tracción durante la instalación pero su vida útil transcurre casi sin *stress* mecánicos. El tendido en conducto lleva una fuerza de tracción que se incrementa con el coeficiente de fricción entre la cubierta y el ducto. En ductos rectos el incremento es lineal con la longitud y en las curvas es exponencial. En los cables aéreos, en cambio, el elemento de tracción debe soportar fuertes esfuerzos durante la vida útil debido a la acción del viento, nieve, etc.

La elección del elemento de tracción depende del módulo de Young deseado, la resistencia mecánica, el peso, la estabilidad a largo plazo, la facilidad de manipulación, la reacción a la corrosión, el corte y empalme del mismo, la propagación de la llama, las características dependientes de la temperatura y el costo. Cuando se usan hilos de acero se debe recordar que la rigidez a la flexión del hilo de acero es proporcional a la cuarta potencia del diámetro por lo que se recomienda como elemento de refuerzo hilos trenzados en lugar de una única varilla lo cual permite mayor flexibilidad.

En los núcleos de "**cables dieléctricos**" (libres de metales) se usan monofilamentos como el poliéster aromático (*Kevlar* de *Du Pont*), hilaza o aramida que tiene una relación entre la resistencia mecánica y el peso 3 veces superior a la de los hilos de acero pero a un costo muy superior³).

CABLES RELLENOS. El cable puede estar relleno de un gel que impida la propagación del agua o humedad. El mismo debe contemplar la estanquidad del agua, la manejabilidad, la aceptación por parte del personal, la facilidad de colocación, la inflamabilidad, la resistencia al cizallamiento, la compatibilidad de los compuestos, y el comportamiento frente al cambio de temperatura. Los **materiales de relleno** son el petrolato o el polibutano al 65% con aditivos (densidad de 0,908 gr/cm³). El aceite tixotrópico de relleno es químicamente neutro; en la gama de -30 a +70 °C no se congela, no fluye y es limpiable.

La producción del núcleo del cable se realiza en la máquina reunidora de la **Fig 02**. La **reunidora o cableadora** consiste en una jaula cilíndrica donde se colocan las bobinas de FO, los conductores de Cu, rellenos y separadores y se reúnen en forma helicoidal sobre el miembro central. Luego se encinta el conjunto para darle rigidez cilíndrica y se enrolla en un carrete. El paso posterior es colocar la vaina exterior del cable en una estrusora apropiada.

4.3- CUBIERTA EXTERIOR

La cubierta exterior del núcleo tiene diversas características en función del medio ambiente. Así, por ejemplo:

- Como barrera contra compuestos químicos agresivos y aceites.
- Se usa la cubierta tipo **PAL** (cinta de aluminio recubierta en polietileno) y **PE** exterior.
- Contra roedores o bordes afilados se usan armaduras de acero.
- Se trata de una corona de alambre helicoidales, fleje o lámina ondulada.
- Contra radiaciones ultravioleta se coloca 2,5% de carbón negro en el PE.
- Contra campo electromagnéticos se usan cubiertas no metálicas (*Kevlar* y PE).
- Contra hormigas y termitas se coloca una capa de poliamida.
- Contra el fuego se usa PVC o materiales libres de alógenos.

Los **materiales alógenos**, como el polietileno PE (-CH₂-), producen gases tóxicos, corrosivos y denso humo al ser calentados o sufrir incendio. Las cintas de Al o acero son excelente barrera contra el fuego pero dan rigidez al cable.

³) El Kevlar es usado en neumáticos junto con fibras de acero y goma natural (el caucho es un derivado de la planta tropical *Hevea Brasiliensis*) o artificial (sintetizada en laboratorio). En la actualidad se investigan otras fibras con mejores propiedades que el kevlar: la fibra producida por la araña (es más resistente y elástica que el kevlar, además es reciclable). La seda producida por el capullo de un gusano es de fácil recolección, pero las arañas son caníbales y no se pueden criar en grupos. Por ello deben transferirse los genes a bacterias que la produzcan. El filamento antes de abandonar a la araña sufre un proceso de acidificación que elimina el hidrógeno y arquea las fibras generando puentes entre las mismas, permitiendo la cohesión y endurecimiento.

