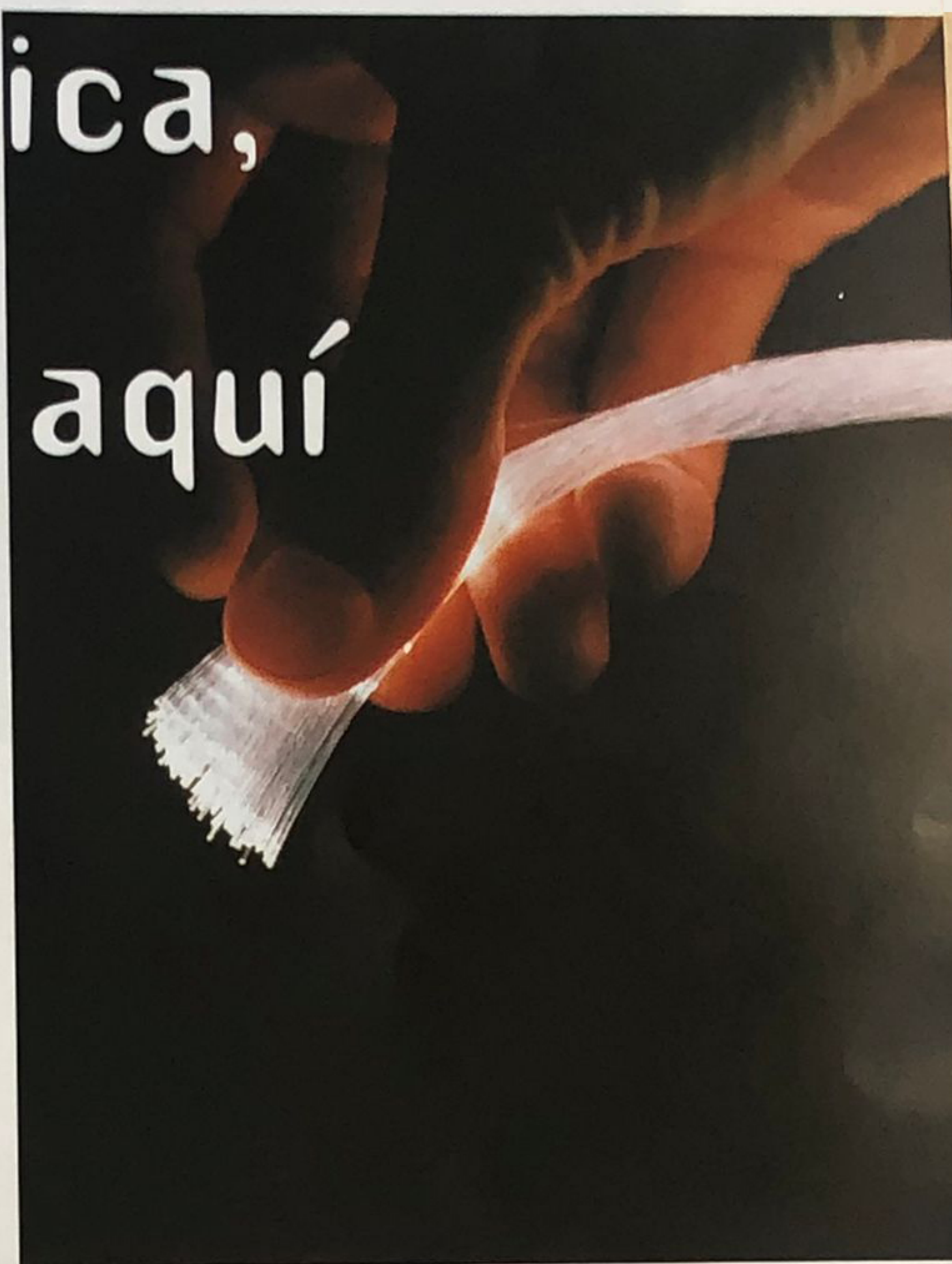


Fibra óptica, el futuro pasa por aquí



Recientemente Agustí Valls ha pasado a desempeñar la función de responsable del Grupo Pirelli del área de producto de cables de telecomunicaciones a nivel mundial. Entre sus funciones cabe destacar la de Investigación y Desarrollo, la innovación de producto y el diseño de cables de telecomunicaciones. En su puesto en España, como Director Tecnológico y de Calidad de Pirelli Cables y Sistemas, ha sido nombrado Josep Torrents.

por Agustí Valls i Prats.
Director R&D,
E-Telecom Cables.



