

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 710 110**

51 Int. Cl.:

G02B 6/10 (2006.01)

C03B 37/02 (2006.01)

C03B 37/03 (2006.01)

C03B 37/027 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.06.2006 PCT/EP2006/063454**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.12.2007 WO07147440**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.06.2006 E 06763847 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.11.2018 EP 2033029**

54 Título: **Fibra óptica que tiene función de hilado sinusoidal**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.04.2019

73 Titular/es:
PRYSMIAN S.P.A. (100.0%)
Via Chiese, 6
20126 Milano, IT

72 Inventor/es:
SARCHI, DAVIDE y
FERRARIO, MADDALENA

74 Agente/Representante:
CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 710 110 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

Fibra óptica que tiene función de hilado sinusoidal

Antecedentes de la invención**Campo de la invención**

- 5 La presente invención se refiere en general al campo de las fibras ópticas, y procedimientos de fabricación de los mismos. Más particularmente, la presente invención se refiere a un procedimiento para fabricar fibras ópticas que presenta una dispersión en modo de baja polarización.

Descripción de la técnica relacionada

10 Las señales ópticas transmitidas a través de fibras ópticas monomodo comprenden dos modos de polarización ortogonales, generalmente denominados Eléctrico Transversal (TE) y Magnético Transversal (TM). En caso de que la fibra tenga un núcleo perfectamente cilíndrico de diámetro uniforme, los dos modos TE y TM se propagan a una velocidad común (es decir, tienen las mismas constantes de propagación $\beta_1 = \beta_2$). Sin embargo, en las fibras ópticas de la vida real, la simetría cilíndrica del núcleo de la fibra puede romperse debido a defectos de forma o tensiones no uniformes. Como resultado, el índice de refracción depende del estado de polarización, y los dos modos TE y TM exhiben diferentes constantes de propagación $\beta_1 \neq \beta_2$. Una diferencia de fase se acumula entre los dos modos de polarización a medida que se propagan a lo largo de la fibra, y se dice que la fibra exhibe "birrefringencia" (o, de manera equivalente, la fibra se denomina "birrefringente"). Se proporciona una indicación de la birrefringencia de la fibra por la diferencia de valor absoluto $\Delta\beta = |\beta_1 - \beta_2|$ entre las dos constantes de propagación β_1 y β_2 para los dos modos TE y TM. En particular, la birrefringencia introducida por la forma y la asimetría de la tensión se conoce como "birrefringencia intrínseca".

15 Las irregularidades estructurales y geométricas de la fibra óptica que dan lugar a la birrefringencia típicamente proceden de la propia preforma de fibra, y se modifican durante el proceso de estirado de la fibra. Este proceso generalmente se lleva a cabo por medio de un aparato conocido como "torre de estirado", a partir de una preforma de vidrio. En la práctica, después de que la preforma se haya colocado en posición vertical y se haya calentado a una temperatura por encima del punto de reblandecimiento dentro de un horno adecuado, el material fundido se arrastra hacia abajo a una velocidad controlada, de tal manera que produce un elemento parecido a un hilo que forma la fibra óptica. En este proceso, las tensiones asimétricas se aplican típicamente a la fibra.

20 En una fibra birrefringente, los dos componentes TE y TM del modo óptico fundamental se propaga a través de la fibra, supone que estar inicialmente en fase entre sí, volver a estar en fase de nuevo sólo después de una cierta longitud de propagación, comúnmente conocido como la "longitud de batido" (L_B). En otras palabras, la longitud del batido indica el período de repetición de un cierto estado de polarización (en el supuesto de que la fibra mantiene una birrefringencia constante en esta longitud). La longitud del batido L_B depende de la birrefringencia, y en particular es: $L_B = 2\pi/\Delta\beta$. Por lo tanto, cuanto más alta es la birrefringencia, más corta es la longitud del batido.

25 Aparte de una clase restringida de fibras, conocidas como fibras ópticas "que conservan la polarización" o "que mantienen la polarización", en las que la asimetría se introduce deliberadamente para generar birrefringencia, la birrefringencia es normalmente perjudicial para el rendimiento de la fibra óptica.

30 De hecho, cuando las señales pulsadas se transmiten a través de una fibra óptica, la birrefringencia es una causa de pulso de ensanchamiento, ya que los dos componentes de polarización, TE y TM, de la señal de recorrido a diferentes velocidades de grupo, y se dispersan. Este fenómeno, conocido como "dispersión de modo de polarización" (en breve, PMD), ha sido ampliamente estudiado en los últimos años debido a su importancia en los sistemas de guía de luz amplificados periódicamente.

35 Típicamente, el fenómeno de PMD conduce a una limitación de la anchura de la banda de transmisión de la señal y, en consecuencia, una degradación del rendimiento de las fibras ópticas a lo largo de las que se transmiten las señales antes mencionadas. Por lo tanto, este fenómeno es indeseable en los sistemas de transmisión de señales a lo largo de las fibras ópticas, especialmente en aquellos que operan en largas distancias, en los cuales es necesario minimizar cualquier forma de atenuación o dispersión de las señales para garantizar altos rendimientos en transmisión y recepción.

40 Una conocida forma de producir fibras ópticas con una reducción de la PMD es incluir una etapa de hilado de fibras durante el paso de estirado de la fibra. Para los propósitos de la presente descripción, el término "hilado" identifica una torsión que se congela durante el estirado de la fibra, se aplica a una porción viscosa de la fibra y se mantiene como una modificación estructural de la fibra después del enfriado.

45 Los beneficios que se derivan de hilar la fibra durante el estirado se describen por ejemplo en la solicitud de patente del Reino Unido GB-A-2101762: en ese documento, se discute que el hilado se realiza a una velocidad relativamente alta, de modo que su frecuencia de repetición espacial, o período de hilado es pequeño en comparación con la longitud de batido de la fibra L_B ; como resultado, una fibra óptica "hilada" presenta una

contribución reducida de birrefringencia debido a las asimetrías de forma y tensión.

Debido al hilado, la fibra bajo estirado experimenta una rotación de sus ejes de polarización. Como resultado, cuando los pulsos ópticos se transmiten a la fibra óptica, se propagan alternativamente en los ejes de birrefringencia lenta y rápida, compensando así el retardo de propagación relativo y reduciendo la propagación del pulso. Esto es cualitativamente equivalente a tener un índice de refracción efectivo local para los pulsos ópticos igual al índice de refracción promedio en los dos ejes, el promedio se toma sobre la longitud del pulso a lo largo de la fibra. Los estudios teóricos han demostrado que el proceso dominante para la reducción de la PMD en una fibra hilada es el promedio de la anisotropía local de la fibra mediante la rápida procesión de los ejes de asimetría a lo largo de la fibra.