CABLES CON FIBRAS OPTICAS

Otros materiales que podrían usarse son inorgánicos (amianto o fibra de vidrio) u orgánicos (poliamidas). La cubierta del cable es la primera defensa y debe contener aditivos que al calentarse se descompongan en productos inofensivos. Por ejemplo, la alúmina trihidrata $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ libera el 30% del peso en agua con temperaturas entre 160 y 260°C en una descomposición endotérmica. El agua desprendida extingue la ignición, absorbe calor y desaloja oxígeno. En tal sentido, se ha adoptado el **PVC** (cloruro de polivinilo $-\text{CH}_2-\text{CHCl}-$) como cubierta exterior para cables en túneles, galerías o interiores de edificios. Sin embargo, el PVC, que retarda la llama, produce un denso humo negro que crea pánico y genera gases corrosivos que encarece la reparación de equipos eléctricos.

Hoy día se prefieren los **materiales libres de alógenos** que se caracterizan por el:

-índice de oxígeno: mínima concentración de oxígeno (%) en una mezcla de nitrógeno que mantiene la combustión y el

-índice de temperatura crítica: la temperatura a la cual el índice de oxígeno es 21% en el aire a temperatura ambiente.

La resistencia a la llama aumenta con el incremento de ambos índices. Se obtiene, como residuo de la combustión, agua lo que ayuda a cancelar la llama.

Las pruebas que se efectúan sobre la cubierta se describen en las normas **IEC 331** sobre resistencia al fuego y IEC 332 sobre propagación y retardo de la llama. En lo referente a costos los materiales libres de alógenos cuestan entre 2,5 y 3,5 veces más que el PVC. Se indica que la prueba de resistencia a la llama debe realizarse en 3 hs de exposición a 750°C. Suele incluirse un máximo de 10 min a 1000°C seguidos por 5 min de un rocío de agua a 15 lt/min. Un cable con cubierta PAL retarda el efecto de la llama sobre la FO; sin embargo, se comprueba que el recubrimiento primario de acrilato resiste la llama mientras que la silicona se destruye en 30 min. Para FO que deben trabajar en alta temperatura se han desarrollado recubrimientos de aluminio que soportan de 200 a 350°C continuos.

Sobre los cables con fibras ópticas se realizan las siguientes pruebas:

-Resistencia a tracción de las fibras ópticas y del cable compuesto;

-Ciclo de temperatura sobre ambos;

-Pruebas de aplastamiento e impacto sobre el cable;

-Pruebas de penetración de agua o humedad en el cable;

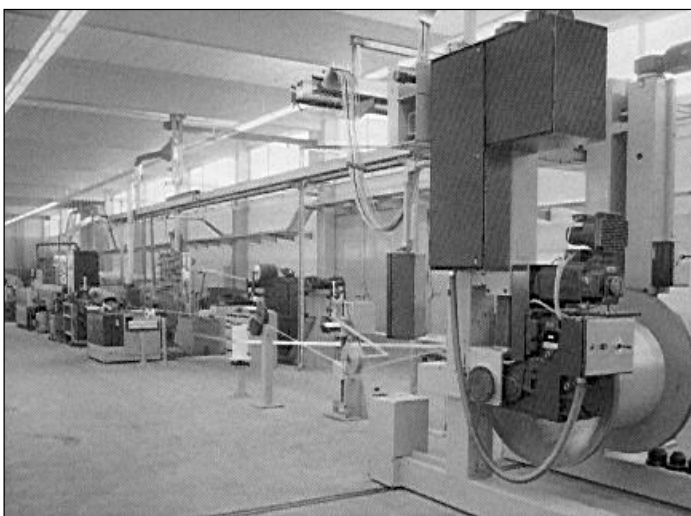
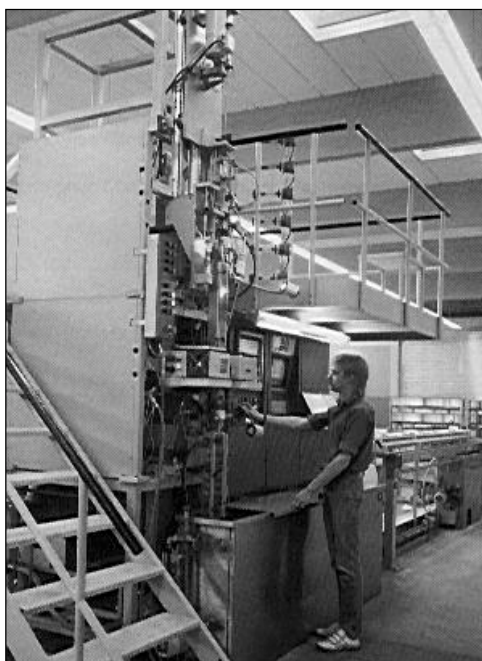
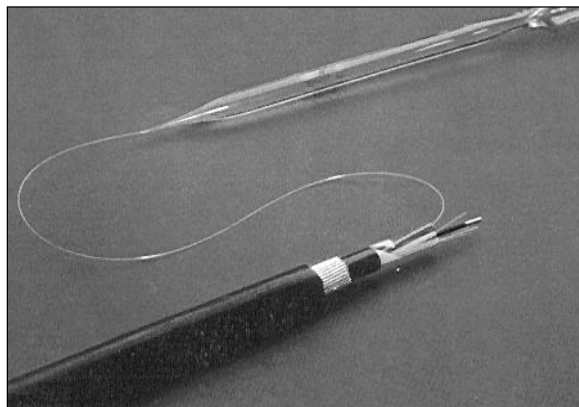
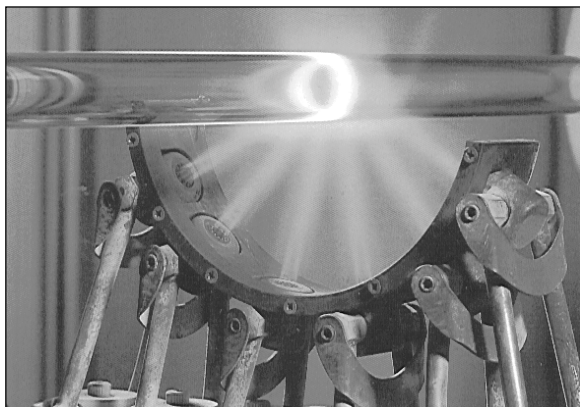
-Pruebas mecánicas de torsión, curvatura y flexión;

