

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 394 490**

51 Int. Cl.:

**C03B 37/014** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.12.2003 E 03808316 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la solicitud europea: **02.11.2006 EP 1716084**

54 Título: **Procedimiento de producción de una fibra óptica de atenuación débil**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**01.02.2013**

73 Titular/es:

**PRYSMIAN S.P.A. (100.0%)  
VIALE SARCA 222  
20126 MILANO, IT**

72 Inventor/es:

**ADIGRAT, ANTONIO;  
GRIECO, STEFANO;  
CARONNA, VALERIA;  
FERRI, GIUSEPPE y  
COCCHINI, FRANCO**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 394 490 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento de producción de una fibra óptica de atenuación débil

La presente invención se refiere a un procedimiento de producción de una preforma con núcleo de vidrio para una fibra óptica de atenuación débil.

5 Una de las características más importantes de una fibra óptica de telecomunicación es la atenuación de la señal en particular en las zonas de longitud de onda actualmente utilizadas para una transmisión de larga distancia. De hecho, cuanto menor sea la atenuación de la señal, tanto mayor será la distancia que tendrá que recorrer la señal antes de ser amplificada.

10 Es sobradamente conocido que la atenuación de la fibra resulta afectada de manera negativa por la presencia de impurezas, las cuales pueden estar incorporadas dentro de la fibra durante su procedimiento de fabricación. Especialmente perjudicial es la atenuación provocada por la contaminación por radicales hidroxilo (OH) o por agua. El incremento de la atenuación debido a la presencia de OH o agua en el vidrio puede llegar hasta aproximadamente de 0,5 a 1,0 dB / km, con un pico en la extensión de la longitud de onda de 1330 nm a 1470 nm (habitualmente identificada como "ventana de 1380 nm"), haciendo que esta extensión resulte inadecuada para una transmisión de  
15 larga distancia. La extensión de longitud de onda más apropiada para una transmisión de larga distancia sigue siendo de alrededor de 1550 nm, lo cual garantiza pérdidas muy reducidas.

La llegada de la técnica de multiplexión por división de longitud de onda (WMD), la cual permite que los sistemas de telecomunicación operen sobre unas extensiones amplias de longitud de onda, hace probable la explotación de la ventana de 1380 nm. La eliminación, o al menos la reducción, del pico de agua de las fibras ópticas es muy  
20 importante para obtener unos sistemas de telecomunicación ópticos con pérdida débil que operen en una banda ancha de longitud de onda (como por ejemplo de aproximadamente 1300 nm a aproximadamente 1700 nm).

El documento WO 00/64825, en la tentativa por resolver el problema expuesto, propone un procedimiento de fabricación de un cuerpo de vidrio cilíndrico para su uso en la fabricación de una fibra óptica de guía de ondas de guía, en el que la incorporación de agua al menos se reduce.

25 El documento WO 00/64825 describe el siguiente procedimiento para producir una fibra óptica. Se fabrica un cuerpo poroso depositando unos productos de reacción sobre un sustrato cilíndrico en un proceso de Deposición Externo de Vapor (OVD). Un agujero de línea central (o "agujero central") que se extiende axialmente a través del cuerpo poroso se forma eliminando el sustrato. El cuerpo hueco obtenido de esta manera es consolidado en una atmósfera con cloro para secar químicamente la pieza en tosco, formando de esta manera la preforma de vidrio consolidada  
30 que presenta un agujero de línea central que se extiende axialmente a través de aquella. La preforma con núcleo de vidrio es a continuación típicamente situada dentro de un horno de reestirar y calentada a una temperatura suficiente para calentar el reestirado o el estiramiento de la preforma con núcleo hasta que adopte un cuerpo o caña del núcleo de vidrio cilíndrico de diámetro más pequeño. Durante la operación de reestirado, el agujero de la línea central de la pieza en tosco con núcleo se cierra, por ejemplo, mediante la aplicación de vacío a lo largo del agujero de la línea central. La reducción de la presión dentro del agujero de la línea central asegura el cierre completo del agujero de la línea central de tal manera que la caña con núcleo presenta una zona de línea central maciza que se extiende axialmente a su través. Después de la etapa de reestirado, la caña con núcleo resultante es típicamente recubierta con una capa de negro de gas de recubrimiento, por ejemplo, depositado por medio de un proceso de OVD. La caña con núcleo recubierto con negro de gas resultante es típicamente secada y consolidada para formar una preforma  
35 de fibra óptica, la cual puede a continuación ser estirada para formar una fibra óptica de guía de ondas.

A pesar de las etapas de secado químico y consolidación, dichas fibras ópticas han mostrado un elevado nivel de atenuación medido en aproximadamente 1380 nm. El pico de agua es en gran medida el resultado de que el agua queda atrapada dentro del vidrio durante el procedimiento de fabricación de la fibra, quedando una porción considerable del agua atrapada dentro de la zona de la línea central de la caña con núcleo antes de o durante el  
45 cierre del agujero de la línea central. De hecho, aunque las piezas en tosco son típicamente secadas y sinterizadas durante la consolidación, se ha descubierto que la zona de vidrio que rodea y define el agujero de la línea central se rehumedece después del secado, sobre todo debido a la exposición a la atmósfera ambiente la cual, de manera inevitable, contiene agua. Esta rehumidificación puede producirse, por ejemplo, cuando la preforma es retirada del horno de consolidación y desplazada hasta el horno de reestirado para ser sometida a las siguientes etapas de  
50 tratamiento. Así mismo, cuanto mayor sea el tiempo de exposición, mayor será la cantidad de agua absorbida por el vidrio.

Para reducir la cantidad de agua atrapada dentro de la zona de la línea central de la caña con núcleo, el documento WO 00/64825 propone o bien impedir la exposición al agua del agujero de la línea central de la preforma seca y consolidada mediante el cierre del agujero central durante la consolidación, o eliminar químicamente el agua  
55 después de que se ha producido la rehumidificación, de modo preferente en el reestirado, tratando el agujero de la línea central con un agente de secado químico, un agente de lavado químico o deuterio.

Con el fin de impedir la rehumidificación del vidrio en contacto con el agujero de la línea central, se propone o bien cerrar el agujero de la línea central o bien cerrar herméticamente el agujero de la línea central durante la consolidación.