Sistemas de fabricación Pirelli

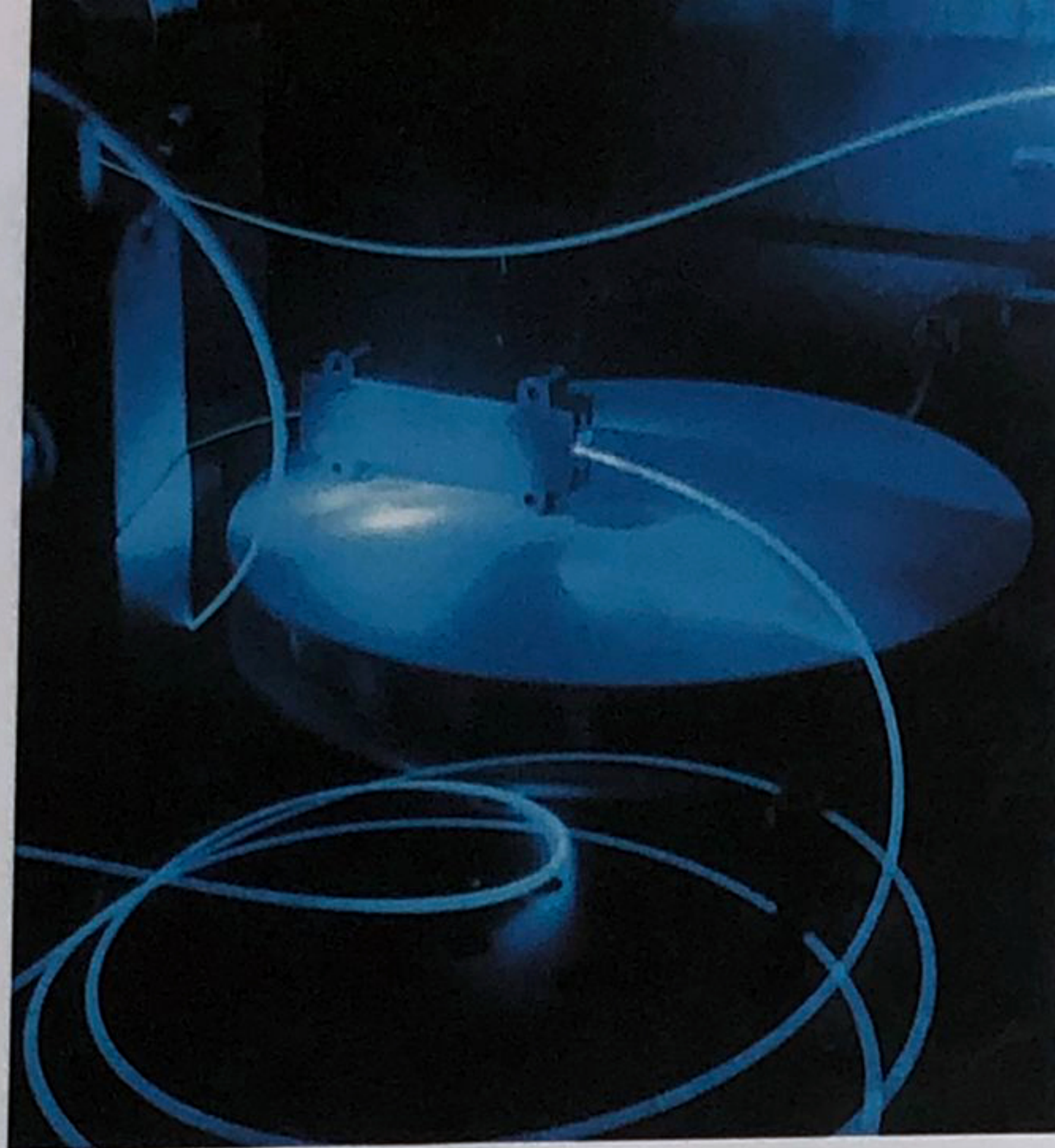
VAD	Inglaterra (Bishopstocke)
OVD	Italia
MCVD	Inglaterra (Harlow)
	Brasil (Sorocava)