5 Se han propuesto varias funciones de hilado en la técnica. Por ejemplo, en la solicitud de patente británica GB-A-2,101,762 citada anteriormente se afirma que la preforma puede hilar a una velocidad sustancialmente constante, pero incluso podría invertir la dirección, oscilando desde un hilado hacia la derecha hasta un hilado hacia la izquierda. La patente estadounidense US 4.504.300 aborda los inconvenientes relacionados con la rotación de la preforma y propone una técnica de hilado que consiste en rotar la fibra, en lugar de la preforma, durante el estirado de la fibra. La patente estadounidense US 5.418.881 propone imprimir el hilado a la fibra alternativamente en sentido horario y antihorario. El hilado alternativo también se propone en la solicitud de patente estadounidense US2001/0020374, como se prefiere al hilado unidireccional, ya que evita la presencia de torsiones de fibras residuales (es decir, de retorcimientos de fibras residuales) en las fibras enrolladas en el carrete colector, por lo tanto, facilitando las operaciones de desenrollado y cableado de las mismas.

10 En la solicitud internacional publicada WO 2004/058654, se describe un procedimiento en el que un hilado sustancialmente sinusoidal se aplica a una fibra óptica mientras se estira. La frecuencia de la función de hilado, la longitud de la zona viscosa de la fibra que se estira y la velocidad de estirado son tales que cada porción de fibra óptica, mientras se encuentra en el estado viscoso, sufre una torsión y al menos un 50 % de destorsión. De esta manera, la amplitud de la función de hilado congelado (es decir, la torsión impresa permanentemente en la fibra, cuando se enfría, durante el proceso de hilado, como resultado de la deformación torsional sufrida por la zona viscosa del material de la fibra en el horno de estirado) es mucho menor que la amplitud de la función de hilado realmente impartida (es decir, la torsión aplicada efectivamente a la fibra durante el proceso de estirado; la función de hilado realmente impartida corresponde al hilado aplicado a la fibra por un aparato de hilado, menos efectos mecánicos como deslizamiento en la interfaz entre la fibra y el aparato de hilado); sin embargo, a pesar de esto, se logra una reducción significativa de la PMD.

20 En el documento WO 2004/058654 se señala que los experimentos revelaron una diferencia significativa entre la torsión aplicada a la fibra durante el estirado y el congelado en torsión; en particular, la diferencia entre la torsión aplicada y la torsión congelada (ambas expresadas en vueltas *por* metro) es muy pequeña a valores bajos de la frecuencia de la función de hilado, mientras que aumenta con el aumento de la frecuencia de la función de hilado; en otras palabras, la transferencia de una función de hilado a la fibra depende del período de la función de hilado: cuanto más largo sea el período de la función de hilado, mayor será la amplitud de hilado transferida, con un máximo diferente en un valor de período determinado. En particular, refiriéndose a las figuras 4 y 5 de la solicitud citada, y denotando la frecuencia de la función de hilado, L la longitud de la zona viscosa, V la velocidad de estirado y k un parámetro adimensional igual a la relación $\rho VL/\mu$, siendo ρ la densidad del material de la fibra y μ su viscosidad en la zona viscosa, las líneas etiquetadas " $k < \infty$ " muestran que la diferencia entre la torsión aplicada y la torsión congelada es sustancialmente nula para valores pequeños de VL/V , mientras que aumenta con el aumento de los valores de VL/V , con una diferencia máxima en un determinado valor de VL/V .

35 En la solicitud internacional publicada WO 2002/03115 se describe que las funciones de hilado se pueden optimizar para reducir la PMD, dependiendo de la longitud de batido de la fibra. En particular, si el período de hilado es más largo que la duración del ritmo, la función de hilado se optimiza solo para esa longitud de tiempo. Por el contrario, si el período de hilado es más corto que la longitud del tiempo, la función de hilado sigue siendo la óptima también para diferentes longitudes de tiempo. Como la longitud del batido de la fibra en general no se conoce antes de estirar la fibra, y varía a lo largo de la fibra, se prefieren las funciones de hilado optimizadas con periodos de hilado cortos. En particular, del documento WO 2002/03115 se puede deducir que la longitud del batido de una fibra óptica no se ve afectada por el proceso de hilado, ya que solo depende de la birrefringencia de la fibra (en ese documento se indica que en una producción comercial de fibras ópticas del mismo tipo, es decir, que tienen sustancialmente el mismo perfil de índice de refracción y están fabricadas por el mismo proceso de producción, generalmente se puede determinar una longitud de batido esperada, antes del estirado de la fibra óptica, de forma estadística o por DGD - retraso de grupo diferencial (medidas en la fibra sin hilar). El documento WO 2002/03115 también establece que, ventajosamente, el período p de la función de hilado se puede elegir para que sea más bajo que la longitud de batido de fibra esperada: en tal caso, los inventores han encontrado que la variabilidad con respecto a la longitud de batido de fibra de los parámetros de la función de hilado útiles para obtener un DGD sustancialmente periódico se reducen aún más. En términos generales, el hilado óptimo depende de la longitud del batido de la fibra. Sin embargo, bajo el supuesto de período corto, las soluciones son independientes en la longitud del tiempo.

60 En S.M. Pietralunga, M. Ferrario, P. Martinelli, M. Martinelli, "Observación directa de la birrefringencia local y la rotación del eje en fibra hilada con resolución centimétrica", IEEE Photonics Technology Letters, vol. 16, n.º 1, enero

de 2004, pp. 212-214, se describe un procedimiento de medición que permite la observación directa de la rotación de los ejes de birrefringencia lineal local a lo largo de una fibra hilada, y pone en evidencia el comportamiento periódico del retardo de la birrefringencia, como se predijo teóricamente, a lo largo de las fibras giradas con una velocidad de hilado constante durante la etapa de estirado.

5 En Y. Wang y C.-Q. Xu, "Caracterización de fibras hiladas con períodos de hilado milimétrico", *Optic Express*, 16 de mayo de 2005, vol. 13, n.º 10, pp. 3841-3851, se propone un procedimiento para medir con precisión períodos cortos de hilado (del orden de unos pocos milímetros) con una resolución espacial de 0,1 mm. Se considera el hilado constante (es decir, unidireccional).

10 En M. Ferrario, S.M. Pietralunga, R. Bratovich y M. Martinelli, "Reconstrucción de perfil de hilado alternativo en fibras de PMD baja", *JThE52*, 2005 Conferencia de ciencia cuántica de electrónica y láser (QELS), páginas 1714-1716, se describe una técnica de medición según la cual cualquier tipo de perfil de hilado, como un perfil de hilado sinusoidal, transferido a las fibras durante el proceso de estirado, se determina con precisión mediante la explotación de un procedimiento de reducción junto con un modelo determinista de placa de onda.

15 El documento EP 1384700 describe un sistema y un procedimiento para fabricar fibra óptica monomodo que incorpora un hilado en la fibra fundida durante la fabricación. La introducción del hilado minimiza una forma de distorsión llamada dispersión de modo de polarización (PMD) y variando el hilado, es decir, cambiar sus características, se sabe que reduce aún más la PMD. Sin embargo, la introducción del hilado en una fibra fundida puede resultar también en la introducción de un retorcido en la fibra. El retorcido es una fuerza de rotación no permanente sobre la fibra enfriada que causa tensión y debe evitarse. Se describe una función de hilado que no solo
20 contiene un alto grado de variabilidad para reducir la PMD, sino que también garantiza que se minimice el hilado mecánico de la fibra, lo que reduce la tensión en la fibra. La función de hilado modula la amplitud, la frecuencia o ambas al comienzo de un ciclo para minimizar el hilado en la fibra.

