

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 394 497**

51 Int. Cl.:

**H04B 10/18** (2006.01)

**G01M 11/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.09.2004 E 04820444 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la solicitud europea: **14.06.2006 EP 1668803**

54 Título: **Procedimiento y aparato mejorados para la evaluación de la dispersión del modo de polarización en fibras ópticas**

30 Prioridad:

**19.09.2003 WO PCT/EP03/10467**

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:

**SARCHI, DAVIDE;  
TRAVAGNIN, MARTINO y  
DEBUT, ALEXIS**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 394 497 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 y aparato mejorados para la evaluación de la dispersión del modo de polarización en fibras ópticas

La presente invención se refiere, en general, a las fibras ópticas. En particular, la invención se refiere a procedimientos para evaluar los parámetros característicos de las fibras ópticas, y, más específicamente, a procedimientos para la evaluación de la Dispersión del Modo de polarización (en lo sucesivo, PMD) de las fibras ópticas.

En el campo de la fabricación de fibras ópticas, la PMD es un parámetro importante a evaluar, debido a que está relacionada con la velocidad de comunicación que una fibra óptica puede soportar.

La PMD se refiere a las velocidades de grupo dependiente de la polarización de las señales ópticas que se propagan a través de la fibra. Este fenómeno, que es una consecuencia de la birrefringencia de la fibra óptica, hace que los impulsos ópticos se ensanchen en el dominio del tiempo cuando se propagan a lo largo de la fibra, debido a que los diferentes componentes de la polarización del impulso óptico tienen diferentes tiempos de llegada.

El ensanchamiento de los impulsos ópticos plantea un límite a la velocidad binaria de comunicación, y por lo tanto, una evaluación adecuada de la PMD de las fibras ópticas es importante con el fin de determinar la velocidad de datos máxima admisible en un sistema de comunicación óptica en el que se utilizan las fibras ópticas. En un mundo en el que existe una demanda creciente de ancho de banda, esto es de una importancia primordial.

Se sabe en la técnica que la PMD en una fibra óptica es un parámetro estadístico. La naturaleza estadística de la PMD en fibras ópticas es reconocida, por ejemplo, en el estándar IEC 86A/658/NP (basado en la Propuesta IEC 60793-1-48 titulada "Procedimientos de medición de la dispersión de modo de polarización"). El citado documento establece un estándar y proporciona procedimientos uniformes para medir la PMD de las fibras ópticas y cables de fibra óptica; por este motivo, en la presente memoria descriptiva y a continuación, el documento será denominado concisamente estándar IEC, y el contenido del mismo se debe considerar incorporado en la presente memoria descriptiva por referencia.

En el estándar IEC, se explica que (para una fuente óptica de banda suficientemente estrecha) el efecto que da lugar a la PMD se puede relacionar con un Retardo de Grupo Diferencial (abreviadamente, DGD, que es una cantidad que generalmente se mide en ps) entre pares de estados de polarización principales polarizados ortogonalmente, en una longitud de onda dada; en tramos de fibra largos, el DGD es aleatorio tanto en el tiempo como en la longitud de onda, ya que depende de detalles de la birrefringencia a lo largo de toda la longitud de la fibra, y es también sensible a la temperatura y a las perturbaciones mecánicas en la fibra. Una manera útil de caracterizar la PMD en fibras largas es, por lo tanto, en términos del valor esperado (o el valor medio) del DGD sobre la longitud de onda.

El estándar IEC proporciona tres procedimientos básicos para medir la PMD, que son: el procedimiento de analizador fijo (Procedimiento A), el procedimiento de evaluación del parámetro de Stokes (Procedimiento B) y el procedimiento de interferometría (Procedimiento C). Ambos procedimientos A y B requieren la evaluación de la PMD mediante la medición de una respuesta a un cambio de la luz de banda estrecha a través de un rango de longitudes de onda; El procedimiento C, destinado para evaluar la PMD de cables de fibra óptica instalados (que puede estar moviéndose o vibrando) se basa en una fuente de luz de banda ancha que está polarizada linealmente.

El estándar IEC establece que, en caso de controversias, el Procedimiento B se debe tomar como procedimiento de evaluación de referencia de la PMD. Resumiendo, en el Procedimiento B una fuente de luz está acoplada a la fibra sometida a prueba y la salida de la fibra está acoplada a un polarímetro, utilizado para la medición de los vectores de Stokes de salida para cada polarización de entrada y longitud de onda seleccionadas. Las longitudes de onda son exploradas en un rango adecuado para la región de longitud de onda operativa y la precisión deseada, y con un pequeño incremento de longitud de onda adecuado. Los datos de medición se recogen para cada longitud de onda.

Son posibles diferentes enfoques para la realización de cálculos de los datos recogidos de las mediciones (Jones Matrix Eigenanalysis - JME -, Análisis de Esfera de Poincaré - PSA - o Estado de Polarización - SOP), produciendo todos los enfoques una distribución de valores del DGD en el rango de longitudes de onda.

Se dice que una fibra está en régimen de acoplamiento de modo aleatorio cuando es más larga que unos pocos cientos de metros, y es perturbada por fuentes externas distribuidas aleatoriamente a lo largo de su longitud, cambiando localmente cada sitio de perturbación el estado de polarización sin alterar significativamente la birrefringencia intrínseca de la fibra; por modo de acoplamiento se pretende la transferencia de energía entre los diferentes modos de polarización dentro de la fibra. En el caso ideal de acoplamiento de modo aleatorio dentro de la fibra sometida a evaluación, la distribución de los valores del DGD obtenidos mediante la variación de la longitud de onda es una curva de Maxwell. El valor medio de la distribución del DGD es, por definición, la PMD de la fibra (que por lo tanto se mide generalmente en ps). Puesto que los aumentos de la PMD se incrementan igual que la raíz cuadrada de la longitud de la fibra en el régimen de modo de acoplamiento aleatorio, es una práctica común derivar de la PMD de la fibra un coeficiente  $PMD_c$  definido como la PMD de la fibra dividida por la raíz cuadrada de la longitud de la fibra bajo prueba. El coeficiente de la  $PMD_c$  se mide en ps / raíz cuadrada (km).