-Pruebas eléctricas de rigidez dieléctrica de aislamiento y

-Pruebas de adaptación ambiental y contaminación.

CABLES CON FIBRAS OPTICAS

LAMINA: PRODUCCION DE FIBRAS Y CABLES OPTICOS. Proceso de producción OVD de la preforma; máquina para el estirado de la preforma; máquina para el cableado del núcleo óptico; tipos de cables ópticos.



5- EJEMPLOS DE CABLES ÓPTICOS

Se describen diferentes modelos de cables que se muestra en la Fig 03a/b;

A- CABLE MONOFIBRA: Este tipo de cable consta de una sola FO con revestimiento de 125 μm . El recubrimiento primario es del tipo adherente de 2 capas: acrilato de 250 μm , silicona de 400 μm y PVC o Nylon de 0,9 mm de diámetro. Se completa con un miembro de tracción radial de Kevlar de 2,4 mm de diámetro y una cubierta exterior de PVC de 3 mm. Con este esquema de cable monofibra pueden construirse cables de 2 FO uniendo en forma de ocho ambas FO y hasta cables encerrando en una única vaina exterior 4 cables monofibra.

B- CABLES A GRUPOS: Este cable fue usado en el proyecto Cidiba de la Entel-Argentina en 1980. Consiste en un miembro central de tracción (7 hilos de acero de 0,9 mm galvanizado y aislados en PE), conductores de cobre (4 cuadretes de Cu de 0,9 mm de diámetro aislado en PE), 6 grupos de FO con un alambre central de acero de 0,95 mm y recubierto el grupo por cintas de plástico. En algunos casos existen rellenos cilíndricos de PE. La cubierta es de PAL y PE. Los cables contienen entre 8 y 60 FO y el diámetro exterior está entre 22 y 25 mm con un peso entre 410 y 580 kg/km. Las FO son del tipo multimodo con un perfil de índice gradual con diámetros 50/125 μm ; trabajan en la primera ventana (0,85 μm) y tienen recubrimiento adherente de 0,9 mm. La atenuación es inferior a 3 dB/km y el ancho de banda superior a 800 MHz/km. El descrito es un cable típico de la primera mitad de los años 80.