Se pueden utilizar varias tecnologías para la fabricación de fibras ópticas en sílice para uso en las telecomunicaciones. Si las clasificamos basándonos en la modalidad de obtención y de elaboración de la sílice fundida, éstas técnicas son:

- Elaboración convencional del vidrio en estado fundido.
- Deposición de la sílice obtenida mediante síntesis en fase de vapor.
- Producción de la sílice por vía húmeda a temperatura ambiente, en procesos del tipo "sol-gel".

De ellas la que ha tomado la delantera en la producción de las fibras ópticas utilizadas en las telecomunicaciones es la indicada en segundo lugar, conocida también como proceso CVD (*Chemical Vapour Deposition*).

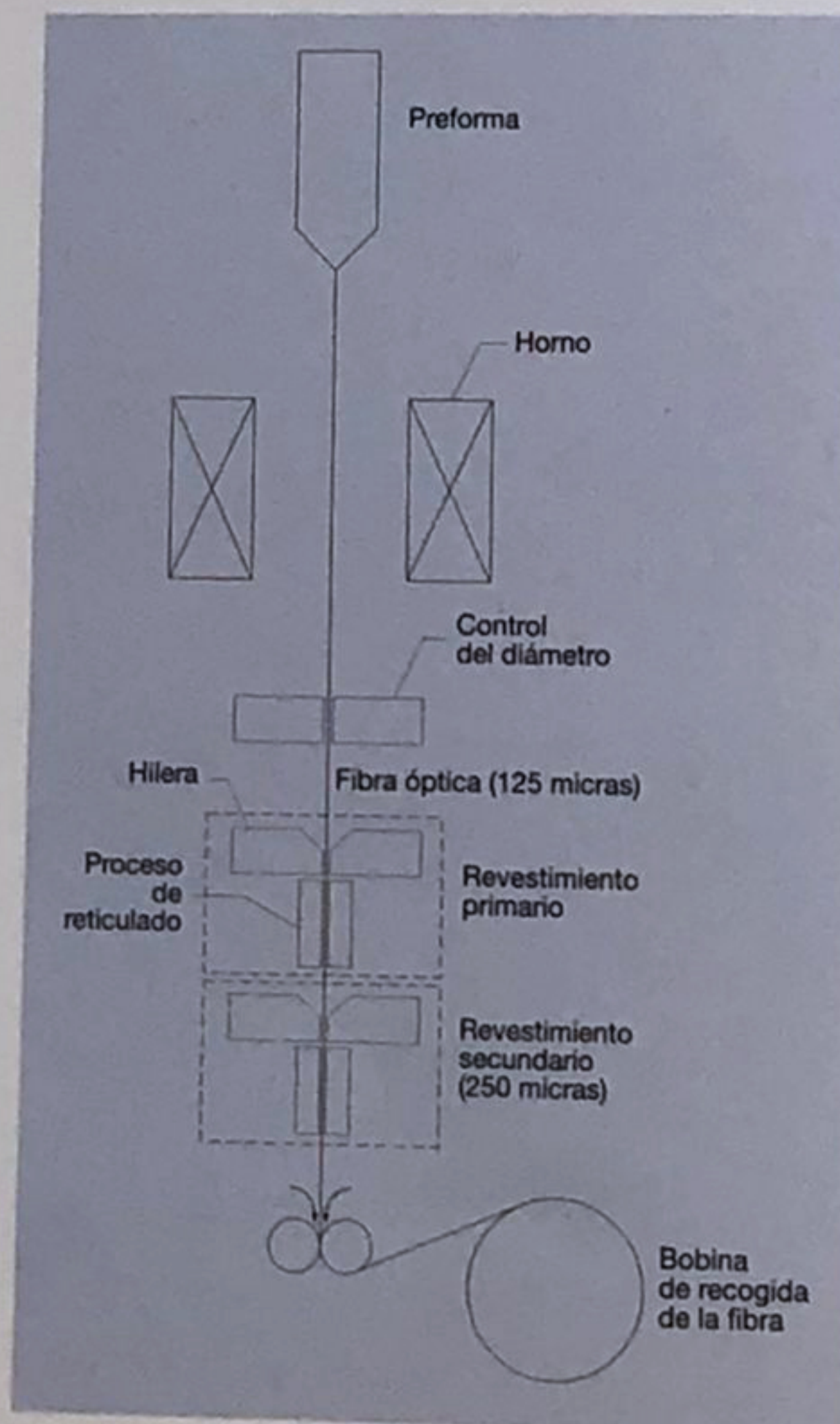
Para obtener la fibra óptica tal y como la conocemos en su estado final, es preciso partir de un semielaborado constituido por un cilindro de vidrio denominado "preforma", del cual mediante un proceso de hilatura se obtiene la fibra. La preforma se ha construido ya de tal manera que se definen dos regiones diferenciadas:



Ensayo de la fibra en los laboratorios de I+D en Milán.

- Un núcleo cilíndrico, denominado "core", con un cierto "índice de refracción".
- Una región externa, concéntrica al "core", denominada "cladding", que tiene una composición y por lo tanto, un índice de refracción diferente del anterior.

Durante el proceso de hilatura (donde se pasa de la preforma a la fibra), la relación geométrica entre las dos regiones (core y cladding) permanece invariable. Por lo tanto, las dos zonas mantienen el mismo nombre también en la fibra acabada.



Esquema proceso de estiramiento de la preforma.

TÉCNICA DE PRODUCCIÓN CVD (Chemical Vapour Deposition)

El método más difundido para la elaboración de las preformas emplea una técnica en la cual la sílice necesaria para obtener la parte vidriosa de la fibra, producida en fase vapor, se deposita sobre un soporte especialmente predispuesto para ello.

Los reactivos utilizados para la elaboración de la preforma son generalmente, cloruro de silicio, germanio, fósforo, etc., que fluidifican en una zona a alta temperatura donde son oxidados formando un fino polvo con base silíceo, denominado "soot".

En función de como se realizan estas reacciones de síntesis por oxidación y de cual sea el proceso de deposición del "soot", estos procesos se subdividen en dos categorías:

- 1.- Proceso **IVPO** (Inside Vapour Phase Oxidation), en el cual el "soot" se deposita en el interior del soporte.
Que a su vez se subdivide en dos técnicas distintas:
 - **MCVD** (Modified Chemical Vapour Deposition).
 - **PCVD** (Plasma Chemical Vapour Deposition).
- 2.- Proceso **OVPO** (Outside Vapour Phase Oxidation), en el cual la deposición del "soot" tiene lugar al exterior del soporte.
Que también se subdivide en dos técnicas distintas:
 - **OVD** (Outer Vapour Deposition)
 - **VAD** (Vapour Axial Deposition)

TÉCNICA MCVD (Modified Chemical Vapour Deposition)

Este proceso, descrito por primera vez por J.B. MacChesney en 1974, es uno de los procesos de fabricación más difundidos para la fabricación de f.o. de elevada calidad.

El proceso de fabricación se divide en tres fases:

1. Deposición/vitrificación de materiales de elevada pureza sobre la superficie interna de un tubo.
2. Colapso del elemento anterior a fin de construir una preforma que contenga la estructura "core/cladding" necesaria para guiar la luz.
3. Hilatura de la preforma a fibra óptica de diámetro controlado.

La fase de deposición consiste en la oxidación a alta temperatura, del tetracloruro de silicio (SiCl_4) y de otros halogenuros usados como dopantes (el tetracloruro de Germanio y el oxocloruro de fósforo, entre ellos) formándose un polvo a base de sílice tanto para fibras multimodales como monomodales.