- Con el fin de conseguir una distribución de Maxwell, se debe utilizar un amplio rango de longitudes de onda (típicamente cientos de nanómetros), con el fin de medir muchos valores de la DGD. Este amplio rango a menudo no es práctico para la anchura limitada de las fuentes espectrales. Por esta razón, la misma curvatura se obtiene variando aleatoriamente la distribución espacial de la perturbación en la fibra bajo prueba. Por ejemplo, en el estándar IEC, Anexo E, se establecen estrategias para mejorar la precisión, para lograr adecuadamente una distribución de los valores medidos de la DGD que mejor coinciden con la distribución ideal de Maxwell, y por lo tanto una mejor evaluación de la PMD de la fibra. Una de estas estrategias requiere combinar los datos obtenidos mediante la realización de mediciones repetidas de la DGD sobre la fibra óptica, cambiando el acoplamiento de modo de la fibra entre las diferentes mediciones.
- Una forma propuesta para cambiar el acoplamiento de modo de la fibra requiere variar la temperatura de la fibra a lo largo de las diferentes mediciones del DGD. En el caso de cables de fibra óptica ya instalados, el cambio diario de la temperatura ambiente puede ser aprovechado convenientemente, temporizando adecuadamente las diferentes medidas, como ha sido demostrado por C. T. Allen et al., en el documento técnico " Características de la PMD Temporales y Espectrales medidas y sus consecuencias para los Enfoques de Mitigación a Nivel de Red ", Journal of Lightwave Technology, vol. 21, nº 1, pag. 79 - 86 (enero de 2003).
- Otra forma de cambiar el acoplamiento de modo de la fibra en el caso de que la fibra que se va a probar está enrollada suelta en un carrete requiere reorganizar la fibra en el carrete haciendo que el carrete vibre, girando el carrete al revés o mediante fricción manual de la fibra con la mano.
- El Solicitante ha observado que la perturbación de la fibra es crítica: es necesario encontrar un buen procedimiento para modificar la configuración de la fibra con el fin de alterar la evolución de los estados de polarización, sin modificar la birrefringencia original de la fibra.
- A este respecto, el estándar IEC también establece prescripciones generales para llevar a cabo las mediciones dirigidas a evaluar la PMD, que son válidas con independencia del procedimiento adoptado. En particular, se reconoce que el despliegue de la fibra óptica puede influir en el resultado, por lo que el despliegue de fibra óptica deben ser seleccionado con el fin de minimizar cualquier acoplamiento de modo inducido externamente (es decir, cualquier birrefringencia inducida externamente). El estándar IEC señala que las fuentes de tal acoplamiento de modo inducido externamente pueden ser una tensión excesiva de la fibra, curvado excesiva de la fibra, inducción por los cruces de la fibra sobre un carrete de transporte y / o rizado de la fibra dentro de un cable en un carrete que es demasiado pequeño y / o radio de curvatura demasiado pequeño, un retorcimiento excesivo de la fibra (en relación con los efectos del curvado de la fibra sobre la birrefringencia de la fibra, véase, por ejemplo, el documento de R Ulrich et al., " Birrefringencia Inducida por Curvado en las Fibras de modo único", Optics Letters, vol. 5, nº 6, pag. 273 - 275, (junio de 1980)).
- Por estas razones, el estándar IEC prescribe que la fibra bajo evaluación se debe mantener con una tensión mínima, ya sea mediante el despliegue de la fibra en bucles sobre una superficie plana y lisa (por ejemplo, el suelo de un laboratorio de ensayo), o envolviendo suelta la fibra sobre un carrete que tiene una superficie suave; el estándar IEC también establece una suavidad mínima prescrita, correspondiente a la de papel de grado 88 g / m<sup>2</sup>. En cualquier caso, de acuerdo con el estándar IEC, la fibra se debe desplegar sin cruzarse sobre sí misma, y con un radio de curvatura superior a 15 cm.
- El tipo anterior de despliegue de fibra, que en la jerga se denomina como despliegue para "prueba en el suelo", permite hacer coincidir ajustadamente las condiciones que la fibra óptica bajo prueba se encontrará en el entorno de funcionamiento normal (es decir, en un cable óptico). Por ejemplo, en el documento de K. Walker, "Fibras y Cables para una PMD ultrabaja ", WJ4, Actas de la OFC 2003, se muestra que hay una buena correspondencia entre el PMD<sub>c</sub> cuando se mide en los cables y "en grandes carretes sobre un suelo".
- El segundo despliegue de la fibra, también conocido como despliegue "en bobina a tensión baja", es más adecuado que el despliegue de la prueba en el suelo en vista de la producción de fibra industrial, a gran escala.
- El Solicitante ha observado que los procedimientos conocidos para cambiar el acoplamiento de modo de la fibra consumen mucho tiempo y son propensos a errores, por lo que son difícilmente compatibles con la necesidad de llevar a cabo, en un entorno industrial, mediciones repetidas del DGD en diferentes configuraciones de fibra para lograr una evaluación precisa de la PMD.
- En particular, en el despliegue de la prueba en el suelo, después de cada medición del DGD, son necesarios uno o más operadores humanos para modificar manualmente ligeramente el despliegue de la fibra.
- En el despliegue en la bobina a baja tensión, cuando se trata de reorganizar la fibra en el carrete haciendo vibrar la bobina o girando la bobina al revés repetidamente, o por fricción manual de la fibra para cambiar de esta manera la configuración de la fibra, resulta que la fibra no está normalmente lo suficientemente floja como para obtener la deseada distribución de Maxwell de los valores medidos del DGD.
- Además, el Solicitante observa que la operación de envolver una fibra óptica que se va a probar alrededor de un carrete (es decir, enrollar la fibra óptica que se va a probar) con una tensión mínima para no afectar a las medidas

que se van a tomar, puede plantear algunos problemas. En particular, el proceso de enrollado de la fibra requiere tiempo, ya que es necesario mantener baja la velocidad de enrollado de la fibra con el fin de mantener la tensión de la fibra bajo un control estricto. Por lo tanto, este proceso no se puede repetir muchas veces sobre la misma fibra para obtener una buena distribución de Maxwell.

- 5 Una forma diferente de evaluar las estadísticas de la PMD requiere realizar un número limitado de mediciones de los valores de DGD en un rango de longitudes de onda limitado para una fibra dada, evaluar el coeficiente  $PMD_c$  de la misma, a continuación, repetir la operación para diferentes fibras de un mismo lote de producción, es decir, fibras producidas por el mismo proceso de fabricación. Si todos los coeficientes  $PMD_c$  derivados de las diferentes fibras están representados en la misma distribución, se obtiene una caracterización del proceso de fabricación general de la fibra desde la perspectiva de la PMD.

El Solicitante observa que, incluso si este procedimiento para obtener una descripción estadística de la PMD no requiere perturbar la configuración de la fibra, es en todo caso obligatorio escoger un despliegue que evite cualquier alteración de la birrefringencia intrínseca de la fibra.

- 15 En la patente norteamericana US 6.020.584 se describe un procedimiento para medir la PMD de una fibra óptica de compensación de dispersión cromática, de acuerdo con lo cual se obtiene una pluralidad de valores de la PMD. Una longitud de la fibra se enrolla bajo una tensión alrededor de un cubo central rígido de un carrete, en capas superpuestas radialmente hacia el exterior; la tensión de fibra se encuentra en el rango de 40 a 80 gramos, preferiblemente al menos 50 gramos, con el fin de proporcionar una fracción de empaquetado mayor de aproximadamente 0,7, más preferiblemente mayor de aproximadamente 0,8, y de la manera más preferible, al menos de 0,85. A continuación, se aplica una fuerza a las bridas del carrete próximas a la capa más externa de la fibra óptica enrollada, para forzar las dos bridas a que se unan, así como para apretar la fibra óptica entre las bridas y radialmente hacia fuera desde el cubo central. La fuerza es entonces liberada, y la PMD de la fibra se mide y se registra. Las etapas de aplicación de la fuerza, la liberación de la fuerza y la medición de la PMD de la fibra se repiten con el fin de obtener una pluralidad de valores de medición de la PMD después de haber sido perturbada mecánicamente.

- 25 El Solicitante observa que el procedimiento descrito en el documento US 6.020.584 no cumple con las prescripciones del estándar IEC referidas a la minimización de acoplamiento de modo externamente inducido, puesto que la fibra es sometida con una tensión no insignificante, debido al hecho de que la fibra no está envuelta flojamente en el carrete, sino que está enrollada alrededor del carrete bajo una tensión en el intervalo de 40 a 80 gramos. También, se puede esperar que los incrementos de la tensión en la fibra, como resultado del apriete repetido al que está sometida, con el resultado de que los valores medidos de la PMD apenas reproducen la distribución de Maxwell correspondiente a la medición de la tensión sustancialmente igual a cero, al contrario de lo deseado.

En vista del estado de la técnica que se ha descrito en lo que antecede, ha sido un objeto de la presente invención mejorar los procedimientos conocidos para la evaluación de la PMD en fibras ópticas.

- 35 En particular, el Solicitante ha observado que la mayoría de los procedimientos de evaluación de la PMD y aparatos conocidos en la técnica no permiten realizar una evaluación de la PMD en una fibra óptica que tenga en debido cuenta la naturaleza estadística de la PMD. El Solicitante ha observado también que la falta de una descripción estadística real reduce la precisión de la medición, haciendo imposible señalar correctamente los efectos de los diferentes despliegues posibles de la fibra en la birrefringencia intrínseca. El procedimiento descrito en el documento US 6.020.584 no proporciona la descripción estadística deseada, debido a que las mediciones de la PMD están sesgadas por el acoplamiento de modo externamente inducido provocado por la tensión en la fibra.

- 45 El Solicitante ha concebido un procedimiento y un aparato mediante los cuales la colocación de una fibra óptica cuya PMD se está evaluando es tal que el acoplamiento de modo inducido externamente se reduce al mínimo, y tal colocación se puede cambiar automáticamente con el fin de obtener la distribución de Maxwell teóricamente esperada, al mismo tiempo que no se somete la fibra a perturbaciones que puedan afectar la birrefringencia intrínseca de la misma, tales como por ejemplo las tensiones de tracción, tensiones de compresión, presión lateral, curvado de la fibra.

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se ha propuesto un procedimiento de evaluación de la PMD de una fibra óptica como se establece en la reivindicación 1.

En resumen, el procedimiento comprende:

- 50 disponer la fibra óptica con una tensión sustancialmente igual a cero, sobre una superficie;  
 propagar las señales ópticas para la evaluación prescrita a lo largo de la fibra óptica;  
 medir los valores del Retardo de Grupo Diferencial (DGD) en respuesta a las citadas señales ópticas de evaluación;  
 repetir al menos una vez los citados actos de propagación y de medición, induciendo preliminarmente cada vez un cambio en un acoplamiento de modo de la fibra; y  
 55 determinar la PMD de la fibra sobre la base de un valor medio calculado del DGD.

El acto de inducir un cambio en el acoplamiento de modo de polarización de la fibra comprende desplazar al menos una sección de la fibra sustancialmente ortogonalmente a la superficie sobre la cual está dispuesta la fibra con una tensión sustancialmente igual a cero.