- Por lo que se refiere a la solución de cerrar el agujero de la línea central, se describe el siguiente procedimiento.
- 5 Antes de la consolidación de la preforma de negro de gas, un obturador de vidrio es ajustado sobre el extremo del agujero de la línea central opuesto al extremo de la preforma de negro de gas provisto de una empuñadura. Después del secado del cloro, el cuerpo poroso (mantenido en vertical por medio de la empuñadura) es introducido hacia abajo hacia el interior de la zona caliente del horno de consolidación, de modo preferente, en una atmósfera de gas inerte, como por ejemplo helio. La elevada temperatura generada en la zona caliente, de modo preferente de
- 10 cerca de 1500° C sinteriza el cuerpo poroso cuando entra en la zona caliente. Las fuerzas de sinterización dirigidas hacia dentro reducen el diámetro del cuerpo poroso cerrando con ello el cuerpo poroso sobre el obturador para cerrar herméticamente de manera eficaz un extremo del agujero de la línea central. El cuerpo poroso se introduce hacia abajo aún más para sinterizar el resto del cuerpo poroso formando de esta manera una preforma de vidrio sinterizada que presenta un agujero de la línea central cerrado herméticamente por sus extremos obturados.
- 15 Después de la etapa de sinterización, la preforma de vidrio sinterizada es, de modo preferente, retirada de la zona caliente, y el agujero de la línea central queda expuesto a un vacío de al menos 1333,2 Pa, de modo más preferente 13332,2 Pa, por medio de una empuñadura interna que comunica con el agujero de la línea central a través de la empuñadura. La preforma de vidrio sinterizada es de nuevo introducida hacia abajo hasta el interior de la zona caliente del horno de consolidación mientras que el agujero de la línea central es sometido al vacío. Cuando la
- 20 preforma de vidrio sinterizada entra en la zona caliente que se ablanda en la medida suficiente para que la fuerza de vacío que actúa sobre el gas que limita con el agujero de la línea central estire el vidrio hacia dentro, cerrando de esta manera el agujero de la línea central a medida que la preforma de vidrio sinterizada continúa desplazándose a través de la zona caliente.
- La preforma de vidrio sinterizada maciza resultante puede a continuación ser retirada del horno de consolidación y
- 25 almacenada para su ulterior tratamiento en un momento posterior o desplazada hasta un horno de reestirado donde pueda ser estirada hasta adoptar la forma de una caña de diámetro reducido. En cualquier caso, dado que el agujero de la línea central está cerrado (esto es, la preforma de vidrio sinterizada presenta una zona de la línea central maciza), la zona de la línea central no estará expuesta a la atmósfera ambiente y, de esta manera, no se rehumidificará tras la retirada del horno de consolidación.
- 30 El documento WO03011779 divulga un procedimiento de fabricación de una fibra óptica de guía de ondas a partir de una preforma que presenta una abertura de la línea central la cual incluye la reducción de la presión de la abertura de la línea central, incrementando luego la presión de la abertura de la línea central hasta una presión con el fin de mejorar la uniformidad, la circularidad y / o la simetría alrededor de la zona de la abertura de la línea central.
- El Solicitante ha observado que las condiciones del procedimiento requeridas para producir el cierre completo del
- 35 agujero central al final del procedimiento de consolidación son tales que es muy probable la generación de defectos internos en la preforma como burbujas o vacíos.
- El Solicitante ha encontrado entonces que, practicando solo un cierre parcial del agujero central en el horno de consolidación y a continuación completando el cierre del agujero central en la etapa posterior del proceso de estiramiento, el problema de la rehumidificación del agujero central después de la consolidación se reduce en gran
- 40 medida y es muy probable que se produzca la formación de burbujas y vacíos. El cierre parcial del agujero central se consigue sometiendo la preforma del núcleo a un tratamiento térmico adicional después de las etapas de secado y consolidación en el horno, sin la presión de la preforma del horno entre la consolidación y el tratamiento térmico posterior.
- De hecho, el hundimiento del agujero central durante el estiramiento, esto es con la ayuda de los esfuerzos hacia
- 45 dentro debidos a la contracción del diámetro global, es mucho más eficaz para evitar la formación de burbujas o vacíos en la fibra. Al mismo tiempo, incluso sin el cierre o sellado completo del agujero central antes de la extracción del horno de consolidación de la preforma, la reducción del diámetro del agujero determina que la contaminación de OH después de la extracción del horno sea muy baja, y de esta forma pueden obtenerse fibras con una atenuación de pico final inferior a 0,35 dB / km,
- 50 Incluso con respecto al procedimiento convencional en el que el cierre del agujero central se lleva completamente a cabo durante el estiramiento, el Solicitante ha observado que hay una reducción sensible de los defectos internos. Esto se debe presumiblemente al hecho de que, en el procedimiento de la presente invención, el estiramiento se lleva a cabo sobre una preforma que presenta un agujero central de diámetro reducido y el esfuerzo experimentado por el cuerpo del vidrio es, por tanto, menor.
- 55 Debe subrayarse que la reducción de la aparición de los defectos internos de las fibras ópticas es un elemento relevante para la producción industrial, dado que permite la reducción de desechos y operaciones y la obtención de unas longitudes de fibra mayor.

- De acuerdo con la presente invención, tras la consolidación de la preforma del núcleo en la zona caliente de un horno, la preforma es extraída de la zona caliente pero no del horno, para evitar la exposición a la atmósfera que contiene agua. El agujero central es, a continuación, expuesto a un vacío por medio de la empuñadura dispuesta sobre la parte superior de la preforma consolidada. Después de elevar la temperatura de la zona caliente a una temperatura de fusión del vidrio, la preforma de vidrio es de nuevo introducida hacia abajo hacia el interior de la zona caliente a una velocidad predeterminada. En dichas condiciones el vidrio se ablanda lo suficiente para conseguir una reducción significativa del radio interno del agujero central, sin que dicho agujero se cierre, y sin ningún estiramiento significativo de toda la preforma debido a la gravedad, gracias a la presión hacia dentro y a la tensión superficial del vidrio.
- 5
- 10 El Solicitante ha verificado que las fibras ópticas con una atenuación a 1383 nm menor de 0,35 dB / km pueden obtenerse en la actualidad con el procedimiento divulgado. Así mismo, se obtiene una reducción considerable de los efectos en el núcleo de la fibra final (por ejemplo burbujas, vacíos).
- La presente invención se refiere, por tanto, a un procedimiento de producción de una preforma con núcleo de vidrio con una fibra óptica de pérdida débil (o de atenuación débil), comprendiendo el procedimiento:
- 15
- la producción de una preforma con núcleo de negro de gas mediante deposición química sobre un sustrato;
  - la retirada del sustrato de la preforma con núcleo de negro de gas, formando de esta manera un agujero central a lo largo de la preforma de negro de gas;
  - el secado y consolidación de la preforma con núcleo de negro de gas dentro de un horno para formar la preforma con núcleo de vidrio; y
- 20
- el estiramiento de la preforma con núcleo de vidrio:
- en el que la etapa de secado y consolidación comprende la reducción del diámetro del agujero central sin la extracción del horno de la preforma con núcleo de vidrio y la etapa de estiramiento comprende el cierre del agujero central, estando dicho procedimiento caracterizado porque el diámetro del agujero central al final de la etapa de secado y consolidación es de entre 0,05 mm y 0,4 mm.
- 25 De modo preferente, la etapa de reducción del diámetro del agujero central comprende la reducción de la presión dentro del agujero central y el sometimiento de la preforma con núcleo de vidrio a una temperatura suficiente para ablandar el vidrio.
- El diámetro del agujero central al final de la etapa de secado y consolidación es, de modo más preferente, entre 0,05 mm y 0,2 mm. De modo ventajoso, el diámetro del agujero central al final de la etapa de secado y consolidación es como mucho de 1: 10 de un diámetro inicial del agujero central.
- 30
- La etapa de secado y consolidación incluye, de modo ventajoso, el secado de la preforma con núcleo de negro de gas a una primera temperatura, la consolidación de la preforma con núcleo de negro de gas deshidratada y a una segunda temperatura más elevada que la primera temperatura y el sometimiento de la preforma con núcleo consolidada a una tercera temperatura más alta que la segunda temperatura para la reducción de dicho diámetro.
- 35 Con mayor detalle, la etapa de secado y consolidación comprende de modo preferente, en secuencia, las siguientes etapas:
- el secado de la preforma del núcleo de negro de gas en una primera zona del horno,
  - el desplazamiento de la preforma con núcleo de negro de gas seca desde la primera zona hasta una segunda zona del horno,
- 40
- la consolidación de la preforma con núcleo de negro de gas dentro de la segunda zona,
  - el desplazamiento de la preforma con núcleo consolidada desde la primera zona hasta la segunda zona,
  - la reducción de la presión en el agujero central,
  - el aumento de la temperatura en la segunda zona hasta una temperatura suficiente para ablandar el vidrio,
  - el desplazamiento de la preforma con núcleo consolidada desde la primera zona hasta la segunda zona,
- 45
- el mantenimiento de la preforma con núcleo consolidada dentro de la segunda zona hasta que el diámetro del agujero central se haya reducido hasta un valor deseado, y
  - la retirada del horno de la preforma con núcleo consolidada.

La presión en el agujero central, de modo preferente, se reduce como máximo a 200 milibares, de modo más preferente, como mucho a 100 milibares.

5 Para reducir la presión en el agujero central, un miembro con una temperatura de fusión baja es ajustado a un extremo inferior del vidrio con agujero central antes de la etapa de secado, y a continuación, una bomba de vacío extrae gas del agujero central desde uno de sus extremos después de que la preforma con núcleo consolidada haya sido desplazada desde la primera zona hasta la segunda zona.

10 La reducción del diámetro del agujero central comprende de modo ventajoso el sometimiento de la preforma con núcleo de vidrio a una temperatura de entre aproximadamente 1495° C y 1540° C. Este tratamiento térmico se lleva a cabo durante un periodo de tiempo predeterminado. En particular, la reducción del diámetro del agujero central comprende de modo preferente el sometimiento de la preforma con núcleo con vidrio a una temperatura suficiente para ablandar el vidrio durante un tiempo comprendido entre 1 h y 3 h.

La preforma con núcleo de negro de gas tiene un radio del núcleo y un radio externo, siendo la relación entre el radio del núcleo y el radio externo, de modo preferente, inferior a aproximadamente 0,4.

15 La invención se describe con detalle en las líneas que siguen con referencia a las figuras adjuntas, en las cuales se muestra un ejemplo no restrictivo. En particular:

- la Figura 1 muestra el Perfil del Índice de Refracción (RIP) de una preforma con núcleo obtenida en una etapa intermedia del procedimiento de la presente invención;
- la Figura 2 muestra (no a escala) un horno para la consolidación de una preforma de negro de gas;
- la Figura 3 representa la temperatura dentro del horno, la posición de la preforma y el tiempo de desplazamiento de la preforma durante el procedimiento de secado y consolidación de la preforma con núcleo de negro de gas;
- la Figura 4 muestra una serie de curvas que simulan el comportamiento de la preforma consolidada durante un tratamiento térmico en el que el diámetro del agujero central está reducido;
- la **Figura 5** representa de forma esquemática un dispositivo para el estiramiento de la preforma del núcleo consolidada; y
- 25 - la **Figura 6** muestra la distribución cumulativa (indicada como una frecuencia en el eje geométrico vertical) de la atenuación a 1383 nm para cuatro fibras obtenidas mediante cuatro procedimientos diferentes.