El bióxido de Germanio (GeO_2) se utiliza generalmente para incrementar el índice de refracción de la sílice (SiO_2).

El hexafluoruro de Azufre (SF_6) u otros derivados fluorados, se utilizan para reducir el índice de refracción.

El óxido de Boro (B_2O_3) y el Pentóxido de Fósforo (P_2O_5), se utilizan para reducir la temperatura de fusión del conjunto.

En todas las técnicas de producción de la fibra óptica del tipo IVPO, el tubo de soporte para la deposición, en sílice, entra a formar parte de la fase "cladding" de la fibra producida.

Proceso de producción

Se monta en un torno para vidrio un tubo de sílice (con un diámetro de pocos centímetros y una longitud de casi un metro).

Uno de los extremos del tubo se conecta al sistema de alimentación de los gases de proceso, mediante una unión giratoria. Por el otro extremo se van recogiendo los materiales no depositados.

Se utiliza un quemador de Hidrógeno (o de Metano) como elemento portador de la energía a la reacción química. El quemador se traslada de

un extremo al otro del tubo de sílice mientras éste gira sobre sí mismo.

Durante la fase de deposición se introducen cantidades controladas de reactivos en el interior del tubo de sílice, en donde se producen las reacciones de oxidación y la deposición (mediante un mecanismo físico-químico denominado termoforesis), sobre la cara interna del mismo, de una parte de los elementos producto de la reacción.

Los gases reactivos, de extremada pureza, se introducen en el interior del tubo de sílice de forma laminar en la misma dirección en la que se mueve el quemador, a una velocidad aproximada de diez milímetros por segundo.

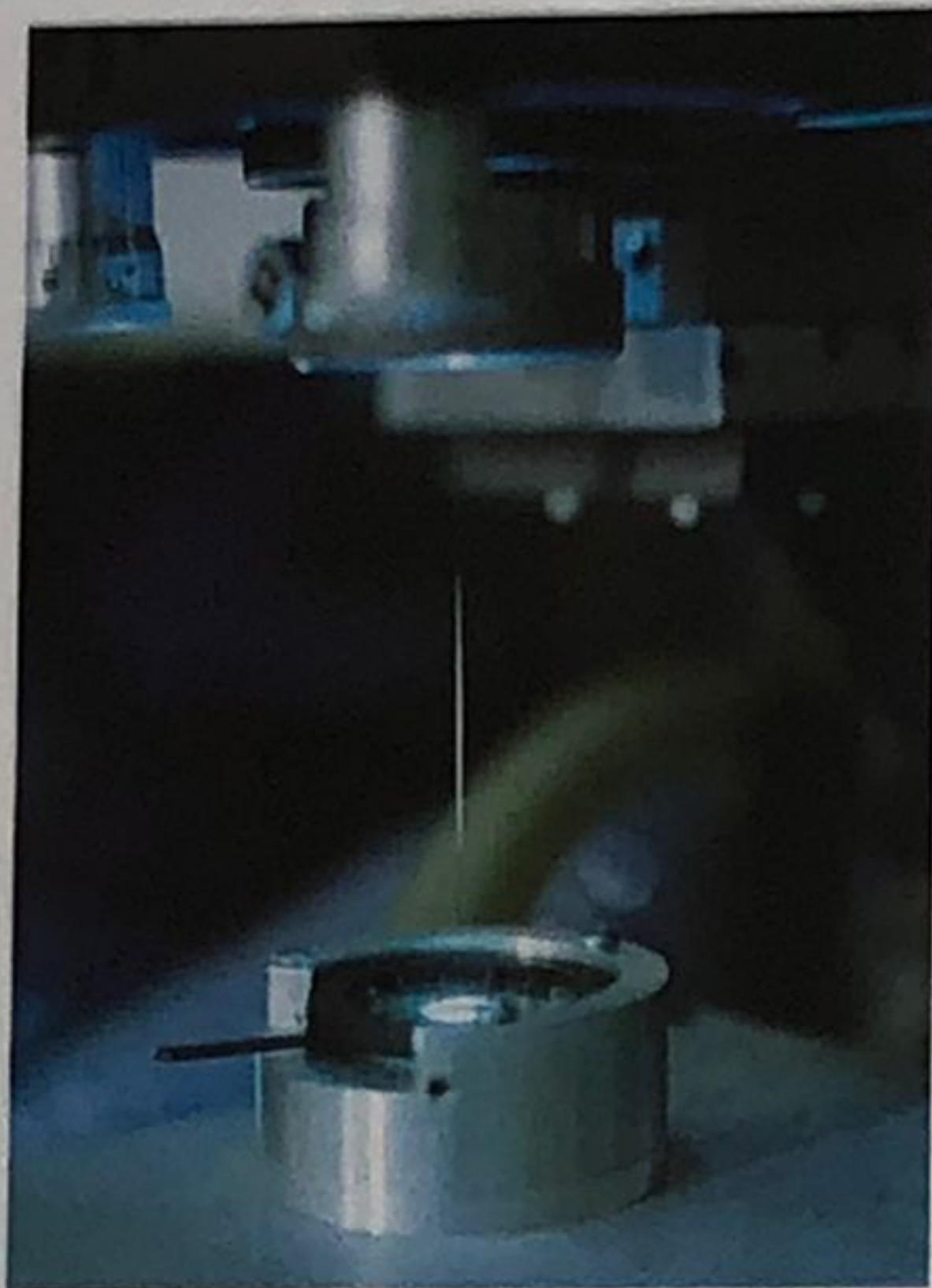
Inicialmente se forman, por deposición, los estratos correspondientes al "cladding", después se depositan los estratos correspondientes al "core". El diámetro interno del tubo de sílice se va reduciendo progresivamente, sin llegar a cerrarse por completo. Un perfil de preforma optimizado tiene normalmente de 30 a 70 estratos (por deposición, cada estrato con un espesor de pocos milímetros).