5 Se observa que, para los propósitos de la presente invención, con una tensión sustancialmente igual a cero se pretende que la fibra óptica esté dispuesta, por ejemplo, desplegada suelta sobre la superficie, en un estado relajado, en una condición sin tensión, en particular una condición que asegure que el acoplamiento de modo inducido externamente es minimizado. Una tensión sustancialmente igual a cero puede significar una tensión de fibra de menos de aproximadamente 20 gramos, preferiblemente menos de aproximadamente 10 gramos, más preferiblemente menos de aproximadamente 0,15 gramos (como en el caso de que la única fuente de tensión en la fibra sea su peso).

10 Preferiblemente, la al menos una sección de la fibra que es desplazada de forma sustancialmente ortogonal a la superficie es variable a lo largo de la fibra.

15 En una realización de la presente invención, la superficie sobre la cual está dispuesta la fibra es una superficie sustancialmente plana. El acto de disponer la fibra óptica sobre una superficie puede comprender disponer la fibra en una pluralidad de secciones de fibra sustancialmente rectilíneas unidas por secciones de fibra curvadas al menos parcialmente, que tienen un radio de curvatura mayor que un radio de curvatura mínimo, una longitud total de las secciones sustancialmente rectilíneas que es sustancialmente mayor que la longitud total de las secciones de fibra curvadas al menos parcialmente. En particular, el acto de disponer la fibra en una pluralidad de secciones de fibra sustancialmente rectilíneas puede comprender disponer la fibra sobre la superficie en una disposición sustancialmente en forma de "0", con dos disposiciones de secciones de fibra sustancialmente rectilíneas separadas lateralmente.

20

La acción de desplazar la al menos una sección de la fibra sustancialmente ortogonalmente a la superficie sobre la que está dispuesta comprende preferiblemente elevar al menos una porción de al menos un grupo de las secciones de fibra sustancialmente rectilíneas con respecto a la superficie, y volver a bajar la porción elevada. Preferiblemente, los tramos consecutivos de las secciones de fibra sustancialmente rectilíneas en al menos una de las dos disposiciones separadas lateralmente de secciones de fibra sustancialmente rectilíneas son elevadas y se vuelven a bajar en sucesión.

25

Alternativamente, el acto de disponer la fibra óptica en una superficie puede comprender disponer la fibra en círculos que tienen un radio de curvatura mayor que un radio de curvatura mínimo.

30 De acuerdo con todavía otra alternativa, la superficie sobre la cual está dispuesta la fibra es una superficie curvada, en particular una superficie genéricamente cilíndrica, que tiene una dimensión radial de al menos aproximadamente 30 cm.

En particular, los actos de disponer de la fibra óptica en una superficie pueden comprender:

35 proporcionar una bobina con una superficie de enrollado de fibra que tiene una dimensión radial variable, de una manera controlada entre una primera dimensión radial más grande, y una segunda dimensión radial más pequeña;  
 enrollar la fibra en la bobina mientras la superficie de enrollado tiene la primera dimensión radial, y reducir la dimensión radial de la superficie de enrollado hasta el segundo diámetro, de manera que la fibra quede suelta, en particular de manera que la tensión de la fibra se vuelva sustancialmente igual a cero (en el sentido definido más arriba).

40 De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato como se establece en la reivindicación 12, para ser utilizado en un proceso de evaluación de la PMD de una fibra óptica, para inducir automáticamente cambios en un acoplamiento de modo de la fibra.

45 En breve, el aparato comprende una superficie de disposición de fibras adaptada para que se disponga sobre la misma la fibra sometida a evaluación con una tensión sustancialmente igual a cero (en el sentido definido más arriba), y, asociado operativamente a la superficie de disposición de la fibra, un dispositivo de desplazamiento de la fibra que es activable para desplazar al menos una sección de la fibra sustancialmente ortogonalmente a la superficie de disposición de la fibra.

50 El dispositivo de desplazamiento de la fibra puede comprender un miembro de desplazamiento de la fibra que es amovible con respecto a la superficie de disposición de la fibra, para desplazar las secciones de la fibra en posiciones variables a lo largo de la fibra.

Preferiblemente, el miembro de desplazamiento de la fibra está adaptado para desplazar diferentes secciones sucesivas de la fibra.

55 En una realización de la invención, la superficie de disposición de la fibra es una superficie sustancialmente plana. El miembro de desplazamiento de la fibra puede estar adaptado para elevar al menos una sección de la fibra con respecto a la superficie de la configuración de la fibra, y para volver a bajar la sección de fibra elevada.

Alternativamente, la superficie de disposición de la fibra es una superficie curvada, en particular una superficie genéricamente cilíndrica, y tiene una dimensión radial de al menos aproximadamente 30 cm.

5 El aparato puede comprender una bobina con una superficie de enrollado de fibra que tiene una dimensión radial variable de un modo controlado entre una primera dimensión radial mayor y una segunda dimensión radial menor, siendo la diferencia entre la primera dimensión radial y la segunda dimensión radial tal que una reducción de la dimensión radial hace que una fibra enrollada en la bobina mientras la bobina tiene la primera dimensión radial se encuentre lo suficientemente floja para permitir que el dispositivo de desplazamiento de la fibra desplace la al menos una sección de la fibra. En particular, la reducción de la dimensión radial es tal que asegura que la tensión en la fibra sea sustancialmente igual a cero (en el sentido definido más arriba).

10 Usando el procedimiento y el aparato que se han descrito más arriba, el Solicitante ha podido caracterizar la PMD de las fibras con un alto grado de precisión (con respecto a las condiciones de cable esperadas), obteniendo una descripción estadística completa del efecto de la PMD. Esta gran precisión ha permitido al Solicitante comparar, desde el punto de vista de la exactitud de la evaluación de la PMD, diferentes despliegues de fibra equipolentes al despliegue de prueba en el suelo en términos de estadísticas de la PMD, pero industrialmente más conveniente que el despliegue de prueba en el suelo debido al limitado espacio requerido.

15 Las características y ventajas de la presente invención se harán evidentes por la descripción detallada que sigue de algunas realizaciones de la misma, proporcionadas meramente a modo de ejemplos no limitativos, descripción que se llevará a cabo haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que;

20 La figura 1 es una vista esquemática axonométrica, no a escala, de un aparato de acuerdo con una primera realización de la presente invención, para la inducción de cambios automáticamente en un acoplamiento de modo de polarización de la fibra óptica mediante la modificación de la disposición física de la fibra, estando adaptado en particular el aparato para ser utilizado en un procedimiento de evaluación de la PMD basado en la implementación de prueba en el suelo;

25 La figura 2 muestra esquemáticamente una vista en sección a lo largo de la línea II – II del aparato de la figura 1;

La figura 3 muestra esquemáticamente una vista en sección a lo largo de la línea III – III del aparato de la figura 1;

30 La figura 4 muestra esquemáticamente una disposición de medición para la evaluación de la PMD de una fibra óptica de acuerdo con el estándar IEC, utilizando un aparato de acuerdo con la presente invención para la inducción de cambios automáticamente en el acoplamiento de modo de la fibra óptica durante el proceso de evaluación de la PMD, por ejemplo el aparato de la figura 1;

La figura 5 muestra esquemáticamente un detalle de un aparato de acuerdo con una posible variante de la realización de la figura 1;

35 La figura 6 muestra muy esquemáticamente y en perspectiva un aparato para la inducción de cambios automáticamente en un acoplamiento de modo de la fibra óptica modificando la disposición física de la fibra de acuerdo con una realización alternativa de la presente invención, todavía adaptado para ser utilizado en el procedimiento de evaluación de la PMD de despliegue de prueba en el suelo, estando desplegada la fibra óptica en círculos en lugar de en secciones sustancialmente rectilíneas;

40 Las figuras 7A y 7B son dos diagramas que informan de los resultados de los ensayos de evaluación de la PMD realizados por el Solicitante en fibras ópticas hiladas y sin hilar, utilizando un aparato similar al de la figura 6, variando los radios de curvatura de las fibras desplegadas;

La figura 7C es un diagrama que muestra la variación del coeficiente PMDc con el diámetro de curvatura del despliegue de la fibra, (normalizada al coeficiente PMDc obtenido usando, por ejemplo, el aparato de la figura 1) de cinco fibras diferentes;

45 Las figuras 8A, 8B y 8C muestran esquemáticamente una vista lateral, una vista frontal y una vista en sección transversal (a lo largo de la línea VIII - VIII) de una bobina de diámetro variable adaptada para ser utilizada en un procedimiento de evaluación de la PMD con despliegue en una bobina a tensión sustancialmente igual a cero, de acuerdo con una realización de la presente invención;

50 Las figuras 9 y 10 ilustran esquemáticamente el uso de la bobina de diámetro variable de las figuras 8A, 8B y 8C en el procedimiento de evaluación de la PMD con despliegue en la bobina con una tensión sustancialmente igual a cero, de acuerdo con una realización de la presente invención;

Las figuras 11A y 11B son dos vistas esquemáticas de un aparato de acuerdo con una realización de la presente invención, adaptado para ser utilizado en combinación con la bobina de diámetro variable de las figuras 8A, 8B y 8C, para llevar a cabo el procedimiento de evaluación de la PMD con despliegue en la bobina con tensión sustancialmente igual a cero;

55 La figura 12 representa esquemáticamente, en vista en sección axial, otra realización de una bobina de diámetro variable, adaptada para ser utilizada en un procedimiento de evaluación de la PMD con despliegue en una bobina con tensión sustancialmente igual a cero, de acuerdo con una realización alternativa de la presente invención; y

60 Las figuras 13A y 13B representan esquemáticamente, en vista en sección axial, otra realización de una bobina de diámetro variable adaptada para ser utilizada en un procedimiento de evaluación de la PMD con despliegue con tensión sustancialmente igual a cero, de acuerdo con todavía otra realización de la presente invención.