El documento WO 2005/021453 describe simulaciones de la dispersión en modo de polarización de una fibra monomodo hilada.

25 **Sumario de la invención**

En vista del estado de la técnica se describe en lo anterior, el solicitante ha observado que las funciones de hilado preferidas se caracterizan por períodos de hilado relativamente largos (de modo que se aumenta la amplitud de hilado transferido), pero significativamente más cortos que la longitud de batido de la fibra (para que la función de hilado esté optimizada, en términos de reducción de la PMD alcanzable, para todas aquellas fibras con una longitud
30 de batido más alta que el período de hilado).

El solicitante ha observado que longitudes de batido más largas se expandirían la población de las funciones de hilado candidatas adaptadas para optimizar la PMD en la fibra estirada.

35 El solicitante ha encontrado que el hilado alternativo aplica a una fibra reduce la birrefringencia de la fibra, y por lo tanto aumenta la longitud de batido de la fibra. Este es un resultado inesperado, ya que la creencia general es que la longitud del batido de una fibra óptica es independiente del proceso de hilado, ya que depende solo de la birrefringencia de la fibra (como se indica, por ejemplo, en el documento WO 2002/03115).

40 En particular, el solicitante ha encontrado que una elección adecuada de los parámetros de una función de hilado aplicada a la fibra conduce a una reducción en la birrefringencia, y por lo tanto a un aumento en la longitud de batido de la fibra hilada, en comparación con birrefringencia, respectivamente, la longitud del batido, de una fibra similar, pero sin hilar.

El aumento de la longitud de batido de la fibra aumenta la gama de períodos de función de hilado útiles, mientras que el cumplimiento de la condición de que el período de hilado debe ser inferior a la longitud de batido de la fibra (como se discutió anteriormente, el cumplimiento de esta condición hace que la reducción de la PMD lograda mediante la aplicación de la función de hilado sustancialmente independiente de la longitud del batido de la fibra).

45 Por ejemplo, es posible seleccionar un período de hilado más largo, con la ventaja de no incurrir en los problemas de transferencia de amplitud de hilado reducido, mientras que sea razonablemente seguro de que la condición de que el período de hilado sea menor que la longitud de batido de la fibra (es decir, que la reducción en la PMD lograda mediante la aplicación de la función de hilado es sustancialmente independiente de la longitud del batido de la fibra), es válida para una mayor población de fibras.

50 El solicitante ha encontrado que un aumento significativo en la longitud de batido de la fibra hilada se puede lograr mediante la aplicación de una función de hilado sustancialmente sinusoidal a la fibra mientras que el estirado que, en el que un valor de la amplitud de hilado en realidad imparte a la fibra, en vueltas *por metro*, cae en un intervalo de aproximadamente 0,8 a aproximadamente 1,4 veces el período de hilado, y preferiblemente alrededor de 1,0. Dentro de este intervalo, se han experimentado aumentos de la longitud del ritmo de hasta un 40 - 50 %.

55 Un procedimiento comprende las etapas de:

- proporcionar una preforma de fibra óptica;
- calentar una porción de extremo de la preforma de fibra óptica para obtener una porción de extremo de preforma ablandada;
- estirar la porción de extremo de la preforma ablandada para formar la fibra óptica;
- 5 – aplicar a la fibra óptica un hilado sustancialmente sinusoidal que tiene una amplitud de hilado y un período de hilado, transmitiéndose el hilado sustancialmente sinusoidal a la porción de extremo de la preforma ablandada, y
- determinar una amplitud de hilado real aplicada a la fibra, en donde dicha amplitud de hilado real es la amplitud de hilado aplicada en correspondencia con dicha porción final de preforma ablandada,

10 dicha amplitud de hilado y el período de hilado del hilado sustancialmente sinusoidal se seleccionan de tal manera que una relación de dicha amplitud de hilado real a dicho período de hilado esté en el intervalo de aproximadamente 0,8 a aproximadamente 1,4 vueltas/m².

15 Para los fines de la presente invención, los términos "hilar" e "hilado" se refieren todas a una torsión que se congela en la fibra durante el estirado, que se aplica a una porción viscosa de la fibra y se mantiene como una modificación estructural de la fibra mientras esta última se enfría. En otras palabras, una fibra hilada mantendrá esta alteración como una deformación intrínseca y permanente. Por "amplitud de hilado (real) realmente impartida a la fibra" o, de manera equivalente, "amplitud de hilado (real) aplicada realmente a la fibra" o, de manera concisa, "amplitud de hilado real", se entiende la amplitud de hilado realmente aplicada, impartida a la fibra óptica durante el proceso de estirado, y se mide en la fibra de vidrio entre el horno y el aplicador de revestimiento primario; la amplitud de hilado que realmente se aplica a la fibra durante el estirado es típicamente diferente de la amplitud de hilado nominal (función), aplicada a la fibra por un dispositivo de hilado, debido a la presencia de fuerzas de fricción u otros efectos no deseados (como se describe en el documento WO 2004/058654).

20 Además, aún para los fines de la presente invención, por "función de hilado sustancialmente sinusoidal", se entiende una función de hilado en la que la magnitud del coeficiente de uno de sus componentes oscilatorios (el componente fundamental en una serie de Fourier) domina la magnitud de los coeficientes para todos los demás componentes oscilatorios (los componentes secundarios), así como el coeficiente para cualquier componente constante. En términos cuantitativos, la dominación ocurre cuando la magnitud del coeficiente para el componente fundamental es al menos aproximadamente tres veces la magnitud del coeficiente para cada uno de los componentes secundarios y el coeficiente de la componente constante. La magnitud de dichos coeficientes puede determinarse realizando un análisis de Fourier complejo de la función de hilado utilizando técnicas convencionales bien conocidas en la técnica.

30 Preferiblemente, dicha relación de dicha amplitud de hilado real a dicho periodo de hilado es aproximadamente igual a 1.

En particular, la etapa de determinar una amplitud de hilado real comprende la etapa de detectar un diámetro de la fibra óptica dijo aguas abajo porción de extremo preforma ablandada.

35 El procedimiento puede comprender además la etapa de ajustar la amplitud de hilado en base a la amplitud de hilado real determinada.

Según la presente invención, se proporciona una fibra óptica como se establece en la reivindicación adjunta 1, que tiene un hilado sustancialmente sinusoidal congelado que tiene una amplitud de hilado y un período de hilado, caracterizado porque una relación de dicha amplitud de hilado a dicho período de hilado de dicho hilado sustancialmente sinusoidal congelado está en el intervalo:

- 40 de 0,2 a 0,6 vueltas/m² si el período de hilado está comprendido entre 1,7 y 3,3 m;
 de 0,4 a 0,7 vueltas/m² si el período de hilado está comprendido entre 1,2 y 6,7 m;
 de 0,5 a 1,2 vueltas/m² si el período de hilado está comprendido entre 6,7 y 15 m.