Un procedimiento de producción de una preforma con núcleo de vidrio para una fibra óptica de vidrio de acuerdo con la presente invención incluye las siguientes etapas.

30 En una primera etapa, una pluralidad de sustancias químicas comprendiendo típicamente óxidos de silicio y germanio, es depositada sobre un mandril cilíndrico (típicamente de aluminio) mediante la Deposición de Vapor Externo (OVD) utilizando un aparato de OVD de un tipo conocido (no mostrado). Las sustancias depositadas de esta manera formarán el núcleo de una porción de revestimiento interna de la fibra óptica final. Durante la deposición del negro de gas, el flujo de los reactivos puede ser modificado para obtener un Perfil de Índice de Refracción (RIP) predeterminado.

35 En particular, mediante el control del flujo de los reactivos es posible obtener una relación deseada del radio del núcleo y del radio externo de la preforma con núcleo y una densidad media deseada del negro de gas al final de la etapa de deposición.

40 La relación entre el radio del núcleo y el radio externo puede ser derivada del Perfil del Índice de Refracción (RIP) de la preforma con núcleo la cual, a su vez, puede ser medida sobre las cañas con núcleo (resultantes de la cuarta etapa del procedimiento descrita más adelante) por medio de un analizador apropiado del perfil de la preforma. La Figura 1 muestra el RIP de una caña con núcleo elaborada por el procedimiento expuesto de OVD, medido por un analizador de preformas YORK P106 (la zona en gris no puede ser detectada por el instrumento). El RIP ha indicado sobre el eje horizontal el radio del núcleo (CR) y el radio externo (ER).

45 El Solicitante ha verificado que la relación entre el radio del núcleo y el radio externo debe, de modo preferente, ser inferior a 0,4, de modo más preferente inferior a 0,38, de modo más preferente aún inferior a 0,33, para impedir la contaminación del núcleo y de la zona de recubrimiento interna debida a los OH procedente de la zona de sobrerrecubrimiento.

En la segunda etapa, el mandril es extraído de la preforma con núcleo, dejando un agujero central a lo largo del eje geométrico longitudinal de la preforma con núcleo.

50 En una tercera etapa, descrita a continuación en la presente memoria con referencia a la Figura 2, la preforma 23 con núcleo es sometida a un proceso de secado y consolidación por medio de un aparato 10. El aparato 10 de secado y consolidación comprende un horno 20 y un dispositivo 15 de traslación de la preforma.

- El horno 20 comprende una pared 29 lateral, de modo preferente cilíndrica, un basamento 30 y un sistema de calentamiento no mostrado. La pared 29 lateral delimita por dentro una zona para el tratamiento térmico de la preforma, intuyendo una zona 21 superior y una zona 22 inferior. En uso, el horno 20 es calentado de tal manera que muestra un perfil de temperatura longitudinal no uniforme. En particular, la temperatura en la zona 22 inferior es mayor que en la zona 21 superior, y la zona 21 superior es, por tanto, denominada así mismo "zona caliente". De modo ventajoso, la zona 21 superior y la zona 22 inferior son utilizadas para la deshidratación y consolidación, respectivamente, de la preforma 23.
- El basamento 30 del horno 20 puede estar conectado a un sistema de suministro de gas (no mostrado) a través de uno o más conductos 28.
- La preforma 23 con núcleo está expuesta en un extremo con una empuñadura 25 y el dispositivo 15 de traslación de la preforma comprende un brazo 24 de la empuñadura 25 y para el agarre de la preforma 23 en posición vertical. El dispositivo 15 de traslación de la preforma está indicada para desplazar la preforma en dirección vertical entre una posición superior fuera del horno 20 y una posición inferior dentro de la zona caliente 22 del horno 20. Un paso para el flujo de gas está dispuesto a través del brazo 24 y de la empuñadura 25 para permitir que un gas de secado fluya desde el dispositivo (no mostrado) de suministro de gas hasta el interior del agujero central 26 de la preforma 23.
- El proceso de consolidación y secado se describirá en la presente memoria más adelante con referencia a la **Figura 3**, la cual muestra un perfil 31 típico de temperatura dentro del horno 20, representado como la temperatura (eje vertical izquierdo) vs. la posición axial a lo largo del horno (eje horizontal) medido desde su parte superior. Puede observarse que la temperatura en la zona superior 21 es casi constante (esto es, la zona 21 es una zona casi isotérmica), a continuación se eleva bastante rápidamente pasando por una zona de transición 29 hasta alcanzar su valor máximo en la zona caliente 22.
- La **Figura 3** muestra así mismo, la posición de la preforma 23 (representada por un segmento negro de longitud proporcional a la de la preforma) vs. el tiempo (eje derecho verticales) durante el proceso de deshidratación - consolidación.
- El procedimiento se inicia mediante el acoplamiento del brazo 24 a la empuñadura 25 y mediante la colocación de la preforma 23 en la posición superior por fuera del horno 20. Un tubo cilíndrico 27 fabricado con un vidrio de temperatura de fusión baja es, a continuación, ajustado al agujero 26 central situado en la parte inferior de la preforma 23.
- La preforma 23 es, a continuación, desplazada hacia abajo hasta el interior de la zona 21 superior del horno 20. Uno o más gases de secado, incluyendo típicamente  $Cl_2$ , son alimentados al interior del agujero 26 central a través del brazo 24 y de la empuñadura 25 con el fin de eliminar los iones de hidróxido y las moléculas de agua de la preforma (procedimiento de secado). Por ejemplo, 0,15 l / min de  $Cl_2$  pueden ser alimentados junto con 1,5 l / min de He. Así mismo, un gas inerte, de modo preferente, He, es alimentado a través de los conductos 28 hasta el interior del horno 20. Por ejemplo, 80 l / min de He son alimentados al interior del horno 20 en esta etapa.
- En el diagrama de la **Figura 3**, el número 32 indica la posición de la preforma 23 dentro del horno 20 al inicio del proceso de deshidratación, en el que la preforma 23 está situada en la zona 21 superior (en el ejemplo aquí considerado, el extremo superior de la preforma está situado a aproximadamente 2700 mm de la parte superior del horno 20 y su extremo inferior está situado a aproximadamente 3200 mm de la parte superior del horno 20). La temperatura de la preforma crece en un tiempo relativamente corto con respecto a la temperatura de la curva 31 correspondiente a esa posición, la cual es de aproximadamente 1000° C (con mayor precisión, de aproximadamente 950° C a aproximadamente 1050° C) en el ejemplo ilustrado.
- La preforma 23 es mantenida en esta posición durante un periodo de tiempo predeterminado, como por ejemplo 1 h, para permitir su completa deshidratación. El número 33 indica la preforma 23 al final de este proceso de deshidratación (la misma posición pero con una desviación de tiempo de 60 min con respecto al segmento 32).
- La preforma 23 es, a continuación, desplazada hacia abajo en dirección a la zona 22 caliente para llevar a cabo el proceso de consolidación, de modo preferente a una velocidad constante, por ejemplo 5 mm / min. El número 34 indica una posición intermedia de la preforma 23 durante el descenso, 160 min desde el inicio del proceso en el ejemplo ilustrado. En esta posición intermedia los extremos de la preforma 23 son sometidos a temperaturas muy diferentes, dado que la temperatura del horno 20 varía prácticamente en esa zona (en el ejemplo ilustrado, las temperaturas en los extremos inferior y superior de la preforma 23 son de aproximadamente 1030° C y 1300° C, respectivamente).
- Cuando el extremo interior de la preforma 23 entra en la zona 22 caliente, la preforma 23 inicia la consolidación (esto es, la preforma con núcleo de negro de gas se transforma en una preforma con núcleo vitrificado). Mientras tanto, el tubo 27 de vidrio se funde y cierra herméticamente el extremo inferior del agujero 26 central. En la **Figura 2**, la preforma 23 se representa mediante una línea de puntos al entrar en la zona 22 caliente. En esta etapa, el horno 20 sigue siendo alimentado por un gas inerte, como por ejemplo He, de modo preferente con el mismo caudal que en la etapa de secado. En esta etapa, la temperatura dentro de la zona 22 caliente puede ser, por ejemplo, de aproximadamente 1420° C.