Con referencia a los dibujos, y en particular a las **figuras 1, 2 y 3**, se muestra esquemáticamente un aparato de acuerdo con una primera realización de la presente invención, para inducir cambios automáticamente en el acoplamiento de modo de polarización de una fibra óptica durante un proceso de evaluación de la PMD de la fibra.

5 El aparato, identificado en su conjunto como **100**, comprende un par de conductos sustancialmente rectilíneos **101**, de longitud sustancialmente igual **L**, dispuestos sobre una superficie de soporte **103** (por ejemplo, el suelo de un entorno de medición) para que se extiendan lado a lado y sustancialmente paralelos uno con el otro en una primera dirección, y separados una distancia **D** en una segunda dirección, transversal, en particular ortogonal, a la primera dirección.

10 Cada conducto **101** tiene una pared de fondo **105**, destinada a ser puesta en contacto con la superficie de soporte o suelo **103**; la pared de fondo **105** tiene una superficie superior sustancialmente plana **107**; en particular, como se prescribe en el estándar IEC citado en la parte introductoria de la presente descripción, la superficie **107** tiene una suavidad igual o mejor que la de una hoja de papel de calidad 88 g / m<sup>2</sup>.

15 Cada conducto **101** también incluye un par de paredes de contención laterales, separadas lateralmente, **109**, sustancialmente coextensivas con el propio canal, elevándose desde la pared de fondo **105** y definiendo un canal entre las mismas, teniendo en el ejemplo no limitativo mostrado una anchura sustancialmente constante.

20 Los dos conductos **101** se utilizan para desplegar una fibra óptica **111** cuya PMD se va a evaluar; en particular, la fibra óptica **111** se despliega a lo largo de los dos canales definidos por las paredes laterales **109** de los dos conductos **101**, manteniéndose en la superficie **107** de la pared inferior **105** del conducto, con el fin de formar una pluralidad de vueltas, con una pluralidad de secciones de fibra óptica sustancialmente rectilíneas **113a** que se extienden sustancialmente rectilíneas a lo largo de cada conducto **101** en la citada primera dirección, unidas por secciones de fibra al menos parcialmente curvadas **113b** que se extiende entre los dos conductos **101** genéricamente en la citada segunda dirección.

Las paredes laterales **109** de los conductos **101** permiten contener lateralmente las secciones sustancialmente rectilíneas **113** de la fibra óptica desplegada **111**, las cuales, por lo tanto, se mantiene dentro de los dos canales.

25 En una realización de la presente invención, la longitud **L** de los conductos **101** es elegida para que sea aproximadamente del mismo orden que la longitud de resonancia  $L_B$  de la fibra. Típicamente, la longitud de resonancia  $L_B$  de una fibra óptica está en el intervalo de 1 m a 50 m, la longitud **L** de los conductos **101** se elige, por ejemplo, para que sea aproximadamente 10 m.

30 La distancia **D** entre los dos conductos **101** se elige dependiendo del radio de curvatura deseado de las secciones curvadas **113b** de la fibra óptica **111** que une las secciones sustancialmente rectilíneas **113a** en los dos conductos **101**. En particular, tal radio de curvatura se debe mantener suficientemente grande para no afectar el resultado de las mediciones a ser realizadas en la fibra. Una distancia adecuada **D** es, por ejemplo, de aproximadamente 1 m, lo que resulta en un radio de curvatura de aproximadamente 50 cm.

35 Teniendo en cuenta que la fibra óptica **111** puede tener una longitud típica del orden de un kilómetro, o más, se puede apreciar que la mayor parte de la fibra desplegada **111** se encuentra en los conductos **101**.

En una realización de la presente invención, los dos conductos **101** pueden estar unidos por sus extremos mediante segmentos de soporte curvados, para soportar las secciones curvadas **113b** de la fibra óptica. De lo contrario, las secciones curvadas **113b** se pueden colocar directamente sobre la superficie de soporte o suelo **103**.

40 El aparato **100** comprende, además, un dispositivo de elevación de las secciones rectilíneas **113a** de la fibra óptica con respecto a la superficie **107** de la pared de fondo **105** de los conductos **101**. En la realización mostrada de la invención, el dispositivo de elevación de fibra comprende un par de rodillos **115**, estando asociado cada uno de ellos a uno respectivo de los dos conductos **101** y, más en particular, estando alojado de manera amovible en el canal definido por el par de paredes laterales **109** del conducto respectivo **101**.

45 Los dos rodillos **115** son (en la realización mostrada, conjuntamente) amovibles hacia adelante y hacia atrás a lo largo de los conductos **101**. Un dispositivo de accionamiento de rodillo comprende un eje **117**, unido en los dos extremos del mismo a los dos rodillos **115**, y un cable de transmisión que comprende un cable **123** enrollado alrededor de una disposición de cuadrilátero de cuatro poleas **119a, 119b, 119c** y **119d**, dispuestas por pares **119a, 119b** y **119c, 119d**, estando situado cada par de poleas sustancialmente en uno respectivo de los dos extremos de los conductos **101**. Una de las poleas **119a** es una polea activa o impulsora, accionada, por ejemplo por un motor **121**; Alternativamente, el motor **121** puede ser sustituido por una manivela de accionamiento manual, adaptada para ser accionada por un operador humano; siendo las tres poleas restantes **119b, 119c** y **119d** poleas intermedias. El cable **123** es enrollado al menos una vez alrededor del eje **117**, con lo que el movimiento del cable **123** causada por la acción de la polea impulsora **119a** determina la rototraslación del eje **117** en la primera dirección.

50 En la realización que se muestra, los rodillos **115** ruedan a lo largo de los canales respectivos sin deslizamiento sobre la superficie **107**. En una realización alternativa, se puede hacer simplemente que los dos rodillos se deslicen de ida y vuelta a lo largo de los canales.

Se señala que el dispositivo de accionamiento de rodillos se puede realizar de varias maneras alternativas. Por ejemplo, el eje **117** puede tener un engranaje montado en el mismo y estar acoplado a un engranaje de accionamiento, o a una correa de transmisión dentada.

5 En uso, los dos rodillos **115** se colocan inicialmente en una posición de reposo, que se encuentra situada, por ejemplo, en un extremo de los dos conductos **101** o, alternativamente, en una posición intermedia a lo largo de los conductos **101**. La fibra **111** es desplegada, por ejemplo manualmente, disponiéndola suavemente sobre la superficie **107** de la pared de fondo **105** de los conductos **101**; en correspondencia con los rodillos **115**, la fibra **111** se dispone suavemente sobre los rodillos **115** y permanece ligeramente elevada con respecto a la superficie **107**.

10 En general, el diámetro de los dos rodillos **115** debe ser tal que el curvado inducido sobre la fibra **111** por la elevación con respecto a la superficie **107** tiene un radio de curvatura suficientemente grande para no afectar a las mediciones a realizar. Como se ha mencionado en lo que antecede, el estándar IEC prescribe un radio de curvatura de más de 15 cm. A modo de ejemplo, los dos rodillos **115** pueden ser dos bobinas convencionales normalmente utilizadas para enrollar las fibras ópticas para, por ejemplo, su transporte después de la producción (bobinas de transporte), que tienen típicamente un diámetro de aproximadamente 15 a 16 cm.