Breve descripción de los dibujos

45 Las características y ventajas de la presente invención se harán evidentes mediante la siguiente descripción detallada de una realización de la misma, proporcionada meramente a modo de ejemplo no limitativo, descripción que se llevará a cabo haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en donde:

La **figura 1** es una vista pictórica muy esquemática de una sección de una fibra óptica hilada con una función de hilado sustancialmente sinusoidal;

50 La **figura 2** muestra en forma esquemática una función de hilado substancialmente sinusoidal, ejemplar y simple (vueltas/m en ordenada frente a la longitud de la fibra, en metros, en abscisa) aplicada a la fibra óptica de la **figura 1** durante un proceso de estirado de la misma;

La **figura 3** muestra esquemáticamente una torre de estirado adaptada para estirar y hilar fibras;

La **figura 4** muestra un diagrama con valores de abscisas de una relación de amplitud de hilado realmente impartida a la fibra durante el estirado al período de hilado y, en ordenada, una indicación del aumento

resultante, en porcentaje, de la longitud del batido de la fibra, trazando los resultados de una primera campaña de mediciones realizada por el solicitante en algunas muestras de fibras ópticas;

5 La **figura 5** es un diagrama, dibujado sobre la base de los resultados de la primera campaña de mediciones, con valores de abscisas del período de hilado y, en ordenadas, el valor de la amplitud de hilado realmente impartida a la fibra durante el estirado, trazando un área del plano para el cual la longitud de batido de la fibra muestra un aumento no despreciable, proporcionando así una guía para la elección de los parámetros de la función de hilado; y

La **figura 6** es un diagrama similar al de la **figura 5**, dibujado en base a los resultados de una segunda campaña de mediciones realizada por el solicitante.

10 Descripción detallada de la realización preferida

Con referencia a los dibujos, se muestra esquemáticamente en la **figura 1** una breve sección **100** de una fibra **105** óptica hilada. En particular, la fibra **105** es una fibra hilada alternativamente, con un perfil de hilado alternativo y, más específicamente, sustancialmente sinusoidal, en el ejemplo un perfil **200** de hilado trapecoidal, representado esquemáticamente en la **figura 2**. El perfil **200** de hilado, expresado en términos de amplitud de hilado (o velocidad de hilado), en vueltas por metro, en función de la longitud de la fibra, tomada a lo largo del eje **z**, en metros, pretende representar el hilado realmente congelado en la fibra (como se explica a continuación, el hilado congelado no coincide con el hilado aplicado que se imparte a la fibra mediante un dispositivo de hilado correctamente controlado durante el proceso de extracción de la fibra).

20 Se definen subsecciones de fibra óptica **110+** y **110-** en las que la fibra **105** se hila, *por ejemplo*, en sentido horario y antihorario, respectivamente, las subsecciones **110+** y **110-**, alternándose entre sí a lo largo del eje **z** de fibra. Dentro de la subsección genérica **110+**, **110-**, moviéndose a lo largo del eje **z**, la amplitud de hilado aumenta inicialmente (en valor absoluto), comenzando desde un valor sustancialmente cero hasta un valor máximo de amplitud de hilado **S_{Amax}**, luego permanece constante en ese valor para una cierta longitud, luego disminuye a cero. Los sitios **115** en los que la amplitud de hilado cae a cero son los sitios de inversión de la dirección de hilado. La función de hilado es periódica, y la distancia entre los sitios de inversión consecutivos **115** es el período de inversión de hilado **T_i**, que es la mitad del período de función de hilado **T**.

En la **figura 3**, un aparato adaptado para producir fibras ópticas hiladas del tipo discutido anteriormente se representa esquemáticamente. Se entiende que este aparato no es limitativo de la presente invención, siendo adecuado cualquier otro aparato adaptado para producir fibras hiladas alternativamente.

30 En particular, el aparato de la **figura 3** comprende una torre **300** de estirado incluye una pluralidad de dispositivos que están sustancialmente alineadas a lo largo de un eje **305** de estirado vertical (de ahí el término "torre"). La elección de una dirección vertical para realizar las etapas principales del proceso de estirado permite explotar la fuerza gravitacional para obtener, a partir de una preforma **310** de vidrio, material fundido del cual se puede extraer una fibra **315** óptica.

35 En detalle, la torre **300** comprende un horno **320** para realizar una fusión controlada de una porción inferior de la preforma **310** (también conocido como "estrechamiento de la preforma"), un dispositivo **325** de alimentación para soportar la preforma **310** y la alimentación en el el horno **320** de lo anterior, un dispositivo **330** de tracción (en un extremo inferior de la torre **300**) para tirar de la fibra **315** de la preforma **310**, y un dispositivo **335** de enrollamiento para enrollar y almacenar la fibra **315** en un carrete **340**.

40 El horno **320** puede ser de cualquier tipo diseñado para producir una fusión controlada de una preforma. Ejemplos de hornos que se pueden usar en la torre **300** se describen en las patentes de EE. UU. US 4.969.941 y US 5.114.338.

45 Preferiblemente, un dispositivo **345** de enfriado, por ejemplo, de un tipo que tiene una cavidad de enfriado diseñada para ser atravesada por un flujo de gas de enfriado, puede estar situado debajo del horno **320** para el enfriado de la fibra **315** que lo abandona. El dispositivo **345** de enfriado está dispuesto coaxialmente al eje **305**, de modo que la fibra **315** que abandona el horno **320** pueda pasar a través de él.

La torre **300** puede comprender además dispositivos **350** de revestimiento de un tipo conocido, colocados debajo del dispositivo **345** de enfriado en la dirección de estirado vertical y diseñados para depositar sobre la fibra **315**, a medida que pasa a través de, uno o más revestimientos protectores, incluyendo, por ejemplo, resina curable por UV.

50 El dispositivo **330** de tracción puede ser del tipo de polea única o de doble polea, y puede comprender una única polea accionada por motor de tracción (o "cabrestante") diseñado para estirar la fibra **315**, ya recubierta, en la dirección de estirado vertical. El dispositivo **330** de tracción puede estar provisto de un sensor de velocidad angular que está diseñado para generar una señal que indica la velocidad angular de la polea de tracción durante su funcionamiento.