La preforma 23 es desplazada hacia abajo hasta que ha casi completamente cruzado la zona 22, con mayor precisión hasta que su extremo inferior ha salido de la zona caliente hacia abajo y el extremo superior ha entrado en la zona caliente. En el diagrama de la **Figura 3**, el número 35 indica la posición de la preforma 23 en el momento de la conclusión del proceso de consolidación, después de un tiempo de desplazamiento predeterminado dentro de la zona 22. La preforma 23 con núcleo vitrificado es, a continuación, extraída de la zona 22 caliente.

En un procedimiento convencional, la preforma 23 sería completamente retirada del horno 20 y los procesos de secado y consolidación de la preforma con núcleo quedarían concluidos. Una preforma típica tendría, al final de los procesos de secado y consolidación, un diámetro del agujero central de entre 3 mm y 4 mm.

De acuerdo con la presente invención, la preforma 23 no es extraída del horno después del secado y consolidación, y es sometida a un tratamiento térmico adicional dentro del horno 20 para el cierre parcial del agujero 26 central, esto es, para reducir el diámetro del agujero 26 central sin el cierre completo.

Con mayor detalle en lugar de ser extraída del horno 20, la preforma 23 es elevada desde la zona 22 caliente hacia la zona 21 superior, como por ejemplo hasta la posición intermedia 34 de la **Figura 3**. Se crea entonces un vacío dentro del agujero 26 central a través del brazo 24 y de la empuñadura 25 por medio de una bomba de vacío la cual extra el gas del agujero central, para reducir la presión existente en el agujero 26 hasta un valor, de modo preferente, inferior a 200 milibares, de modo más preferente inferior a 100 milibares. Al mismo tiempo la temperatura de la zona 22 caliente se eleva hasta un valor, de modo preferente, de entre 1495° C y 1540° C, de modo más preferente entre 1510° C y 1530° C, por ejemplo 1520° C. Después de la estabilización de la temperatura en la zona 22 caliente (esto es, después de aproximadamente 10 min), la preforma 23 es introducida de nuevo hacia abajo hasta el interior de la zona 22 caliente, por ejemplo hacia abajo de nuevo hasta la posición 35 de la **Figura 3**, a una velocidad, de modo preferente, comprendida entre 3 mm / min y 4 mm / min, por ejemplo de 3,4 mm / min. En esta etapa, el horno 20 sigue siendo alimentado con un gas inerte, de modo preferente He. El caudal de este gas inerte a través de los conductos 28 es, de modo preferente, inferior al caudal en las etapas de secado y consolidación. Un caudal apropiado es, por ejemplo, 20 l / min.

En la zona 22 caliente, el vidrio se ablanda y el agujero 26 central experimenta una reducción de su diámetro debido a la presión hacia dentro y a la tensión superficial del vidrio sin que se produzca ningún estiramiento de la preforma debido a la gravedad. Debido al movimiento descendente, la reducción del diámetro discurre desde el extremo inferior hasta el extremo superior de la preforma. El tiempo de desplazamiento de la preforma 23 a través de la zona 22 caliente (esto es, el tiempo requerido para que un punto dispuesto sobre la preforma cruce completamente la zona caliente) viene predeterminado para obtener la reducción deseada del diámetro del agujero. Después de alcanzar la posición 35, la preforma 23 puede ser mantenida estable durante un tiempo predeterminado, por ejemplo durante 15 min, para compensar el diámetro típicamente mayor inicial del agujero sobre la parte superior de la preforma. A continuación, la preforma 23 es elevada y finalmente retirada del horno 20.

El diámetro del agujero 26 central al final de este tratamiento térmico adicional es inferior a 0,4 mm y mayor de 0,05 mm, de modo preferente, inferior a 0,2 mm y mayor de 0,05 mm. Considerando un diámetro inicial típico de aproximadamente 4 mm, el diámetro final oscila, de modo preferente, entre aproximadamente 1:10 y aproximadamente 1:80 el diámetro inicial, de modo más preferente entre aproximadamente 1:20 y aproximadamente 1:80 el diámetro inicial. Un diámetro mayor de 0,4 mm se traduciría en una contaminación de OH no desdeñable después de la extracción de la preforma 23 del horno 20, mientras que un diámetro inferior a 0,05 mm podría inducir el cierre prematuro del agujero 26.

El diámetro final del agujero alcanzado al final del agujero térmico adicional depende de diferentes parámetros, incluyendo el diámetro inicial del agujero, la temperatura existente en la zona 22 caliente, las presiones existentes dentro del agujero 26 central y del exterior de la preforma 23, y el tiempo de desplazamiento de la preforma 23 dentro de la zona 22 caliente.

Es posible simular la identificación geométrica de la preforma 23 dentro del horno 20 tomando en consideración un cilindro hueco de longitud infinita con un radio interno  $R_1$ , un radio externo  $R_2 \gg R_1$ , una presión  $P_1$  interna y una presión  $P_2$  externa, fabricado con un material con una viscosidad  $\mu$  y una tensión superficial  $\sigma$ . Puede apreciarse que el radio  $R_1$  interno varía con el tiempo tal y como sigue:

$$R_1(t) = \left( R_1(t=0) + \frac{\sigma}{P_2 - P_1} \right) \exp\left( -\frac{(P_2 - P_1)t}{\mu} \right) - \frac{\sigma}{P_2 - P_1}$$

Un valor de servicio de la tensión superficial  $\sigma$  para el vidrio es de 0,3 N / m. La diferencia  $P_2 - P_1$  es próxima a 1 baria. Los datos de la viscosidad para el vidrio de sílice se encuentran disponibles en la literatura pertinente. A 1500° C, la viscosidad es de aproximadamente  $1,4 \cdot 10^8$  kg / (m seg).

La **Figura 4** muestra diferentes curvas asociadas con la evolución del radio  $R_1$  interno vs. la temperatura T en la zona 22 caliente, en diversos tiempos de desplazamiento de la preforma 23 dentro de la zona 22 caliente:

- curva 41: 10 minutos
- curva 42: 1 hora
- curva 43: 2 horas
- curva 44: 3 horas

5 Un conjunto de curvas como las incluidas en la **Figura 4** puede fácilmente obtenerse empíricamente para cualquier horno específico por parte del experto en la materia.

Una vez seleccionado un rango de valores deseado para el diámetro final y un rango apropiado para la temperatura T de la zona 22 caliente, la **Figura 4** permite la identificación de una curva apropiada. Por ejemplo, mediante la elección de un diámetro final del agujero de entre 0,05 mm y 0,2 mm y una temperatura de la zona caliente de entre 1495° C y 1525° C, puede ser trazada una cuadrícula 49 rectangular en el diagrama y todas las curvas que cruzan esta cuadrícula identifican tiempos de desplazamiento apropiados. En el sistema actual, las intersecciones de la cuadrícula 49 con las curvas 42 y 44, muestran que un tiempo de desplazamiento apropiado oscila entre 1 hora y 3 horas.

15 Los parámetros del procedimiento deben ajustarse para conseguir la reducción deseada del diámetro sin el cierre completo del agujero 26 central con el fin de impedir la formación de vacíos, burbujas o defectos similares. La zona de la cuadrícula 49 se caracteriza, así mismo, por una pendiente reducida de las curvas, lo que significa una sensibilidad reducida a las condiciones del procedimiento (tiempo y temperatura).

Como cualquier persona experta en la materia puede comprender, diferentes rangos de t podrían ser apropiados con un cambio pertinente del tiempo de desplazamiento dentro de la zona 22 caliente.

20 En una cuarta etapa, la preforma 23 consolidada con núcleo es sometida a un proceso de estiramiento por medio de un aparato de estiramiento mostrado de forma esquemática en la **Figura 5** y que se indica con el número de referencia 50.

25 El aparato 50 de estiramiento incluye un horno 51 vertical, un dispositivo de alimentación de la preforma (no mostrado) para alimentar la preforma 23 dentro del horno 51, y un dispositivo 53 de tracción para traccionar hacia abajo el material enfriado.

El proceso de estiramiento incluye la creación de un vacío dentro del agujero central con diámetro reducido a través de la empuñadura de la preforma 23 (tal y como se describe, por ejemplo, en el documento US 4,810,876) y el descenso de la preforma 23 hasta el interior del horno 51 vertical para fundir su extremo inferior.