Una vez terminado el proceso de deposición, se provoca el "colapso" del tubo, para reducir completamente el diámetro interno del mismo.

Deposición del polvo de sílice durante el proceso de fabricación de la preforma según la técnica VAD.



Hilado de la preforma compactada.



Durante la fase de "colapso" del tubo de sílice, la velocidad del quemador se reduce a una velocidad de pocos centímetros por minuto, con lo que se eleva la temperatura de la zona caliente y se facilita el "cierre" de la luz interna del tubo con solo un número limitado de pasos del quemador (normalmente cinco).

Una vez colapsado el tubo, se procede a la hilatura de la preforma.

TÉCNICA PCVD (*Plasma Chemical Vapour Deposition*)

En esta técnica de producción de fibra óptica, la energía necesaria para desencadenar la reacción de oxidación, la aporta un campo resonante de microondas producido por un generador a 2.5 GHz.

Durante la fase de deposición, el generador se traslada a lo largo del tubo de sílice, mientras un horno auxiliar mantiene el tubo a una temperatura de 1200 °C, para evitar que se generen tensiones entre los diferentes estratos que se van depositando con el tiempo.

La extracción de los gases que no han reaccionado se extraen desde el lado opuesto a la entrada de los mismos, mediante una bomba de vacío de baja presión, que facilita la formación de polvo de sílice.

Tanto el modo de deposición de los diferentes estratos de polvo (soot) como el colapso del tubo son similares al método anterior.

Este método PCVD permite un alta eficiencia de deposición y la posibilidad de tener un perfil muy

bien definido. Por otro lado, todos los procesos IVPO (Inside Vapour Phase Oxidation), no prevén una fase de secado de la preforma, como en cambio sí se realiza en los procesos OVD y VAD.

Una limitación de los procesos MCVD y PCVD es la baja capacidad de producción de fibra por preforma. Por este motivo se han desarrollado técnicas que permiten aprovechar al máximo la preforma incrementando sensiblemente los kilómetros de fibra producida.