15 La fibra **111** es desplegada teniendo cuidado para asegurarse de que la tensión de la fibra es sustancialmente igual a cero, para no afectar el acoplamiento de modo de la fibra, por ejemplo, la fibra se despliega suelta, es decir, en un estado relajado, sobre la superficie **107**. Como cuestión de hecho, las únicas secciones de fibra que están sujetas a esfuerzos de tracción son las que cuelgan de los rodillos **115**, estando generada la tensión únicamente por el peso de la fibra. Suponiendo que los rodillos **115** tienen el diámetro del valor que se ha descrito más arriba (cumpliendo de esta manera con el requisito de radio de curvatura), las secciones de fibra que cuelgan de los rodillos son de aproximadamente 1 m de largo; una fibra óptica típica tiene un peso de aproximadamente 0,1 gramos / metro (posiblemente menos), por lo que, suponiendo por simplicidad que el peso de la fibra se traduce integralmente en una fuerza de tracción longitudinal dentro de la fibra, las secciones de fibra que cuelgan de los rodillos (las únicas secciones de la fibra sujetas a la tensión) son sometidas con una tensión de tracción de aproximadamente 0,1 gramos: este valor es tan bajo que los efectos sobre el acoplamiento de modo de la fibra son insignificantes. Se observó también que aunque algunas secciones de fibra se puede superponer a otras secciones de fibra, el efecto sobre el acoplamiento de modo de la fibra es insignificante, debido al hecho de que la fibra se despliega suelta, con una tensión sustancialmente igual a cero (las secciones de fibra subyacentes simplemente experimentan el peso diminuto de las secciones de fibras superpuestas).

20 Como es visible en la **figura 2**, los dos rodillos **115** preferiblemente tienen bridas laterales o rebordes **125**, comportándose como flancos laterales de contención de las secciones de fibra **113a**.

25 El aparato que se muestra en las **figuras 1, 2 y 3** está adaptado para ser utilizado en una disposición de evaluación de la PMD, que se representa en una forma extremadamente esquemática en la **figura 4** e identificado allí por **400**, de acuerdo con las prescripciones del estándar IEC, en particular, la disposición de evaluación de la PMD **400** es del tipo prescrito para la evaluación de la PMD de la fibra siguiendo el Procedimiento B que se ha mencionado en la parte introductoria de la presente descripción.

30 Sin entrar en detalles bien conocidos en la técnica, la disposición **400** comprende una fuente óptica **401**, un ajustador de polarización **403** en la salida de la fuente óptica **401** y, aguas abajo del ajustador de polarización **403**, un polarizador **405**. La fibra óptica **111** que va a ser caracterizada se despliega en el aparato **100** como se ha descrito en lo que antecede. A continuación, un extremo (el extremo de entrada) **111i** de la fibra **111** es conectado a una salida del polarizador **405**; un extremo opuesto (el extremo de salida) **111o** de la fibra está conectado a un polarímetro **407**. Una unidad de cálculo **409**, por ejemplo, un ordenador personal, está asociado con el polarímetro **407**, para la realización de los cálculos necesarios para evaluar la PMD de la fibra óptica a partir de los datos de medición.

35 Dos tipos de fuentes de luz pueden ser utilizados, en función del tipo de polarímetro: una fuente de banda estrecha tal como un láser sintonizable puede ser utilizado con un analizador de polarización; como alternativa, una fuente de banda ancha puede ser utilizada con un polarímetro de filtrado de paso de banda estrecha, tal como un analizador de espectros ópticos o un interferómetro utilizado como un analizador de espectro de transformada de Fourier dispuesto antes del polarímetro.

40 Un valor medio del DGD se determina a continuación de acuerdo con el procedimiento establecido en el estándar IEC. La fuente óptica **401** explora las longitudes de onda en un rango dependiendo de la región de longitud de onda operativa de la fibra óptica y de la precisión deseada de la medición. El incremento de longitud de onda se elige en dependencia del valor máximo del DGD. Para cada longitud de onda, el polarizador **405** realiza ciclos de las tres polarizaciones de entrada entre los valores nominales 0°, 45° y 90°, y los datos se registran en tres vectores de salida.

45 Los datos de medición fueron recogidos para cada longitud de onda, y se realizaron los cálculos matemáticos. Como resultado se obtuvo, una serie de valores del DGD con respecto a la longitud de onda.

A continuación, por medio del aparato **100**, se induce un cambio en el modo de acoplamiento de la fibra óptica **111**. Con este propósito, el motor **121** se activa, y se obliga a los rodillos **115** a desplazarse desde, por ejemplo, uno de

los extremos de los conductos **101** al extremo opuesto de los mismos, y a continuación de vuelta a la posición inicial. El movimiento de ida y vuelta de los rodillos **115** provoca una especie de onda que se propaga de ida y vuelta a lo largo de las secciones sustancialmente rectilíneas **113a** de la fibra óptica **111**, como se muestra esquemáticamente en la **figura 3**. Las diferentes porciones de las secciones rectilíneas **113a** de la fibra **111** en los dos conductos **101** por lo tanto se elevan sucesivamente con respecto a la superficie **107** en una altura **H**, por ejemplo, aproximadamente 15 cm, y a continuación son bajadas suavemente a la superficie **107** cuando los rodillos **115** se desplazan hacia delante o hacia atrás en su movimiento de ida y vuelta a lo largo de los conductos **101**. La fibra **111** se eleva en tramos **Ls** de aproximadamente 1 m de longitud. Al final de este proceso, la elevación y el descenso de las secciones de fibra sustancialmente rectilíneas **113a** determina un cambio global en el despliegue de la fibra óptica que modifica el acoplamiento de modo de la fibra. Como ya se ha observado, las secciones de fibra sustancialmente rectilíneas **113a** constituyen la parte predominante de la fibra óptica **111**, por lo tanto el movimiento de los rodillos **115** a lo largo de los conductos **101** permite cambiar el despliegue de una parte sustancial de la fibra **111** y la modificación resultante del acoplamiento de modo de la fibra es efectiva.

Después de haber inducido un cambio del acoplamiento de modo de la fibra por medio del movimiento de ida y vuelta de los rodillos **115** a lo largo de los conductos **101**, a continuación se repiten las mediciones del DGD para esta nueva configuración de fibra óptica. Todo el proceso se repite un número determinado de veces hasta que son recogidos suficientes datos. El procedimiento de medición debe repetirse hasta que se obtenga una buena distribución de Maxwell de los valores del DGD. Puesto que en una distribución de Maxwell normalizada la desviación estándar  $\sigma$  es proporcional a la raíz cuadrada del valor medio  $\mu$ , cuanto más elevado sea el valor medio del DGD (que corresponde por definición a la PMD), más ancha será la distribución. En particular, la relación  $\mu / \sigma$  es casi igual a 2,37. Una distribución de los valores del DGD medidos puede considerarse como una aproximación aceptable a la distribución de Maxwell teórica si la relación  $\mu / \sigma$  está comprendida entre 1,5 y 3. El número de valores de DGD necesarios para obtener una curvada que sea una buena aproximación a la distribución de Maxwell depende del valor de la PMD. Puesto que un rango de longitud de onda típico es de aproximadamente 100 nm, y un paso de longitud de onda típicamente apropiado es 10 nm, en una sola medición (después de cada cambio inducido por el acoplamiento de modo de la fibra) se recogen diez valores del DGD. Las fibras típicas requieren alrededor de 300 valores de DGD, por lo tanto el procedimiento de medición se pueden repetir aproximadamente treinta veces. Cuanto mayor sea el número de repeticiones, mayor será el número de datos de DGD reunidos para diferentes configuraciones de fibras ópticas, mejor se aproximará la distribución de los valores medidos de DGD aproxima a una curva de Maxwell de la ecuación:

$$f(x) = \frac{2x^2}{\sigma^3 \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\left(\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)\right], \quad \text{para } x \geq 0.$$

en la que  $x$  identifica los valores medidos de DGD, en picosegundos.

A continuación, los cálculos realizados por la unidad de cálculo **409** permiten determinar el valor esperado del DGD y, como consecuencia, el coeficiente  $PMD_c$  dado por:

$$PMD_c = \frac{1}{\sqrt{L}} \int_0^{+\infty} x f(x) dx$$

en el que  $L$  es la longitud de la fibra óptica **111**, longitud que deberá ser mayor de 0,5 Km, para garantizar la condición de acoplamiento de modo aleatorio.

El aparato **100** asegura que las mediciones de la PMD no se verán afectadas por el acoplamiento de modo inducido externamente, y permite modificar fácilmente el comportamiento de acoplamiento de modo de la fibra óptica mediante el cambio de la disposición física de la misma, sin dar lugar a entrelazados de diferentes vueltas de fibra unas alrededor de las otras; la fibra que está bajo evaluación, dispuesta suelta sobre la superficie de despliegue, se encuentra en una condición relajada cuando se realizan las mediciones de la PMD, y el cambio de la disposición física de la fibra no induce ni torsiones ni tensiones en la fibra, que pudiesen alterar las mediciones debido a que la PMD evaluada se ajustaría a un valor dependiendo de que la configuración física particular de la fibra. De esta manera, el aparato **100** permite cambiar repetidamente la configuración de la fibra óptica sin hacer que la fibra tienda a una configuración estable física que haría, desde ese punto en adelante, sustancialmente invariable a la configuración de la fibra desde el punto de vista de la evaluación de la PMD.