Las condiciones posibles del proceso son las siguientes:

- 30
- vacío: 1 milibar;
  - temperatura del horno 51: 1920 a 1980° C;
  - velocidad de tracción: 25 cm / min

35 La fusión del extremo inferior de la preforma 23 y del vacío dentro del agujero 26 central provoca que las paredes del agujero 26 central se hundan hasta cerrarse completamente. El material de vidrio fundido que sale del horno se enfría, formando un miembro 54 de vidrio alargado cilíndrico con un diámetro predeterminado, el cual es estirado hacia abajo por el dispositivo 53 de tracción. El dispositivo de tracción puede ser del tipo descrito en el documento WO 01/49616, el cual está indicado para imprimir una torsión al miembro 54 de vidrio alargado durante el estiramiento produciendo de esta forma un miembro a modo de vástago con un elevado grado de rigidez.

40 Después del enfriamiento, el miembro 54 de vidrio alargado es cortado en una pluralidad de vástagos llamados "vástagos con núcleo" o "cañas con núcleo".

Las etapas siguientes conducen a una fibra óptica.

45 En una quinta etapa, cada vástago o núcleo es utilizado como un sustrato para un procedimiento adicional de la deposición química OVD de tipo conocido, designado en la presente memoria a continuación como "proceso de recubrimiento". El proceso de recubrimiento comprende la deposición de SiO<sub>2</sub> sobre el vástago con núcleo, para formar una porción exterior de la preforma que definirá una posición exterior de recubrimiento de la fibra final. Este proceso de deposición final puede ser llevado a cabo de acuerdo con lo descrito en el documento WO 03/045861. El resultado de esta etapa es una preforma final que presenta la superficie exterior del recubrimiento final sobre el núcleo.

50 En una sexta etapa, identificada en la presente memoria como "proceso de recubrimiento de deshidratación - consolidación" o proceso de consolidación de la preforma final, la preforma final es secada y consolidada mediante

un procedimiento similar al de la tercera etapa, obteniendo de esta manera una preforma final vitrificada. El mismo aparato utilizado para la tercera etapa (aparato 10) puede ser también utilizado para esta etapa.

5 En el proceso de consolidación de la preforma final,  $Cl_2$  es alimentado junto con He dentro del horno a través del tubo inferior 28, mientras la preforma 23 es desplazada hacia abajo a una velocidad predeterminada. Valores preferentes de los parámetros del proceso son los siguientes:

- caudal de  $Cl_2$ : entre 0,85 l / min y 1,7 l / min;
- caudal de He: entre 20 l / min y 30 l / min;
- velocidad de la preforma en el descenso: entre 5 mm / min y 7 mm / min;
- temperatura de la zona 21 (isotérmica): entre 1000° C y 1100° C;
- 10 • temperatura de la zona 22 caliente: entre 1480° C y 1530° C.

En una séptima (y última) etapa, la preforma final es estirada en unas pertinentes torres de estiramiento de tipo conocido, en la que la preforma final es alimentada, a lo largo de una dirección vertical a un horno, para obtener la fusión de su porción inferior. El material fundido es a continuación estirado y enfriado para obtener una fibra óptica con las características deseadas.

### 15 Ejemplo

El Solicitante ha comparado la atenuación de cuatro fibras diferentes  $F_1, F_2, F_3$  y  $F_4$ , que difieren con respecto a las características de la preforma con núcleo, con respecto a las condiciones del proceso de consolidación de la preforma con núcleo y con respecto a las condiciones en el proceso de consolidación de la preforma final.

20 La característica de la preforma con núcleo que ha sido modificada (mediante la modificación del flujo de los reactivos en el proceso de deposición) es la relación entre el radio del núcleo y el radio externo.

De acuerdo con lo mencionado con anterioridad, la relación entre el radio del núcleo y el radio externo puede derivarse del Perfil del Índice de Refracción (RIP) de la preforma con núcleo, el cual puede ser medido sobre la caña con núcleo por medio de un analizador del perfil de la preforma apropiado.

25 Una primera preforma con núcleo, la cual será designada como "preforma E con núcleo", ha sido producida con una relación entre el radio del núcleo y el radio externo de 0,38. Una segunda preforma con núcleo, la cual será designada como "preforma F con núcleo", ha sido producida con una relación entre el radio del núcleo y el radio externo de 0,04.

30 La preforma F con núcleo se considera más sometida a la contaminación de OH a partir del recubrimiento que la preforma E con núcleo, dado que es más fácil que los iones de OH recogidos en la zona de recubrimiento y todavía presentes después del secado y consolidación, alcancen la zona del núcleo durante el proceso de estiramiento a alta temperatura.

35 El proceso de consolidación de la preforma con núcleo ha sido primeramente llevado a cabo de forma convencional, esto es, sin ninguna reducción del diámetro del agujero. El proceso convencional será designado como "consolidación de la preforma con núcleo A"; el proceso de acuerdo con la presente invención será designado como "consolidación con preforma del núcleo B".

40 El proceso de consolidación de la preforma final ha sido llevado a cabo en dos condiciones diferentes, las cuales serán designadas como "consolidación de preforma final C" y "consolidación de preforma final D". En la consolidación de preforma final C, 0,85 l / min de  $Cl_2$  en 25 l / min de He han sido alimentados desde la tubería 28 inferior, la preforma 23 fue desplazada hacia abajo a una velocidad de 7 mm / min, y la zona 21 isotérmica y la zona 22 caliente se dispusieron a 1000° C y 1500° C, respectivamente. En la consolidación de la preforma final D, 1,7 l / min de  $Cl_2$  en 25 l / min de He fueron alimentados desde la tubería 28 inferior, la preforma 23 fue desplazada hacia abajo a una velocidad de 5 mm / min, y la zona 21 isotérmica y la zona 22 caliente fueron dispuestas a una temperatura 1100° C y 1500° C, respectivamente.

Las fibras  $F_1, F_2, F_3$  y  $F_4$  fueron fabricadas de acuerdo con lo señalado en la Tabla I.

45

Tabla I

	preforma con núcleo	consolidación de la preforma con núcleo	consolidación de la preforma final
F <sub>1</sub>	F	A	C
F <sub>2</sub>	F	B	C
F <sub>3</sub>	E	B	C
F <sub>4</sub>	E	B	D

La **Figura 6** muestra la distribución cumulativa de la atenuación de pico a 1383 nm para las fibras F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub> y F<sub>4</sub>. Los resultados se resumen en términos de valores medios en la Tabla II, junto con las medias a 1310 nm.

5

Tabla II

	at @ 1383 nm	at @ 1310 nm
F + A + C	0,59	0,336
F + B + C	0,49	0,332
E + B + C	0,38	0,327
E + B + D	0,32	0,326

Puede apreciarse que la reducción del agujero central en el proceso (B) de consolidación de la preforma con núcleo permite reducir de forma sensible la atenuación de la señal a 1310 nm y 1383 nm, mientras que mejoras adicionales se consiguen mediante la elección apropiada de las características de la preforma con núcleo (E mejor que F) y las condiciones en el proceso de consolidación de la preforma final (D mejor que C).

10

Con respecto a los defectos internos de la fibra, tal y como se han detectado en el proceso de estiramiento, una diferencia significativa se puede apreciar entre las preformas obtenidas a partir de los procesos A y B, con independencia del RIP de la preforma y del proceso de consolidación de la preforma final. En particular, el número de defectos detectados en las preformas a partir del proceso B es inferior a la mitad de los encontrados en las preformas obtenidas a partir del proceso A.

15

**REIVINDICACIONES**

1.- Procedimiento de producción de una preforma (54) con núcleo de vidrio para una fibra óptica de atenuación débil, comprendiendo dicho procedimiento:

- la producción de una preforma con núcleo de negro de gas mediante deposición química sobre un sustrato;
- 5     • la retirada de la preforma con núcleo de negro de gas del sustrato, formando de esta manera un agujero (26) central a lo largo de la preforma (23) de negro de gas,
- el secado y la consolidación de la preforma (23) con núcleo de negro de gas dentro de un horno (20) para formar la preforma (23) con núcleo de vidrio, y
- el estiramiento de la preforma (23) con núcleo de vidrio;
- 10    en el que la etapa de secado y consolidación comprende la reducción del diámetro del agujero (26) central sin la extracción del horno (20) de la preforma con núcleo de vidrio y la etapa de estiramiento comprende el cierre del agujero (26) central, estando dicho procedimiento **caracterizado porque** el diámetro del agujero (26) central al final de la etapa de secado y consolidación oscila entre 0,05 ml y 0,4 ml.

15    2.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la etapa de reducción del diámetro del agujero (26) central comprende la reducción de la presión dentro del agujero (26) central y el sometimiento de la preforma (23) con núcleo de vidrio a una temperatura suficiente para ablandar el vidrio.

3.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el diámetro del agujero (26) central al final de la etapa de secado y consolidación oscila entre 0,05 ml y 0,2 ml.