TÉCNICA OVD (*Outer Vapour Deposition*)

Este proceso productivo se divide en tres fases:

- Deposición del polvo de sílice.
- Compactado de la preforma.
- Hilado de la preforma compactada.

Los reactivos se envían a la zona de deposición directamente a través del quemador.

En una primera fase, diminutas partículas de sílice son producidas por oxidación gracias a la energía generada por el quemador. Estas partículas son transportadas por el gas de reacción a una barra "bachetta" de material cerámico (alúmina), que actúa de soporte, sobre la cual se depositan las partículas, parcialmente sinterizadas en capas sucesivas.

La barra de soporte gira sobre sí misma y se traslada a la vez, asegurando de esta manera la simetría cilíndrica de la preforma generada (constituida por el polvo de sílice depositado contra el soporte).

La composición del gas de reacción, varía adecuadamente durante el proceso de deposición, con el fin de obtener el perfil de índice de refracción deseado.

Durante la segunda fase del proceso (consolidación) se extrae la barra de soporte de la preforma. Se hace descender ésta por el interior de un horno vertical, donde en atmósfera controlada y a una temperatura de aproximadamente 1500 °C se compacta hasta alcanzar la densidad del vidrio.

Durante la tercera fase del proceso (hilatura), la preforma compactada se hila a una temperatura próxima a los 2000 °C.

TÉCNICA VAD (*Vapour Axial Deposition*)

Esta técnica difiere de la anterior (OVD) en que la deposición de las partículas de sílice se produce según el eje de la preforma (dispuesto verticalmente) con un crecimiento virtualmente continuo.

Los reactivos son enviados a la zona de deposición directamente a través del quemador, de la misma manera que en el proceso OVD.

El soporte inicial para la deposición está constituido por un elemento circular de sílice, que tiene un movimiento lento de rotación y de traslación hacia arriba. La combinación de estos dos movimientos favorece de manera importante el crecimiento constante de capas uniformes de partículas, con simetría circular.

Para acelerar el crecimiento de la preforma y para ajustar mejor el perfil del índice de refracción, a menudo se emplean dos o más quemadores de los cuales uno, se mantiene en posición axial y los otros en posición lateral con un ángulo adecuado respecto de la preforma.

También en este caso, la preforma inicialmente está constituida por un aglomerado de partículas en estado coloidal y con una estructura porosa. A continuación debe procederse a la purificación de la preforma de los residuos de la combustión (en particular agua), producidos durante la fase de deposición, antes del compactado.

Al igual que en el proceso OVD, se utilizan hornos tubulares con un perfil térmico axial y circulación de gas.

Este proceso VAD, es un sistema utilizado exclusivamente en Japón y requiere un complejo y a la vez exhaustivo control del proceso productivo.

Hasta ahora hemos considerado las fases de elaboración previas al Hilado de las preformas. Veamos como se estiran las mismas hasta la obtención de la fibra óptica final.

ESTIRADO DE LAS PREFORMAS

Para obtener la fibra óptica tal y como la conocemos se requiere un proceso de estirado (o hilado) a partir de la preforma. Durante este proceso, se reduce el diámetro de la preforma hasta obtener el diámetro final de la fibra, sin que

la relación geométrica entre el núcleo y el recubrimiento concéntrico al mismo, se vean alterados.

En el proceso de estirado de la preforma, ésta se introduce muy lentamente en el interior de un horno, que calienta una pequeña parte de la misma hasta una temperatura de 2000 °C. Tanto las dimensiones del horno como el perfil de temperaturas del proceso, deben ser cuidadosamente optimizados. En particular la zona de precalentamiento de la preforma no debe ser muy larga para evitar que la preforma se encuentre durante demasiado tiempo a estas altísimas temperaturas, debiéndose evitar procesos de cristalización del vidrio.