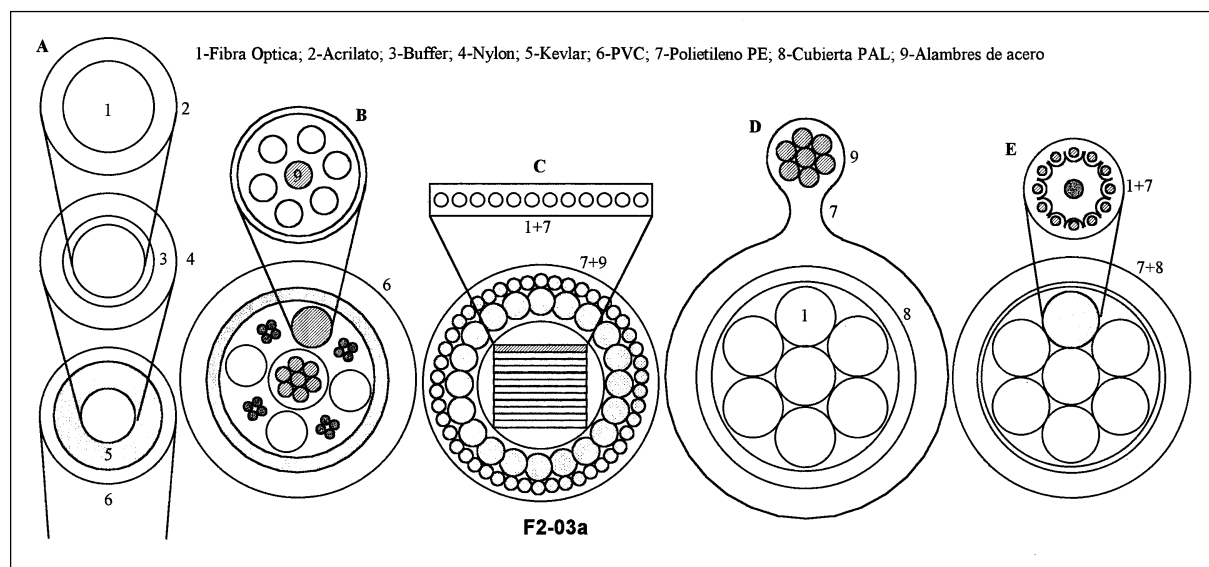
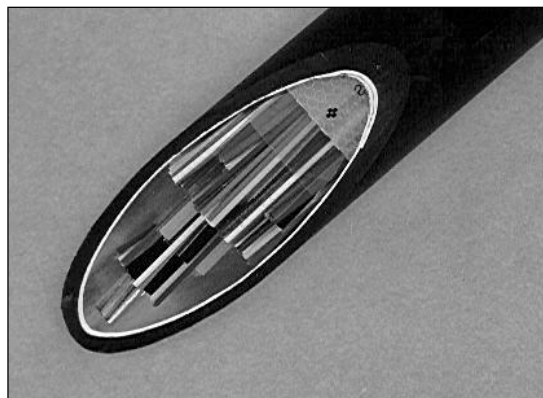


Fig 03a. Tipos de cables ópticos.

C- CABLE A CINTAS: Este cable consiste en 12 cintas de 12 FO cada una, lo cual permite formar un cuadrado de 144 FO. Este módulo tiene una estructura helicoidal. La cubierta consiste en 2 capas de hilos de acero con helicoicidad opuesta y PE exterior. Obsérvese que el elemento de tracción se encuentra en la periferia del núcleo de cable.

D- CABLE AÉREO: Para la Administración alemana los cables del tipo *slotted core* (E, F y G) con ranuras helicoidales tiene problemas en el huelgo longitudinal y bilateral entre FO; por ello adoptó el modelo de recubrimiento suelto a tubo simple o múltiple. La FO tiene dos capas de acrilato, la exterior con mayor resistencia mecánica y admite colorantes. El tubo tiene un diámetro exterior de 1,4 mm si contiene una FO y de 3 mm para 10 FO. El espesor del tubo es del 15% del diámetro. El tubo está relleno de aceite



CABLES CON FIBRAS OPTICAS

tixotropizado que entre -30 y +70°C no congela y es químicamente neutro. El relleno del cable es de poli-isobutileno que mejora al petrolato. En el caso de la figura se muestra un cable aéreo de 6 FO con el miembro de sostén adherido en la cubierta de PE en forma de ocho.

E- CABLE RANURADO: Este tipo de cable consiste en módulos de hasta 10 FO. Es un cilindro ranurado helicoidalmente con un alambre de acero en el centro. El cable de la figura consiste en 7 módulos (cable de 70 FO). Obsérvese que el miembro de tracción consiste en una cinta de acero exterior revestida en PE.