20    4.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el diámetro del agujero (26) central al final de la etapa de secado y consolidación es como máximo de 1:10 de un diámetro inicial del agujero (26) central.

25    5.- Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la etapa de secado y consolidación incluye el secado de la preforma (23) con núcleo de negro de gas a una primera temperatura, la consolidación de la preforma (23) con núcleo de negro de gas deshidratada a una segunda temperatura superior a la primera temperatura y el sometimiento de la preforma (23) con núcleo consolidada a una tercera temperatura superior a la segunda temperatura para reducir dicho diámetro.

6.- Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 4, en el que la etapa de secado y consolidación comprende la siguiente secuencia de etapas:

- el secado de la preforma con núcleo de negro de gas en una primera zona (21) del horno (20),
- el desplazamiento de la preforma con núcleo de negro de gas secada desde la primera zona (21) hasta una
- 30     segunda zona (22) del horno (20),
- la consolidación de la preforma (23) con núcleo de negro de gas dentro de la segunda zona (22),
- el desplazamiento de la preforma (23) con núcleo consolidada desde la segunda zona (22) hasta la primera zona (21),
- la reducción de la presión existente en el agujero (26) central,
- 35     • el aumento de la temperatura dentro de la segunda zona (22) hasta una temperatura suficiente para ablandar el vidrio,
- el desplazamiento de la preforma (23) con núcleo consolidada desde la primera zona (21) hasta la segunda zona (22),
- el mantenimiento de la preforma (23) con núcleo consolidada dentro de la primera zona (22) hasta que el
- 40     diámetro del agujero (26) central haya disminuido hasta un valor deseado, y
- la retirada de la preforma con núcleo consolidada del horno (20).

7.- Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 2 o 6, en el que la presión se reduce a un máximo de 200 milibares.

8.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la presión se reduce a un máximo 100 milibares.

- 9.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la reducción del diámetro del agujero (26) central comprende el sometimiento de la preforma (23) con núcleo de vidrio a una temperatura de entre aproximadamente 1495° C y 1540° C.
- 5 10.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la reducción del diámetro del agujero (26) central comprende el sometimiento de la preforma (23) con núcleo de vidrio a una temperatura suficiente para ablandar el vidrio durante un periodo de tiempo comprendido entre 1 h y 3 h.
- 11.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la preforma (23) con núcleo de negro de gas presenta un radio del núcleo y un radio externo, siendo la relación del radio del núcleo del radio externo menor que 0,4.
- 10 12.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, que comprende asimismo el ajuste de un miembro a temperatura de fusión baja sobre un extremo inferior del vidrio del agujero central antes de la etapa de secado y en el que la reducción de la presión dentro del agujero (26) central comprende la extracción del gas del agujero (26) central desde un extremo superior de aquél.