55

- La torre **300** comprende además un dispositivo **355** de hilado, colocado entre los dispositivos **350** de revestimiento y el dispositivo **330** de tracción, adaptado para impartir un hilado a la fibra **315** alrededor de su eje durante el estirado. En particular, el dispositivo **355** de hilado está adaptado para aplicar a la fibra **315** una función de hilado alternativa, más particularmente una función de hilado sustancialmente sinusoidal, por ejemplo, del tipo representado en la **figura 2**, o cualquier otra función de hilado sustancialmente sinusoidal.
- La torre **300** puede comprender también un dispositivo **360** de control de tensión (también referido como "bailarín"), para ajustar la tensión de la fibra **315** aguas abajo del dispositivo **330** de tracción, y en particular para contrarrestar las variaciones en la tensión de la fibra **315** entre la polea de tracción y el dispositivo **335** de bobinado.
- Una o más poleas **365** (u otros tipos de elementos de guía) se proporcionan ventajosamente para guiar la fibra **315** desde el dispositivo **360** de control de tensión para el dispositivo **335** de bobinado.
- Como se describe en la patente europea EP 1 226 415, el hilado real aplicado a la fibra óptica se diferencia del hilado aplicado a la fibra por el dispositivo **355** de hilado durante el estirado de la fibra; esto se debe, por ejemplo, a fenómenos de fricción viscosa, que ocurre, por ejemplo, dentro de los dispositivos **350** de revestimiento (que dan lugar a pares resistentes que contrastan con el par de torsión aplicado por el dispositivo de hilado).
- Con el fin de controlar el proceso de estirado de acuerdo con un hilado real determinado impartido a la fibra, la torre **300** comprende además un equipo **370** adaptado para llevar a cabo la medición en línea y el control del hilado aplicado a la fibra **315** óptica por el dispositivo **355** de hilado. En particular, el equipo **370** es del tipo descrito en el documento EP 1 226 415, que se incorpora aquí como referencia, y que describe un procedimiento para medir el hilado impartido a una fibra óptica, y un proceso para extraer una fibra óptica usando el procedimiento de medición. El equipo **370** se utiliza para medir el hilado aplicado realmente (amplitud de hilado aplicada realmente), impartido a la fibra óptica; este hilado realmente aplicado es típicamente diferente del hilado nominal (amplitud de hilado nominal), aplicado a la fibra por el dispositivo **355** de hilado, debido a la presencia de fuerzas de fricción u otros efectos no deseados. El equipo **370** comprende un monitor **375** de diámetro y una unidad **380** de procesamiento capaz de procesar una señal generada por el monitor **375** de diámetro. El monitor **375** de diámetro puede comprender un sensor óptico, por ejemplo, del tipo interferométrico, ubicado en el eje **305** entre el horno **320** y los dispositivos **350** de revestimiento, particularmente entre el horno y el dispositivo **345** de enfriado, y su salida está conectada a la unidad **380** de procesamiento. El monitor **375** de diámetro es capaz de generar una señal eléctrica que indica el diámetro detectado de la fibra **315** óptica y se envía a la unidad **380** de procesamiento. La unidad **380** de procesamiento tiene su salida conectada al dispositivo **355** de hilado, para controlar su funcionamiento, y a una unidad **385** de visualización, adaptada para presentar información (por ejemplo, los datos de medición) a un operador.
- La velocidad de rotación de la polea de tracción y, por lo tanto, la velocidad de estirado de la fibra **315**, también puede ser controlada en respuesta a una variación del diámetro detectado por el monitor **375** de diámetro.
- La torre **300** puede además estar provista de un dispositivo **390** de monitorización de tensión (por ejemplo, del tipo descrito en la patente estadounidense US 5.316.562), preferiblemente posicionada entre el horno **320** y el dispositivo **345** de enfriado, para medir la tensión de la fibra **315**.
- En funcionamiento, el dispositivo **325** de soporte alimenta la preforma **310** al horno **320**, donde se funde una porción inferior de la preforma (el estrechamiento). La fibra **315** extraída del cuello hacia abajo es empujada hacia abajo por el dispositivo **330** de tracción, y enrollada en el carrete **340** por el dispositivo **335** de bobinado.
- Al salir del horno **320**, la fibra **315** es enfriada por el dispositivo **345** de enfriado y se reviste con una o más capas de protección por parte de los dispositivos **350** de revestimiento.
- En la fibra **315** revestida un hilado alternativo, sustancialmente sinusoidal se aplica a continuación mediante el dispositivo **355** de hilado.
- Cuando se aplica el hilado, la fibra **315** transmite un par de torsión correspondiente aguas arriba hasta el estrechamiento preforma, donde la deformación plástica del vidrio fundido "absorbe" el par de torsión y "transforma" en una orientación intrínseca de los ejes de birrefringencia de la fibra **315**. Esta torsión intrínseca se congela en la fibra **315** a medida que la fibra se enfría.
- Durante el estirado de la fibra, el equipo **370** determina el hilado real impartido a la fibra en el estrechamiento preforma, sobre la base de la medición del diámetro de la fibra óptica. Como se describe en la patente europea EP 1 226 415, las asimetrías y anisotropías de la fibra óptica causan una oscilación del valor del diámetro medido entre un valor mínimo y uno máximo, con una frecuencia que se correlaciona con la velocidad de rotación de la fibra. Al procesar las mediciones de diámetro, es posible obtener información que indique el hilado real impartido a la fibra óptica. En particular, esta información se puede obtener llevando a cabo una transformada de Fourier de la señal de tiempo relacionada con la medición del diámetro de la fibra óptica y un análisis posterior de los picos del espectro de potencia correspondiente. Esta información se utiliza de forma retroactiva para controlar el dispositivo **355** de hilado, de modo que la función de hilado aplicada por el dispositivo de hilado a la fibra es tal que produce una fibra con un hilado aplicado realmente correspondiente al hilado objetivo. Además, la información se muestra en la pantalla **385**,

para que el operador pueda saber cuál es el hilado real aplicado a la fibra.

5 Sin embargo, como se describe en el documento WO 2004/058654, la indicación proporcionada por el equipo **370** no es el hilado real congelada en la fibra después del enfriado; el hilado realmente congelado en la fibra depende, además del hilado real aplicado a la preforma del cuello, según lo deducido por el equipo **370**, del período de hilado, de la velocidad de estirado de la fibra y de la longitud de la sección de fibra que se encuentra en un estado viscoso. En particular, en el documento WO 2004/058654 se informa que la amplitud de hilado realmente congelada en la fibra después del enfriado es como máximo el 50 % de la amplitud de hilado realmente aplicada a la fibra si el período de hilado está entre 1,2 y 6,7 m, y como máximo 60 % si el periodo de hilado es entre 1,7 y 3,3 m. El solicitante ha encontrado experimentalmente que, como se mencionó anteriormente, los perfiles de hilado alternativos aplicados a una fibra al tiempo que la estiran reducen la birrefringencia de la fibra y, por lo tanto, aumentan la longitud del batido de la fibra.

10 En particular, el solicitante ha encontrado experimentalmente que una elección adecuada de los parámetros de una función de hilado aplicada a la fibra inesperadamente conduce a una reducción en la birrefringencia de la fibra, y por lo tanto a un aumento en la longitud de batido de la fibra hilada, en comparación con la birrefringencia, respectivamente, la longitud del batido, de una fibra similar, pero sin hilar.