Se observa que, en función del material (por ejemplo, plástico) del que están hechos los rodillos **115**, o del material que cubre la superficie activa de los rodillos, se puede producir una carga electroestática más o menos pronunciada de la fibra **111**. Este efecto puede ser convenientemente utilizado en el aparato **100**, debido a que, gracias a la carga

electroestática adquirida, las diferentes secciones adyacentes sustancialmente rectilíneas de fibra **113a** tienden a repeler unas a las otras; esta repulsión mutua contribuye a prevenir la formación de entrelazados de las fibra. Las paredes de contención laterales **109** de los conductos **101** y los flancos de rodillos **125** aseguran que la fibra se mantenga dentro de los conductos **101**, incluso en presencia de un cierto nivel de repulsión electrostática. En cualquier caso, si el efecto de repulsión electrostática llegar a ser demasiado pronunciado, con el riesgo de que la fibra se escape de los conductos **101**, se puede utilizar un pulverizador antiestático para reducir la repulsión a niveles aceptables.

En la **figura 5** se representa esquemáticamente un detalle de un aparato de acuerdo con otra realización de la presente invención. En esta realización, el dispositivo para la elevación de la fibra óptica con respecto a la superficie **107** comprende una barra **517** que, de manera similar a la del eje **117** en la realización anterior, se extiende transversalmente a los conductos **101**. En cada extremo libre de la barra **517**, se proporciona un elemento anular respectivo **515**, que tiene un orificio a través del cual pasan las secciones **113a** de la fibra durante el despliegue de la fibra. De esta manera, cada elemento anular mantiene un tramo de fibra de longitud **L<sub>s</sub>** de las secciones de fibra sustancialmente rectilíneas **113a**, elevando la superficie **107** de la pared de fondo **105**. Se proporciona un mecanismo de accionamiento de la barra similar al representada en la **figura 1**, para hacer que la barra **517** se desplace de ida y vuelta a lo largo de los conductos **101**, así como para hacer que todas las secciones sustancialmente rectilíneas **113a** de la fibra óptica sean elevadas progresivamente y dispuestas de nuevo sobre la superficie **107**. En principio, las secciones de fibra óptica **113a** podrían ser colocadas simplemente sobre la barra **517**, sin embargo la provisión de los dos elementos anulares **515** impide que las secciones individuales de fibras ópticas **113a** se deslicen hacia abajo de la barra. Se hace notar que la barra **517** o los elementos anulares **515** deberán tener una superficie de soporte de fibra suficientemente grande para no producir curvaturas de fibra con radios de curvatura pequeños. Consideraciones similares sobre la tensión sustancialmente igual a cero de la fibra como las realizadas en lo que antecede se aplican también a esta realización de la invención.

Se hace notar que las realizaciones de la invención descritas hasta ahora son susceptibles de varias modificaciones. Por ejemplo, la disposición de los dos conductos **101** con paredes de contención laterales **109** no se debe interpretar como limitativa, ya que también se podría utilizar un único conducto de suficiente anchura (siendo la anchura del conducto tal que las secciones de fibras curvadas tengan radios de curvatura suficientemente grande). En este caso, los dos rodillos pueden ser sustituidos por un único rodillo de una anchura suficiente. Los dos conductos **101** (o, en la alternativa citada, el único conducto) pueden ser formados por canales rebajados en la superficie de soporte o suelo **103**. En otra realización alternativa, siempre que la superficie de soporte o suelo **103** sea lo suficientemente lisa, la fibra óptica también puede ser colocada directamente sobre la superficie de soporte o el suelo, y en este caso, no se podría proporcionar ningún conducto; sin embargo, el efecto de repulsión electrostática entre las diferentes secciones de la fibra deberá estar estrechamente controlado. Además, entre las mediciones subsiguientes, se puede proporcionar un simple movimiento en un solo sentido de los rodillos **115** desde un extremo hasta el extremo opuesto de los conductos **101**, en lugar de un movimiento de ida y vuelta, e incluso un movimiento parcial de los rodillos podría ser suficiente, sin que se extendiese en toda la longitud del conducto.

El aparato de la **figura 1**, considerado junto con la variante de la **figura 5**, proporciona un ejemplo de aplicación de los principios de la presente invención a una técnica de evaluación de la PMD de fibra óptica basada en el despliegue de prueba en el suelo de la fibra, que implica un despliegue de fibra sustancialmente rectilínea. La disposición del dispositivo de elevación de la fibra realiza un aparato que permite la implementación de una denominada evaluación estadística de la PMD de despliegue de prueba en suelo.

Como se ha mencionado en lo que antecede, el despliegue de prueba en suelo hace coincidir mejor las condiciones de funcionamiento de una fibra óptica en la vida real (en particular, en condiciones en cable), y los resultados de la evaluación de la PMD son así más precisos. Sin embargo, el despliegue sustancialmente rectilíneo de la fibra óptica puede resultar no perfectamente adecuado en vista de una aplicación industrial, debido principalmente a que se requiere un área grande para la realización de la prueba (en el ejemplo mencionado en lo que antecede, se requiere un área de aproximadamente 10 m por 1 m sólo para el despliegue de la fibra).

El espacio ocupado se podría reducir mediante el despliegue de la fibra en círculos, en lugar de hacerlo en secciones sustancialmente rectilíneas, como se representa esquemáticamente en la **figura 6**: en esta realización alternativa de la presente invención, identificada en su totalidad por el número de referencia **600**, los dos conductos **101** del aparato de la **figura 1** han sido sustituidos por un canal anular **601**, que tiene, por ejemplo, una forma circular, que tiene una pared de fondo con una superficie **607** de suavidad adecuada (de acuerdo con lo prescrito por el estándar IEC), en la que se dispone la fibra **111**, y dos paredes verticales **609** para contener lateralmente la fibra óptica **111**.

En la realización mostrada, el dispositivo de elevación de la fibra comprende un rodillo **615** hecho para que se desplace (o simplemente se deslice) a lo largo del canal **601** por un mecanismo de accionamiento adecuado que comprende, por ejemplo, una barra **617** conectado a un árbol motorizado **619** accionado, por ejemplo, por un motor eléctrico **621**.

De manera similar a la del aparato de la **figura 1**, el movimiento del rodillo **615** a lo largo del canal **601** causa una elevación progresiva de secciones de fibra en forma de arco, y permite la inducción de cambios en el acoplamiento de modo de la fibra entre los diferentes pasos de medición, que se pueden realizar con una disposición similar a la

disposición **400** que se ha descrito en relación con la **figura 4**. Al rodillo **615**, por ejemplo, se le puede obligar a que realice una vuelta completa a lo largo del canal **601** después de cada etapa de medición.

5 Consideraciones similares a las realizadas en relación con el aparato de la **figura 1** se aplican, en particular con respecto a la tensión sustancialmente igual a cero dentro de la fibra sometida a evaluación, y también en este caso se pueden considerar varias modificaciones: por ejemplo, la provisión física del canal **601** podría ser dispensada, y la fibra **111** podría ser desplegada suelta directamente sobre la superficie de soporte o suelo (siempre que este último tenga una suavidad suficiente), aproximadamente en círculos, o el rodillo **615** puede ser sustituido por medios de elevación alternativos, por ejemplo, del tipo descrito en relación con la **figura 5**.

10 El despliegue de la fibra en círculos aproximados en lugar de en secciones sustancialmente rectilíneas permite reducir el área ocupada por la disposición de evaluación de la PMD, en particular, el área de ocupación depende en gran medida del diámetro del canal anular **601** (más en general, en el diámetro de los círculos con los que se despliega la fibra). Sin embargo, los efectos de las curvaturas de la fibra en la PMD evaluada necesitan ser tomadas en cuenta. Cuanto mayor sea el radio de curvatura del canal anular **601**, menor será la influencia del curvado de la fibra en la evaluación de la PMD, mejores serán los resultados del procedimiento de evaluación de la PMD (en el sentido de que la PMD derivada del procedimiento de evaluación se asemeja más a la PMD real que la fibra óptica presentará en el campo).

Adoptando una configuración como la representada en la **figura 6**, el Solicitante realizó, en diferentes fibras ópticas, procedimientos de evaluación repetidos de la PMD, variando de tiempo en tiempo el diámetro del canal **601**, es decir, el radio de curvatura de la fibra desplegada.

20 En particular, se sometieron a prueba dos tipos diferentes de fibras ópticas: una fibra hilada y una fibra sin hilar. A diferencia de sus homólogas sin hilar, las fibras ópticas hiladas se obtienen aplicando un par de torsión a la fibra durante el proceso de estirado de la fibra. El citado par de torsión hace que la fibra se someta a una rotación alrededor de sus ejes longitudinales, con una deformación torsional resultante del material de la fibra en la zona caliente. Esta deformación se realiza en la fibra de manera que exhibe un "giro" permanente, es decir, una deformación de torsión permanente. El giro de la fibra es una técnica consolidada para reducir la PMD de una fibra.