15

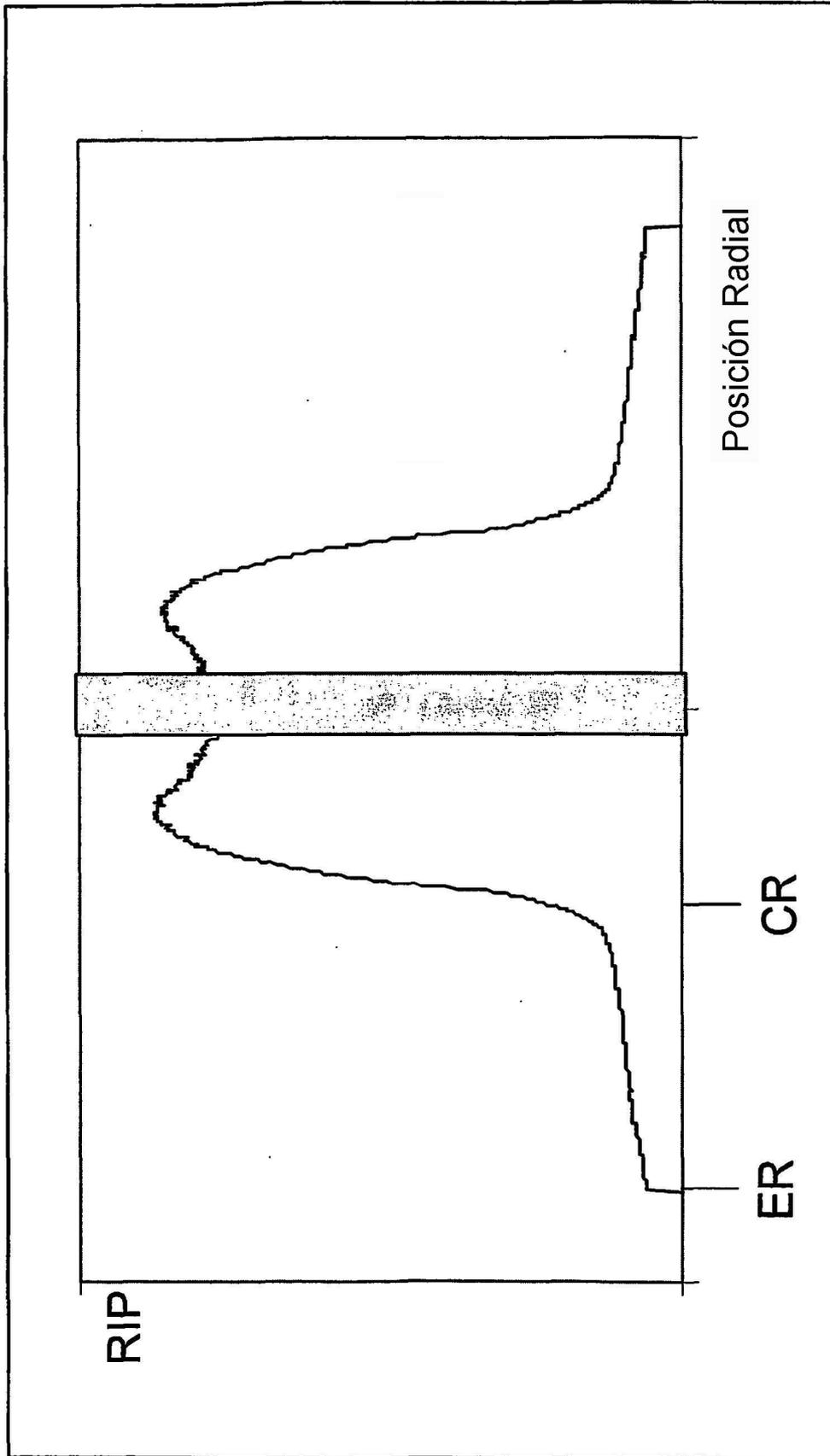


Fig. 1

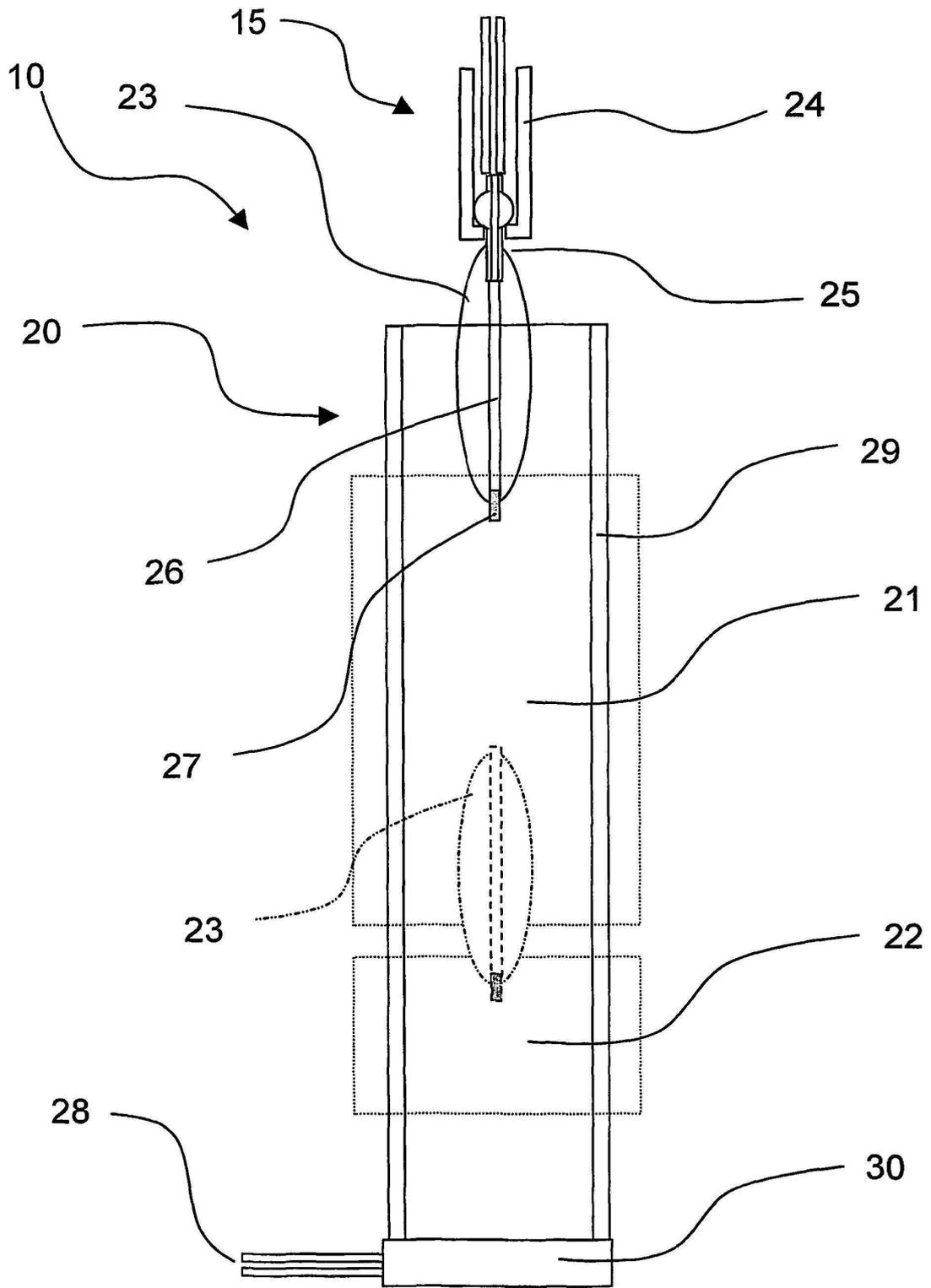


Fig. 2

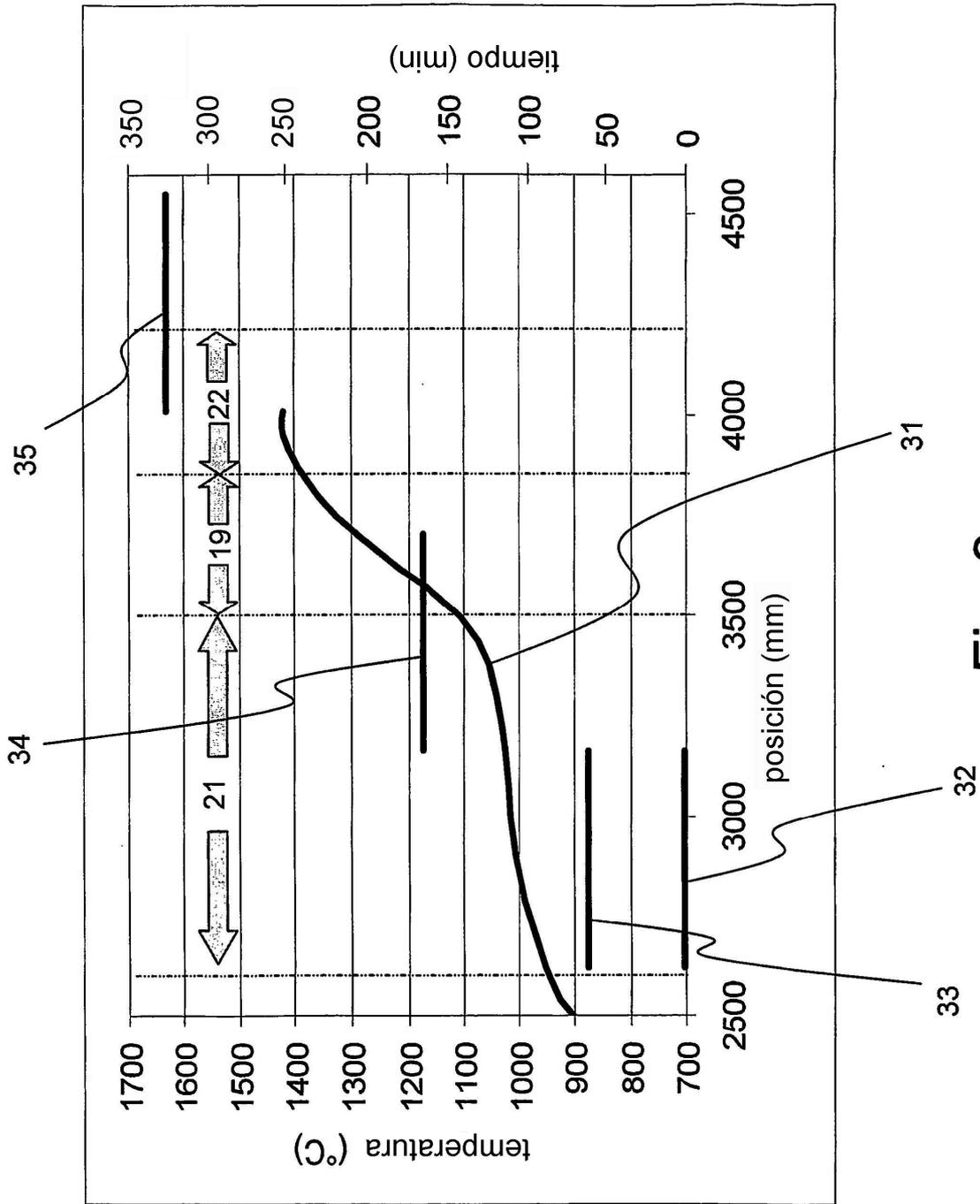


Fig. 3