15 El solicitante tiene en particular encontrado que un aumento significativo en la longitud de batido de la fibra hilada se puede lograr mediante la aplicación de una función de hilado sustancialmente sinusoidal a la fibra mientras que el estirado que, en el que un valor de la amplitud de hilado realmente aplicado a la fibra (es decir, la amplitud de hilado en el cuello hacia abajo de la preforma, derivada, por ejemplo, del equipo **370** en función del diámetro detectado), en vueltas por metro, cae en un intervalo de aproximadamente 0,8 a aproximadamente 1,4 veces el período de hilado, y preferiblemente alrededor de 1,0.

20 Tal como se conoce por el documento WO 2004/058654, la amplitud de hilado realmente congelada en la fibra después del enfriado puede diferir sustancialmente de la amplitud de hilado realmente aplicado a la fibra, dependiendo del período de hilado, y puede ser tan bajo como 50 %. El aumento de la longitud del batido se experimenta para las relaciones de la amplitud de hilado congelada al período de hilado en el intervalo de aproximadamente 0,4 a aproximadamente 0,7 vueltas/m² para los períodos de hilado entre 1,2 y 6,7 m. Para el período de hilado entre 1,7 y 3,3 m, se experimenta un aumento de la duración del tiempo de batido para las relaciones de la amplitud de centrifugación congelada al período de hilado en el intervalo de aproximadamente 0,2 a aproximadamente 0,6 vueltas/m². Para periodos de hilado de entre 6,7 y 15 m, se experimenta un aumento de la duración del batido para las relaciones de la amplitud de hilado congelada al periodo de hilado en el intervalo de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 1,2 vueltas/m².

25 El resultado anterior ha sido confirmado por algunas campañas de medición llevados a cabo por el solicitante; en particular, el solicitante ha realizado una campaña de medición en seis fibras ópticas, todas ellas extraídas de una misma preforma, utilizando una disposición como la que se muestra en la **figura 3**, aplicando una función de hilado sinusoidal; la velocidad de estirado fue de 12 m/s, y las condiciones de hilado se modificaron para cambiar la amplitud de hilado y otros parámetros de hilado para obtener los valores indicados en la siguiente tabla:

Tabla 1

Fibra estirada	Período de hilado ([m])	Amplitud de hilado realmente impartida ([vueltas/m])	Amplitud de hilado real impartida/período de hilado ([vueltas/m ²])	Variación de la longitud del batido (%)
Fibra 1	3,1	4,58	1,48	11
Fibra 2	0 (no hilada)	0 (no hilada)	-	-
Fibra 3	4,6	3,96	0,86	45
Fibra 4	0 (no hilada)	0 (no hilada)	-	-
Fibra 5	9,2	1,25	0,14	14
Fibra 6	0 (no hilada)	0 (no hilada)	-	-

35 El solicitante llevó a cabo una campaña de medición adicional sobre doce fibras ópticas, todas procedentes de una misma preforma, utilizando una disposición como la que se representa en la **figura 3**, la aplicación de una función de hilado sinusoidal; esta vez la velocidad de estirado fue de 18 m/s, y las condiciones de hilado se modificaron para cambiar la amplitud de hilado y otros parámetros de hilado para obtener los valores indicados en la siguiente tabla:

Tabla 2

Fibra estirada	Período de hilado ([m])	Amplitud de hilado realmente impartida ([vueltas/m])	Amplitud de hilado real impartida/período de hilado ([vueltas/m ²])	Variación de la longitud del batido (%)
Fibra 1	4,5	2,37	0,53	47
Fibra 2	0 (no hilada)	0 (no hilada)	-	-
Fibra 3	4,8	2,82	0,59	25
Fibra 4	0 (no hilada)	0 (no hilada)	-	-
Fibra 5	4,1	4,18	1,02	100
Fibra 6	0 (no hilada)	0 (no hilada)	-	-
Fibra 7	4,64	6,83	1,47	25
Fibra 8	0 (no hilada)	0 (no hilada)	-	-
Fibra 9	4,35	6,1	1,4	31
Fibra 10	0 (no hilada)	0 (no hilada)	-	-
Fibra 11	4,3	6,12	1,42	56
Fibra 12	0 (no hilada)	0 (no hilada)	-	-

La longitud de batido en las fibras estiradas (hiladas y no hiladas) se midió de acuerdo con la técnica descrita en M. Ferrario, S.M. Pietralunga, R. Bratovich y M. Martinelli, "Reconstrucción de perfil de hilado alternativo en fibras de bajo PMD", JThE52, 2005 Conferencia de Quantum Electronics and Laser Science (QELS), pp. 1714-1716.

Los resultados presentados en la Tabla 1 anterior se representan en el diagrama de la **figura 4**, en la que la abscisa representa valores de la relación de la amplitud de hilado realmente impartido al periodo de hilado, y la ordenada representa el porcentaje de variación de duración de tiempo en comparación con el caso no hecho.

Puede apreciarse que la longitud batido aumenta para valores de la relación de la amplitud de hilado realmente impartida al periodo de hilado creciente hacia aproximadamente 1 vueltas/m², después de lo cual la longitud de batido disminuye. El aumento en la longitud del tiempo puede ser de hasta 40 - 50 %.

El diagrama de la **figura 5** puede ser útil como una guía para la elección de los parámetros de la función de hilado; en abscisa, el período de hilado se estira (en metros), mientras que la ordenada representa la amplitud de hilado realmente impartida (vueltas/metro). La línea continua representa la mejor opción (corresponde a un valor de la relación entre la amplitud de hilado realmente impartida y el período de hilado aproximadamente igual a 1 vuelta/m²); las dos líneas de puntos establecen los extremos de un intervalo preferido de valores para la relación entre la amplitud de hilado realmente impartida y el período de hilado. En la **figura 6** se muestra un diagrama similar, pero dibujado sobre la base de los resultados informados en la Tabla 2 anterior.

En los casos anteriores, la aplicación de la técnica descrita en M. Ferrario, S.M. Pietralunga, R. Bratovich y M. Martinelli, "Reconstrucción de perfil de hilado alternativo en fibras de PMD baja", se determinó que la amplitud de la función de hilado que realmente imparte a la fibra es aproximadamente igual a $2 \pm 0,5$ veces la amplitud de hilado realmente congelada en la fibra después del enfriado.

Por lo tanto, el solicitante ha encontrado que, mediante la adaptación adecuadamente los parámetros de la función de hilado, es posible aumentar la longitud de batido de fibra. Esto es ventajoso porque permite aumentar el intervalo de periodos de función de hilado útiles.

En efecto, como se ha discutido en lo que antecede, de acuerdo con el documento WO 2002/03115, pueden ser determinadas las funciones de hilado optimizadas que permiten la reducción de la fibra de PMD, pero las funciones de hilado permanecen optimizadas, independientemente de la longitud de batido de la fibra con la única condición de que el período de hilado es más corto que el largo del tiempo; por lo tanto, para un período de hilado dado, las fibras que tienen una longitud de batido comparable o más corto que el período de hilado no se optimizan, desde el punto de vista de la reducción de la PMD, mediante la aplicación de tal función de hilado. Dado que la longitud del batido de la fibra es desconocida *a priori* (es decir, antes de estirar la fibra) y varía a lo largo de la fibra, la elección de periodos de hilado cortos haría más probable que la función de hilado esté optimizada, desde el punto de vista de la

reducción de la PMD, para una mayor población de fibras. Sin embargo, un período de hilado demasiado corto no es ventajoso, porque la amplitud de hilado transferida disminuye, como se describe en el documento WO 2004/058654.