25 Para cada fibra, la PMD de la fibra ha sido evaluada ejecutando mediciones repetidas del DGD como se ha explicado en lo que antecede, cambiando el comportamiento del acoplamiento de modo de la fibra después de cada medición por medio del dispositivo de elevación de la fibra. Además, para cada fibra, los efectos del radio de curvatura de la fibra en la PMD evaluada se han investigado mediante la repetición de procedimientos de evaluación de la PMD con canales anulares **601** de diferentes diámetros.

30 El Solicitante ha descubierto que la PMD evaluada depende en gran medida del radio de curvatura de la fibra óptica bajo evaluación, y que las fibras ópticas del tipo hilado exhiben un comportamiento opuesto, en lo que se refiere a los efectos del curvado de la fibra en la PMD evaluada, en comparación con las fibras sin hilar, como se ha informado en los dos diagramas de las **figuras 7A** y **7B**. En estos diagramas, se han informado los coeficientes  $PMD_c$  de la fibra evaluados con radios de curvatura de fibra iguales a aproximadamente 8 cm, 16,5 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm y 50 cm, (los puntos en los diagramas), junto con el coeficiente  $PMD_c$  evaluado para la misma fibra adoptando el aparato de la **figura 1**, proporcionando un despliegue sustancialmente rectilíneo de la fibra (una línea de trazos en cada diagrama).

40 En particular, en ambos casos la evaluación del coeficiente  $PMD_c$  tiende asintóticamente al coeficiente  $PMD_c$  que es evaluado en el caso del despliegue sustancialmente rectilíneo, que se obtiene adoptando el aparato de la **figura 1**. Sin embargo, mientras que en el caso de la fibra de hilar (**figura 7A**) el  $PMD_c$  evaluado disminuye con la disminución del radio de curvatura de la fibra, en el caso de la fibra hilada (**figura 7B**) los  $PMD_c$  evaluados aumentan a medida que disminuye el radio de curvado de la fibra. También, a partir de los dos diagramas se puede suponer que mientras que para la fibra hilada el valor asintótico de  $PMD_c$  se alcanza con relativa rapidez (el valor asintótico  $PMD_c$  ya se alcanza para un radio de curvatura de aproximadamente 30 cm), la fibra sin hilar sólo alcanza el valor asintótico de  $PMD_c$  después de que el radio de curvatura aumente a aproximadamente 50 cm.

45 La **figura 7C** reporta los resultados del procedimientos de evaluación de  $PMD_c$  llevado a cabo en cinco fibras ópticas diferentes, especialmente el índice de paso, las fibras de modo único que cumplen con el estándar ITUT G.652 y considerados equivalentes comercialmente uno con el otro; en este diagrama se reportan, para cada fibra el coeficiente  $PMD_c$  evaluado para despliegues de diámetro de curvatura variable (20 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm, 100 cm) (los valores de  $PMD_c$  están normalizados para cada fibra al valor  $PMD_c$  que se evalúa para esa fibra, adoptando el despliegue de fibra sustancialmente rectilínea permitido por, por ejemplo, el aparato **100** de la **figura 1**). Se puede apreciar que para todas las cinco fibras ensayadas, un despliegue que implica un diámetro de curvatura de la fibra de aproximadamente 100 cm proporciona un  $PMD_c$  cercano al evaluado adoptando un despliegue sustancialmente rectilíneo. Sorprendentemente, para dos de las fibras ensayadas (**D** y **A**), se experimenta una desviación relativamente importante del coeficiente  $PMD_c$  evaluado en el caso de un despliegue de fibra que implica un diámetro de curvatura de fibra de menos de aproximadamente 60 cm con respecto al coeficiente  $PMD_c$  evaluado para un despliegue sustancialmente rectilíneo.

El Solicitante por lo tanto ha observado que, con el fin de hacer que la PMD evaluada no se vea afectado por el curvado de la fibra (aumentando con ello la precisión de los procedimientos de evaluación de la PMD y la fiabilidad de las mediciones, con independencia de las características de la fibra), se necesita un radio de curvatura de la fibra relativamente grande, por lo menos aproximadamente 30 cm (correspondiente a un diámetro de curvatura de aproximadamente 60 cm), en otras palabras, el radio de curvatura mínimo de 15 cm prescrito por el estándar IEC no es realmente suficiente para asegurar que la PMD evaluada no se vea afectada por los efectos debidos al curvado de la fibra. En particular, la realización de la evaluación de la PMD en una fibra desplegada de tal manera que el radio de curvatura sea del orden de 15 cm, de acuerdo con lo prescrito por el estándar IEC, produce, en el caso de una fibra sin hilar, una subestimación de la PMD real exhibida en el campo, con la consecuencia de que una fibra puede ser declarado erróneamente conformes con las características de velocidad de transmisión de datos prescritos mientras que no lo es; por el contrario, en el caso de una fibra hilada, la PMD se sobreestimó (lo que significa que algunas fibras pueden ser descartadas por considerarse no conformes con las calificaciones especificadas, mientras que por el contrario serían perfectamente cumplidoras).

Por lo tanto, el Solicitante ha encontrado que, con el fin de obtener las PMD evaluadas de la fibra que no dependan de los efectos espurios debidos al curvado de la fibra, es necesario desplegar la fibra en círculos que tengan diámetros suficientemente grandes, y, preferiblemente, mayores de 60 cm, de manera que la PMD evaluada no se vea afectada por efectos de curvado de la fibra independientemente del tipo de fibra (hilada y sin hilar).

Se señala que este notable resultado se ha logrado gracias al hecho de que, de acuerdo con la presente invención, el Solicitante ha ideado en primer lugar un procedimiento para estimar con precisión la PMD de la fibra, mediante la realización de una evaluación estadística de despliegue de prueba de suelo real de la PMD de la fibra, en la que la colocación de las fibras es tal que garantiza que el acoplamiento de modo inducido externamente es minimizado, y se han realizado cambios inducidos automáticamente del acoplamiento de modo de la fibra. En particular, en el caso de un despliegue de la fibra substancialmente rectilínea, este procedimiento permite lograr una estimación muy precisa de la PMD de la fibra, muy cercana a la PMD real de la fibra, para ser utilizada como un valor de referencia, y también para obtener estimaciones muy precisas de la PMD, aun cuando se adopten diferentes despliegues de fibra.

En lo que sigue, se explican realizaciones alternativas de la presente invención que permiten la aplicación de los principios de la presente invención a un despliegue de fibra de bobina a baja tensión mejorado, teniendo en cuenta los resultados de la explicación anterior, con el fin de lograr estimaciones relativamente precisas de la PMD de la fibra de una manera más práctica en vista de una aplicación industrial.

En particular, en la realización que se muestra esquemáticamente en las **figuras 8A, 8B y 8C**, se proporciona una bobina **801** en la que una fibra óptica que va a ser caracterizada puede ser enrollada. La bobina **801** comprende un cuerpo cilíndrico **803** de la bobina, que tiene un diámetro de al menos aproximadamente 60 cm, y dos bridas **805** en las dos bases del cuerpo cilíndrico **803** de la bobina, de diámetro más grande que el cuerpo **803** de la bobina. En cada pestaña **805**, una pluralidad de orificios pasantes **809** de diámetro adecuado (por ejemplo, ligeramente mayor que 2 cm) están distribuidos preferentemente regularmente en sucesión circunferencial a una distancia radial prescrita de un eje longitudinal del cuerpo **803** de la bobina (en el ejemplo que se muestra, tres orificios). Los orificios pasantes **809** en las dos bridas **805** están alineados axialmente, con el fin de poder recibir varillas **811**; cada varilla **811** se puede deslizar dentro y fuera de un par de orificios enfrentados axialmente **809** en las dos bridas opuestas **805**, así como para se pueden extender axialmente al cuerpo **803** a una distancia predeterminada de la superficie externa del mismo, por ejemplo, las varillas pueden tener un diámetro de aproximadamente 2 cm, y se extienden a una distancia de aproximadamente 3 cm de la superficie externa del cuerpo de la bobina. Se proporciona un rodillo **813** adaptado, por ejemplo, para rodar alrededor de la superficie externa del cuerpo **803** de la bobina bajo la acción de un mecanismo de accionamiento adecuado, un ejemplo del cual se representa esquemáticamente en las **figuras 11A y 11B** y se describirá más adelante.

Antes de que la fibra óptica que va a ser caracterizada se enrolle en la bobina **801**, las varillas **811** se insertan en los orificios **809**. De esta manera, se consigue un incremento ficticio del diámetro del cuerpo **803** de la bobina, por ejemplo, el diámetro del cuerpo de la bobina se puede incrementar aproximadamente un 10%. Cuando la bobina está equipada con las varillas, se produce una superficie de enrollado de fibra que, aunque no es exactamente cilíndrica, es genéricamente cilíndrica. Sin embargo, cuanto mayor sea el número de las varillas **811**, más se aproximará la superficie definida por la envoltura de las varillas a una superficie cilíndrica regular.