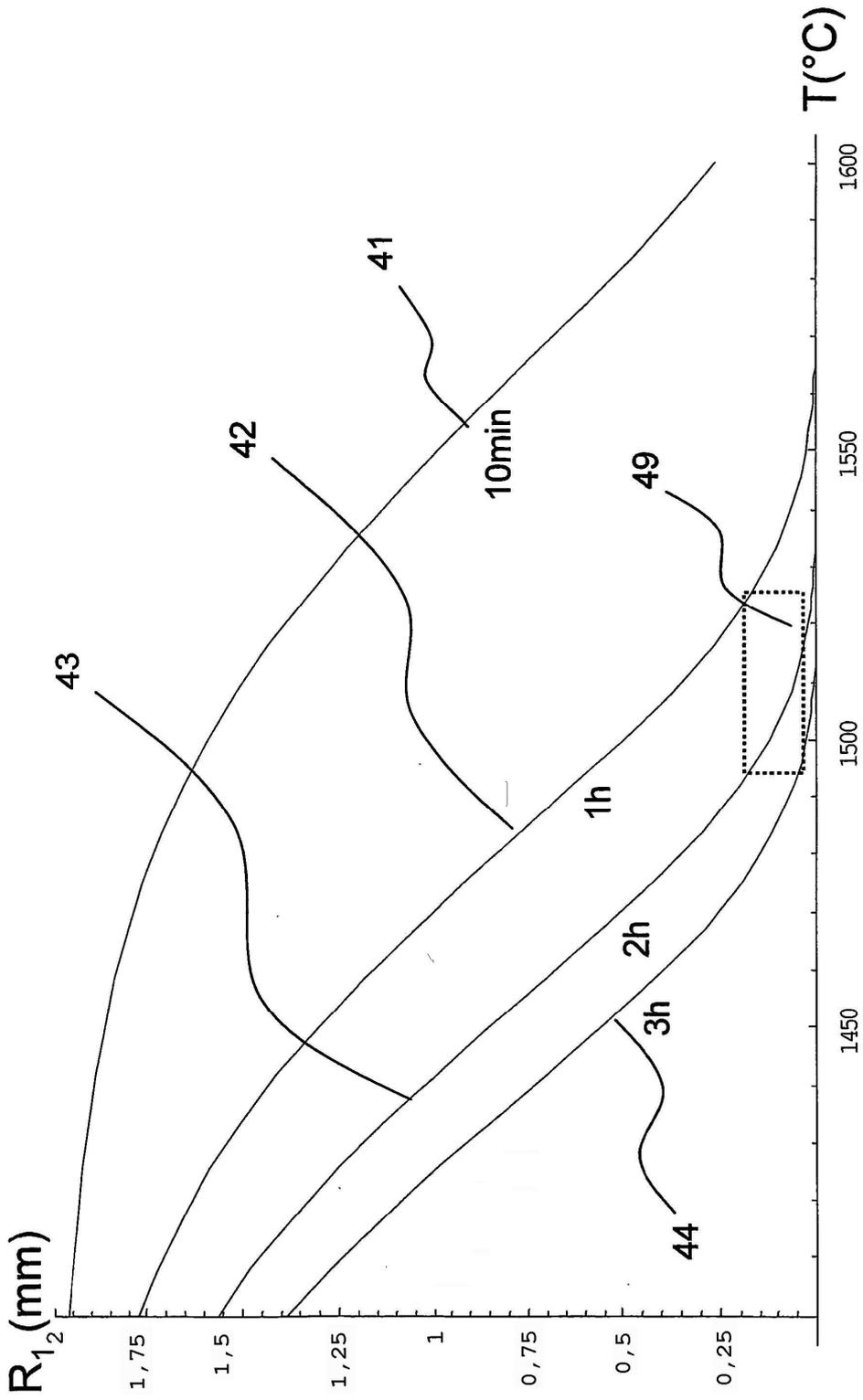


Fig. 4

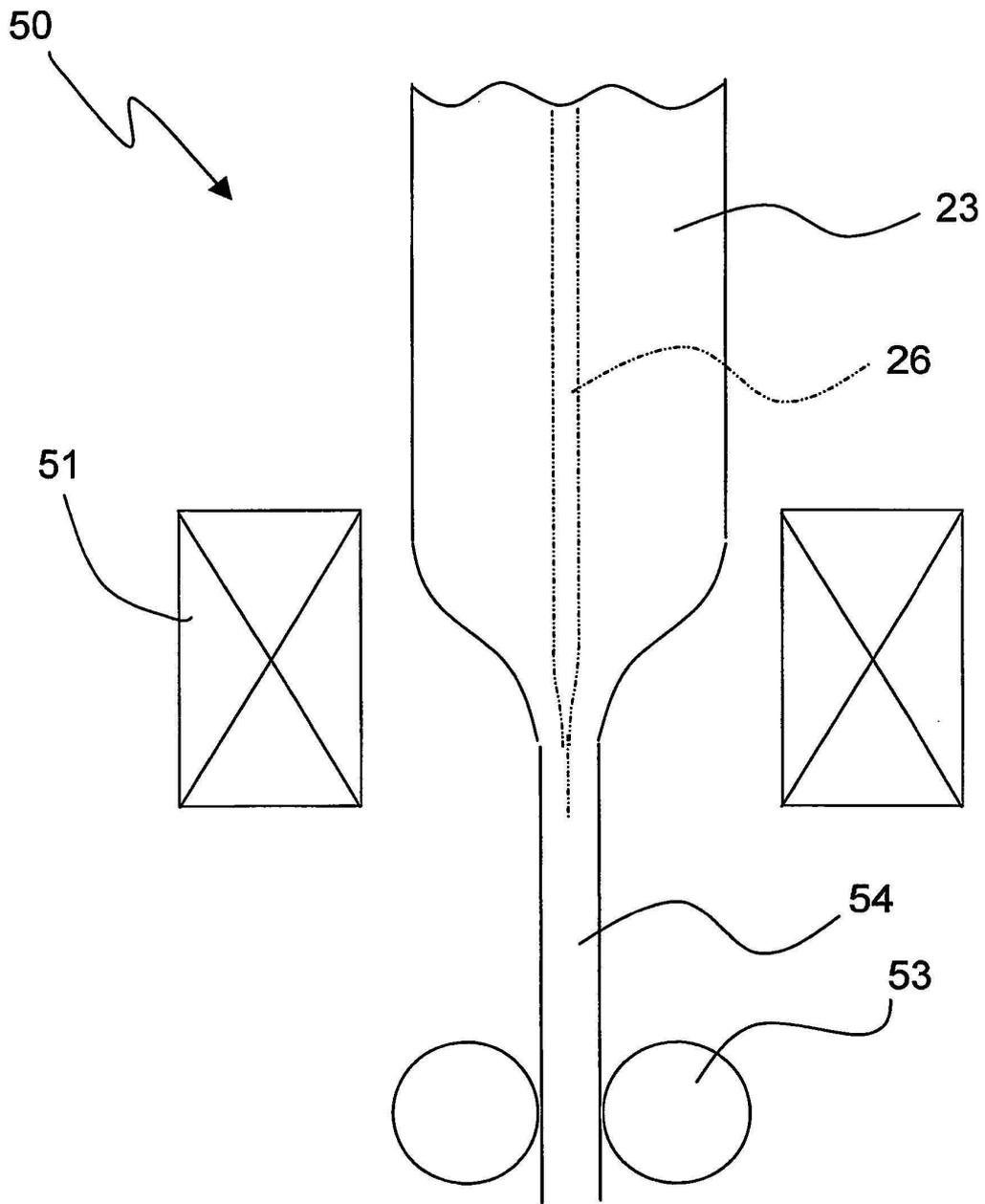


Fig. 5

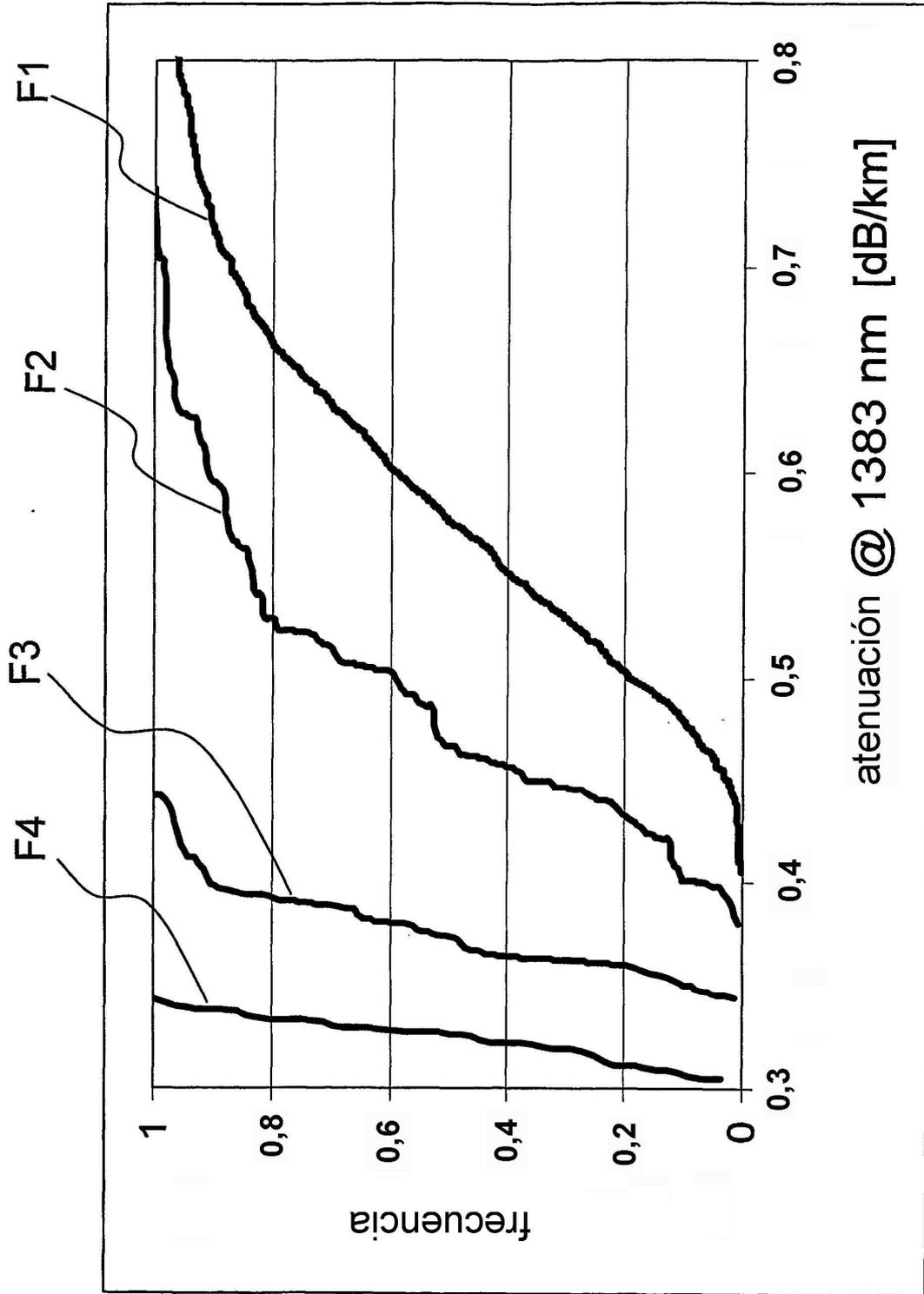


Fig. 6