5 Gracias a la presente invención, es posible adaptar la función de hilado de forma que un aumento en la longitud de batido de la fibra (en comparación con el caso sin hilar) es experimentado; por lo tanto, es posible elegir un período de hilado más largo, con la ventaja de no incurrir en los problemas de reducción de la transferencia de amplitud de hilado, mientras se está razonablemente seguro de que la condición de que el período de hilado sea menor que la longitud del batido de la fibra (es decir, que la reducción en la PMD que se logra al aplicar la función de hilado es sustancialmente independiente de la longitud del batido de la fibra, es cierto para una mayor población de fibras.

10 Por ejemplo, el solicitante ha encontrado experimentalmente que las fibras disponibles en el mercado han vencer a longitudes que van de 2 a 20 m, y más típicamente de 4 a 10 m, mientras que periodos de hilado se extienden de aproximadamente 1 a 15 m. Si se considera una fibra con una longitud de batido de 4 m, se debe utilizar un período de hilado inferior a 4 m para estirar una fibra con PMD reducida. De acuerdo con la presente invención, suponiendo que se aplique, durante su estirado, una función de hilado adaptada que tiene parámetros que satisfacen el criterio anterior (en términos de valor de la relación de la amplitud de hilado realmente impartida al período de hilado), y particularmente una función de hilado adaptada para llevar a un aumento aproximado del 50 % en la longitud del tiempo, la longitud del tiempo de la fibra hilada sería de aproximadamente 6 m. Por lo tanto, se puede utilizar una función de hilado con un período de hilado de hasta 5 m o incluso cerca de 6 m para reducir la PMD de la fibra; por lo tanto, un intervalo útil de posibles periodos de hilado para tal fibra se extiende hasta 2 m.

20 En particular, en una realización de la presente invención, el periodo de hilado se puede elegir de manera que sea menor que la longitud de batido de la fibra se mide después de aplicar la misma función de hilado; la elección del período de hilado determina la elección de la amplitud de la función de hilado (la relación entre la amplitud de hilado aplicada realmente y el período de hilado debe caer en el intervalo predeterminado). Esto permite utilizar la función de hilado para reducir la PMD con respecto a las fibras que tienen un intervalo relativamente amplio de valores de longitud de batido. En particular, el período de hilado puede elegirse en el intervalo desde el valor de la longitud de batido de la fibra no hilada hasta el valor de la longitud de batido de la fibra hilada (es decir, la longitud de batido aumentada, según la presente invención). En la práctica, se puede elegir un período de hilado que varía de 3 a 15 m, preferiblemente de 3 a 6 m, y más preferiblemente de 4 a 5 m, y la amplitud de hilado se puede adaptar en consecuencia.

REIVINDICACIONES

1. Una fibra óptica que tiene un hilado (**200**) sustancialmente sinusoidal congelado que tiene una amplitud de hilado y un período de función de hilado (**T**), **caracterizada porque** una relación de dicha amplitud de hilado a dicho período de función de hilado (**T**) de dicho hilado (**200**) sustancialmente sinusoidal congelado está en el intervalo:

- 5 de 0,2 a 0,6 vueltas/m² si el período de función de hilado (**T**) está comprendido entre 1,7 y 3,3 m;
de 0,4 a 0,7 vueltas/m² si el período función de hilado (**T**) está comprendido entre 1,2 y 6,7 m;
de 0,5 a 1,2 vueltas/m² si el período de función de hilado (**T**) está comprendido entre 6,7 y 15 m.