F- CABLE SUBMARINO: Este cable consta de 4 o 6 FO monomodo para 1,55 μm con atenuación inferior a 0,25 dB/km. Tiene un soporte de PE helicoidal y relleno de un gel. La FO tiene una elongación mayor en 1,1% al del soporte. El hilo central de Cu sirve para la alimentación. El núcleo del cable está cubierto por dos coronas de alambres de acero rellenas de Cu y con PE exterior. Este tubo de Cu sirve como retorno para la alimentación de los repetidores.

G- CABLE CON CANALES: El miembro central puede ser de acero (19 hilos de acero galvanizado de 3,2 mm de diámetro con PE) o de plástico (poliester con fibras de vidrio longitudinales). El perfil es estruido con canales abiertos helicoidales. Se colocan hasta 8 FO por ranura con recubrimiento primario coloreado. Las 6 ranuras están rellenas de gel (no-tóxico, no-higroscópico, antihongo, aislante y compatible con el resto de los componentes). La cubierta exterior es de tipo PAL (cinta de Al de 0,2 mm de espesor y cubierta de PE de 50 μm) con PE exterior de media densidad (0,95 gr/cm^3). El cable para conducto tiene un peso de 230 kg/km con acero y 198 kg/km con plástico; su diámetro es de 15,2 mm. El mismo núcleo con la cubierta de acero para ser enterrado pesa 345 kg/km y tiene un diámetro de 17,7 mm.

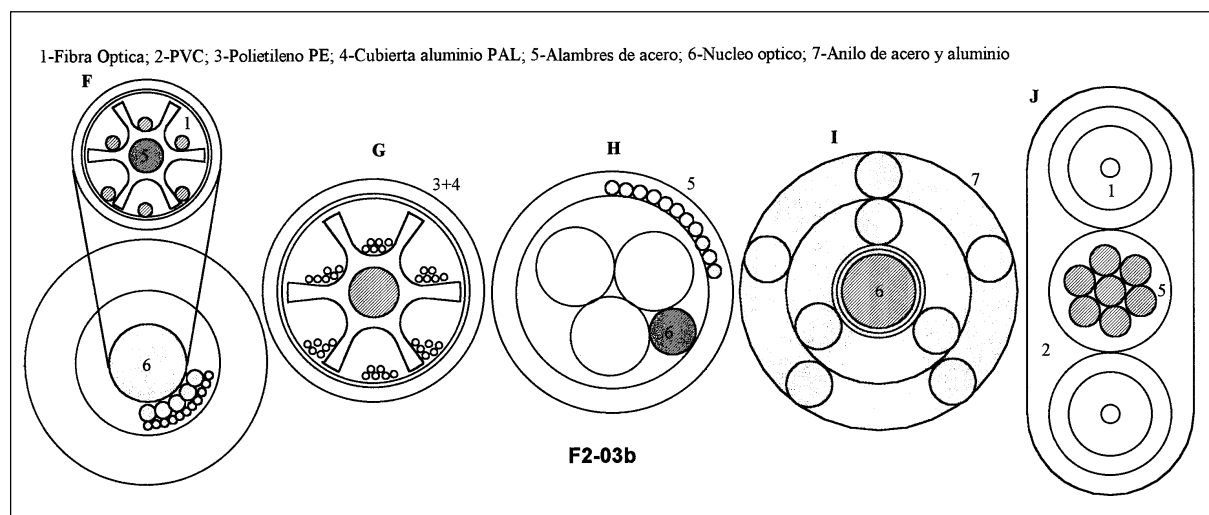


Fig 03b. Tipos de cables ópticos.

H- CABLE DE ENERGÍA: Este tipo de cable es un cable trifásico con cubierta de acero y PE y tiene en uno de los huecos que queda entre cada fase un cable óptico de las características deseadas. Este cable óptico consiste solamente en el núcleo del cable sin la cubierta.

I- HILO DE GUARDIA (OPGW): Este es uno de los varios modelos de hilo de guardia. Consiste en 8 segmentos de Al y acero, con un diámetro exterior de 17,4 mm y con un peso de 769 kg/km. Dentro del tubo de Al central se coloca un núcleo de cable óptico.

J- CABLE PARA EDIFICIOS: Consiste en un cable de 2 FO y un alambre central de acero. Las dimensiones exteriores del cable son de 10x5 mm. La cubierta exterior es de PVC, pesa 40 kg/km y soporta una carga máxima de 40 kg.