El efecto de estiramiento de la preforma en el extremo opuesto al de inserción, consiste en la natural y gradual reducción del diámetro (en la zona plástica y a baja viscosidad) hasta obtener la dimensión de la fibra. La relación entre el diámetro de la preforma y el de la fibra está ligado a la relación entre la velocidad de alimentación de la preforma (hacia el interior del horno) y la velocidad de estiramiento por la ley de conservación de los volúmenes. Como se trata de sólidos con geometría cilíndrica, se obtiene la siguiente fórmula:

$$\{d_f / D\}^2 = V / v_f$$

d_f = diámetro de la fibra

D = diámetro de la preforma

V = velocidad de alimentación de la preforma

v_f = velocidad de estiramiento de la fibra.

El proceso de estiramiento se realiza sobre un eje vertical, para equilibrar el efecto de la gravedad en la zona del "menisco", es decir, en la zona



Proceso de fabricación de la preforma, según la técnica OVD.



Fibra óptica de Pirelli de última generación.



Fábrica de F.O.S.
(Fibre Ottiche Sud),
en Battipaglia, Italia.

caliente de la preforma en donde se produce la progresiva reducción del diámetro.

El horno utilizado para el proceso de estiramiento está calefactado normalmente por resistencias, ya que éstas permiten regular mejor la temperatura y garantizan una mejor homogeneidad de la zona caliente en el interior del horno, tanto radial como longitudinalmente.

El material interior de recubrimiento del horno, es el grafito. Durante el proceso de estirado de la preforma, el interior del horno se llena con gas inerte (Nitrógeno ó Argón), para prevenir la oxidación del grafito. Además, controlando el flujo del gas inerte, se puede regular el diámetro de la fibra.

El proceso de estirado tiene que permitir la producción de una fibra óptica con excelentes características geométricas, ya que las propiedades ópticas y mecánicas de la misma dependen en gran medida de la estabilidad entre la relación "diámetro núcleo - diámetro recubrimiento" y también de los defectos superficiales del vidrio.

El control exhaustivo de los parámetros de proceso permitirá disminuir al máximo los defectos superficiales de la fibra. Para ello, se hace necesario controlar continuamente el diámetro de la fibra óptica, a la salida del horno.

PROTECCIÓN EXTERNA DE LA FIBRA

A la salida del horno y hasta la zona en donde se recubre la fibra con una capa de polímero, ésta experimenta un proceso de enfriamiento, debido al propio movimiento respecto al aire que la circunda (o al flujo de gas inerte utilizado).

Una vez enfriada la fibra, de manera natural, se la recubre (mediante extrusión) con un manto plástico de resina acrílica que retícula en pocos segundos

al hacer pasar la fibra óptica recubierta por el interior de un horno calefactado por luz ultravioleta.

El revestimiento anterior, está formado por una capa interna (**revestimiento primario**, con un bajo módulo elástico) y otra capa externa (**revestimiento secundario**, con un módulo elástico mayor del anterior).

El **revestimiento primario** se utiliza para:

- Conservar la adhesión al vidrio cuando la fibra sea expuesta a condiciones adversas.
- Mantener el módulo bajo, a temperaturas superiores a (-40°C).
- Tener una fuerza de adhesión lo suficientemente baja, que permita eliminar mecánicamente dicho recubrimiento cuando se precise.
- Proteger la fibra de las presiones laterales que incrementan la atenuación óptica durante el cableado de la misma o durante la instalación del cable.

El **revestimiento secundario**, se utiliza para:

- Dar protección a la fibra contra los agentes químicos externos y contra los impactos mecánicos (en particular los esfuerzos por zizalladura).
- Asegura la facilidad de eliminación, por vía mecánica del propio revestimiento, al tener un bajo coeficiente de alargamiento.
- Facilita las operaciones sucesivas al proceso de fabricación de la fibra (coloración, cableado, rebobinado, etc), al conferir a la misma un coeficiente de rozamiento bajo.

Una vez se han aplicado las dos capas de revestimiento acrílico a la fibra óptica, ésta viene enrollada en una bobina. La tensión de tiro (tracción) de la fibra, viene dada por la suma de las tensiones generadas en el proceso de aplicación de los revestimientos y de la tensión necesaria en la zona de formación del "menisco", en el horno de estiramiento.