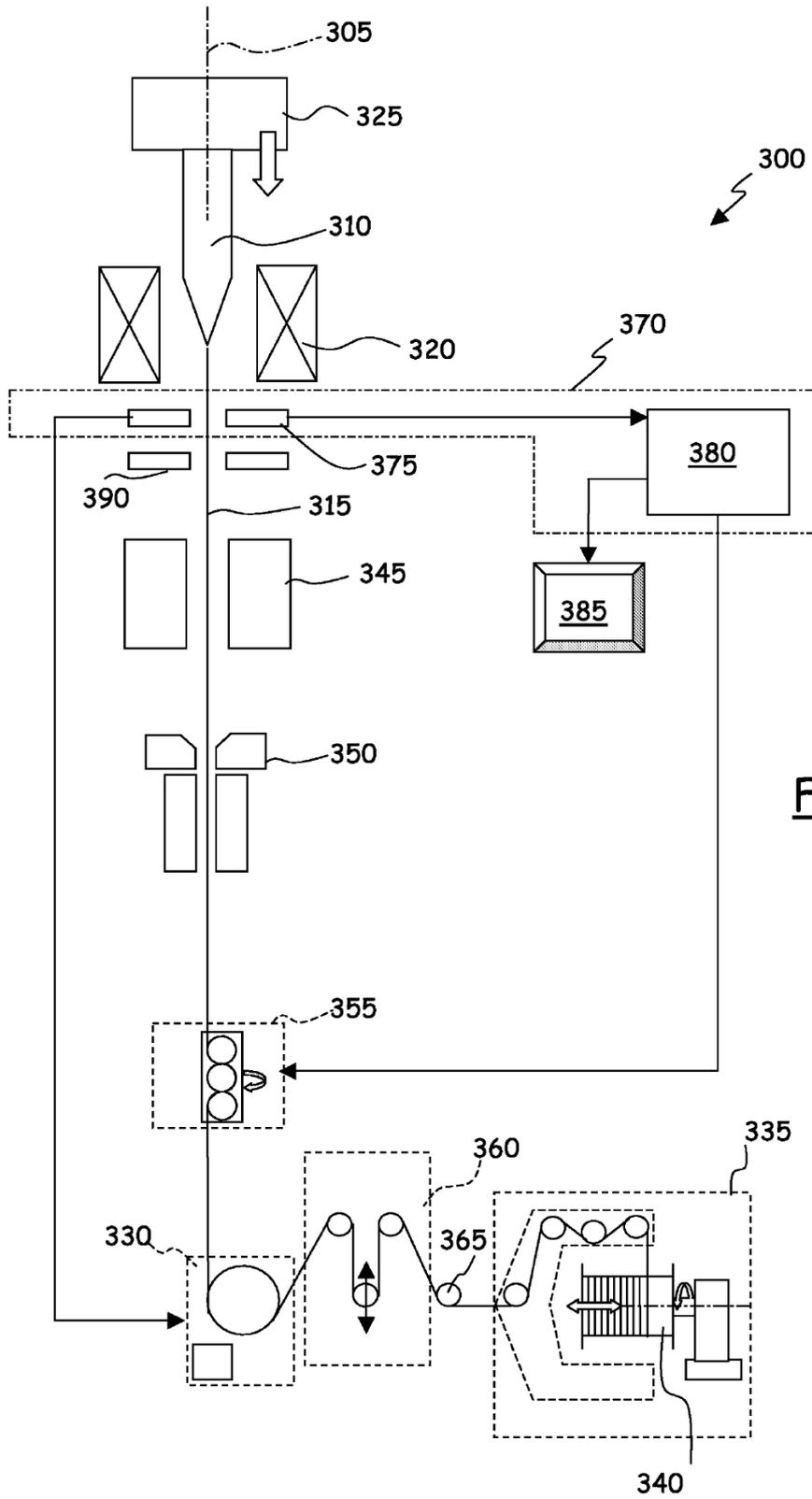


FIG. 3

FIG. 4

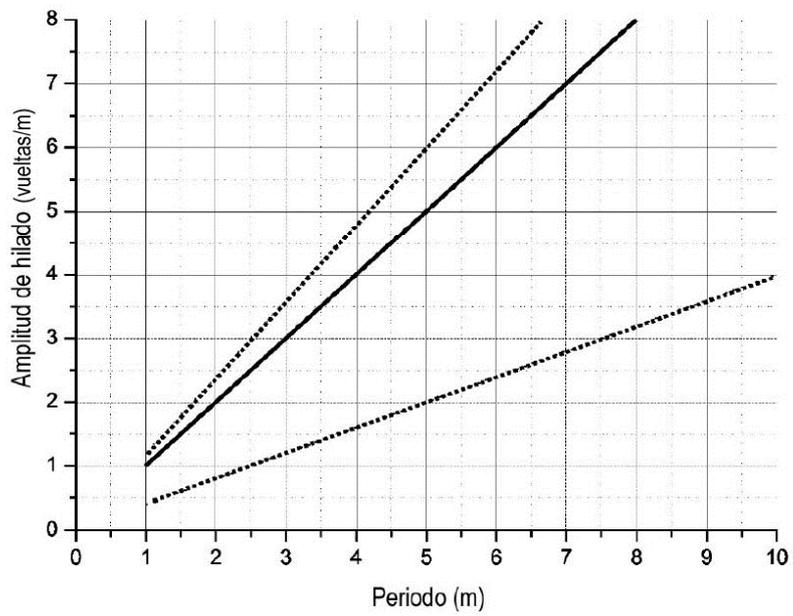
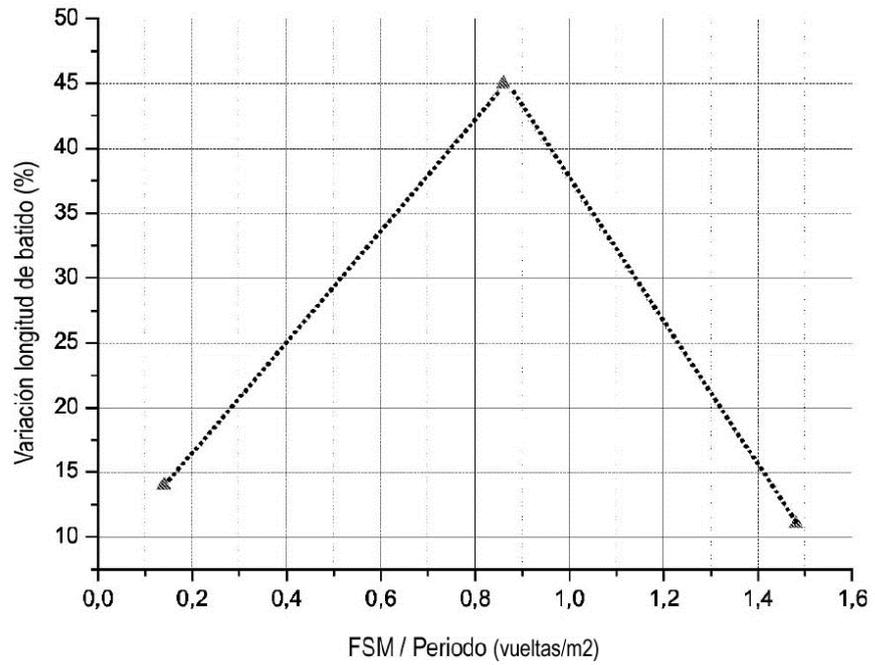


FIG. 5

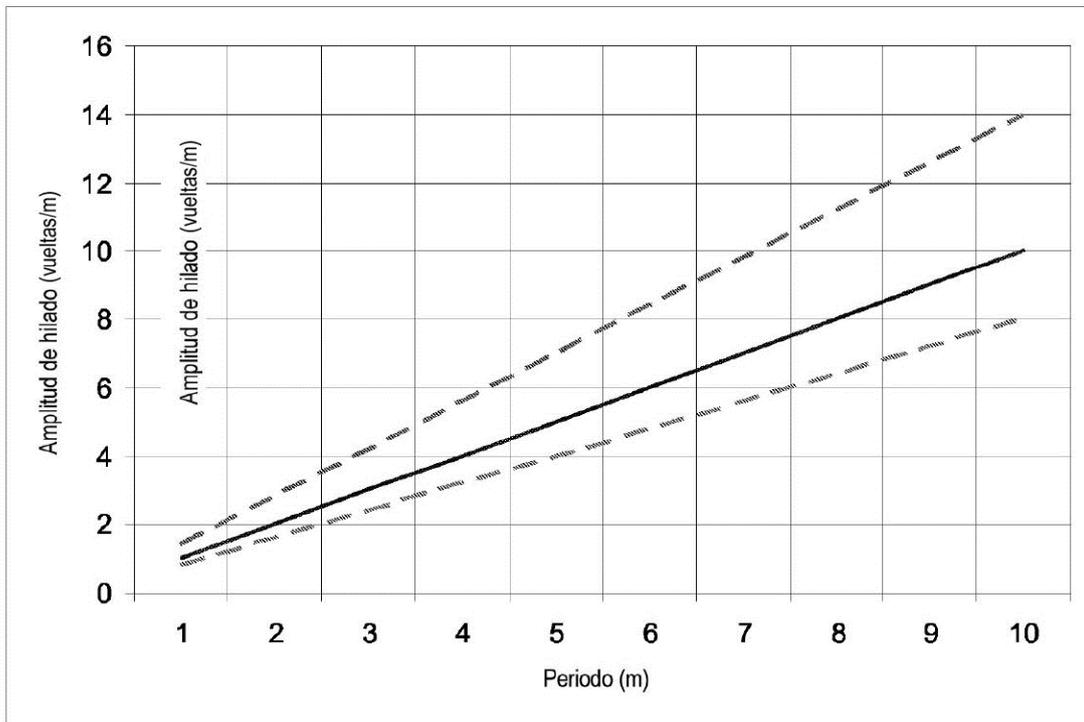


FIG. 6