A continuación, la fibra óptica **111** que va a ser caracterizada se enrolla en la bobina **801** equipada con las varillas **811** y por lo tanto tiene un diámetro incrementado en comparación con el diámetro del cuerpo de la bobina, como se representa esquemáticamente en la **figura 9**. Esta operación se puede realizar utilizando una máquina de enrollado convencional, del tipo normalmente utilizado para enrollar las fibras en las bobinas de transporte antes del transporte; en la fase de enrollado, no se necesita ninguna precaución particular para asegurar que la fibra se enrolla con tensión baja (la fibra quedará suelta en una fase posterior, como se describirá más adelante), por lo que el proceso de enrollado puede ser bastante rápido.

Con referencia a la **figura 10**, después de que la fibra **111** se haya enrollado en la bobina **801**, las varillas **811** se deslizan fuera de los orificios **809**. De esta manera, la fibra **111** sigue siendo enrollada suelta alrededor del cuerpo

de la bobina, en una condición relajada (se hace notar que, en este dibujo el efecto de aflojamiento de la fibra producido por la eliminación de la varilla es muy exagerado).

A continuación, la bobina **801** con la fibra enrollada suelta **111** se monta en un dispositivo de desplazamiento (elevación) de la fibra **1100**, que se representa esquemáticamente en las **figuras 11A y 11B**. El dispositivo **1100** comprende un panel vertical **1101**, provisto de un sujetador **1103** adaptado para acoplarse a un orificio central **821** provisto en el cuerpo de la bobina. También se proporciona un tambor **1105**, con un orificio central adaptado para recibir un extremo de una manivela **1113** cuyo otro extremo está acoplado a una espiga del rodillo **813**, y está montado sobre una placa **1107** que está montada de forma giratoria al panel **1101** y accionada por un motor **1109** con el fin de rotar en el plano del panel **1101**.

Los dos extremos **111i** y **111o** de la fibra **111** están conectados al polarizador **405** y al polarímetro **409** de la disposición de medición **400** de la **figura 4**, y el procedimiento de evaluación de la PMD es iniciado. Los valores de DGD se recogen como es prescrito por el estándar IEC.

Después de que cada conjunto de valores de DGD se haya agrupado mediante la repetición de las medidas con la fibra en una misma disposición física, se induce un cambio automático del acoplamiento de modo de la fibra **111** haciendo que el rodillo **813** gire en torno al eje longitudinal del cuerpo de la bobina; para ello, el motor **1121** se activa y hace que la placa **1107** gire, con lo que el tambor **1105** transmite el movimiento de rotación a la manivela **1113**, que hace que el rodillo **813** ruede alrededor de la superficie externa del cuerpo **803** de la bobina. Gracias a la holgura de la fibra **111**, cuando el rodillo **813** gira alrededor del eje longitudinal del cuerpo de la bobina, diferentes porciones de la fibra **111** se mueven alejándose y a continuación volviendo a una posición más cercana al eje longitudinal del cuerpo de la bobina; en otras palabras, diferentes porciones de la fibra **111** son elevadas progresivamente y a continuación bajan de nuevo en sucesión con respecto a una superficie ideal sobre la que la fibra **111** se encuentra en estado de reposo, de manera similar a lo sucedido en el aparato de **figura 1**, una onda se propaga a lo largo de la fibra. La disposición física de la fibra **111** es por lo tanto variada, y el comportamiento de acoplamiento de modo de la fibra, cambia.

Se observa que, después de que la fibra **111** quede floja alrededor del cuerpo de la bobina al eliminar las varillas **811**, la tensión en la fibra es sustancialmente igual a cero, con el fin de no afectar el acoplamiento de modo de la fibra. De manera similar al despliegue de la prueba en el suelo, por ejemplo, en la **figura 1**, las únicas secciones de la fibra que están sometidas a esfuerzos de tracción son aquellas que cuelgan del cuerpo de la bobina en la parte inferior de la misma, siendo generada la tensión únicamente por el peso de la fibra. Suponiendo por ejemplo, que la circunferencia del cuerpo de la bobina es de aproximadamente 3 m, las secciones de fibra que cuelgan son de aproximadamente 1,5 m de largo; teniendo una fibra óptica típica un peso de aproximadamente 0,1 gramos / metro (posiblemente menos), y suponiendo por simplicidad que el peso de la fibra se traduce integralmente en una fuerza de tracción longitudinal dentro de la fibra, las secciones de fibra que cuelgan del cuerpo de la bobina están sometidas a un esfuerzo de tracción de aproximadamente 0,15 gramos: este valor es tan bajo que los efectos sobre el acoplamiento de modo de la fibra son insignificantes. También se observa que aunque algunas secciones de la fibra se superponen a otras, el efecto sobre acoplamiento de modo de la fibra es insignificante, debido al hecho de que la fibra está suelta alrededor del cuerpo de la bobina, sustancialmente a tensión igual a cero (las secciones de fibra subyacentes experimentan simplemente el peso minúsculo de las secciones superpuestas de la fibra).

De esta manera, un procedimiento de evaluación de la PMD con despliegue de la bobina con tensión sustancialmente igual a cero se implementa, que está adaptado para tener en cuenta la naturaleza estadística de la PMD. Se consigue de este modo una evaluación bastante precisa de la PMD de la fibra.

Se observa que esta realización de la invención también es susceptible de varias modificaciones. Por ejemplo, en lugar de proporcionar el motor **1121**, se puede proporcionar un mecanismo de transmisión accionado a mano. Además, se pueden utilizar bobinas de enrollado de la fibra que tienen superficies de enrollado de la fibra que no son cilíndricas ni genéricamente cilíndricas.

La **figura 12** muestra esquemáticamente una bobina de enrollado de diámetro variable **1201** de acuerdo con una realización diferente. De manera similar a la realización anterior, la bobina **1201** comprende un cuerpo cilíndrico **1203** de bobina, que tiene un diámetro de al menos aproximadamente 60 cm, y dos bridas **1205** en las dos bases del cuerpo cilíndrico **1203** de la bobina, de diámetro más grande que el cuerpo **1203** de la bobina. En cada brida **1205**, se forma una distribución circunferencial preferiblemente regular de orificios pasantes axialmente alineados **1209**, a una distancia radial preestablecida desde un eje longitudinal del cuerpo de la bobina. Los orificios pasantes axialmente alineados **1209** están adaptados para recibir de forma deslizante las varillas **1211**; pudiendo deslizarse cada varilla **1211** dentro y fuera de un par respectivo de orificios enfrentados **1209** en las dos bridas opuestas **1205**, para extenderse axialmente al cuerpo **1203** de la bobina a una distancia predeterminada desde superficie exterior del mismo (por ejemplo, las dimensiones similares a las citadas en relación con la realización anterior son adecuadas).

El cuerpo **1203** de la bobina es hueco en su interior, y se proporciona una pluralidad de pequeños canales pasantes **1223** que se extiende radialmente a través del cuerpo de la bobina.

De manera similar a la bobina de diámetro variable de la realización anterior, la fibra que va a ser caracterizada se enrolla en la bobina **1201** con las varillas **1211** en su posición, de manera que el diámetro del cuerpo de la bobina está incrementado ficticiamente. De esta manera, no se necesita tomar ninguna precaución particular en el procedimiento de enrollado de fibra para garantizar que la tensión de la fibra sea suficientemente baja.

- 5 A continuación, todas o sólo algunas de las varillas **1211** se retiran, deslizándolas fuera sus pares respectivo de orificios alineados axialmente. De esta manera, la fibra que va a ser caracterizada queda enrollada suelta alrededor del cuerpo de la bobina (también en este caso, la tensión dentro de la fibra después de que se ha quedado enrollada suelta es sustancialmente igual a cero, influyendo de manera despreciable en el acoplamiento de modo de la fibra, y sólo depende del peso de la fibra).
- 10 Los dos extremos de la fibra están conectados al polarizador y el polarímetro, y las mediciones del DGD se recogen como se ha descrito en lo que antecede.

- Con el fin de cambiar el acoplamiento de modo de la fibra, un flujo de un fluido a presión adecuado, por ejemplo aire a presión, se alimenta al orificio central del cuerpo de la bobina **1203**, mediante la conexión del mismo a un conducto **1225**. El fluido a presión, que sale a través de los canales **1223** hace que la disposición física de la fibra varíe, en particular, hace que la fibra sea elevada de forma aleatoria y a continuación baje de nuevo con respecto a la superficie del cuerpo de la bobina.
- 15

- Finalmente, las **figuras 13A y 13** muestran esquemáticamente una bobina de enrollado de diámetro variable **1301** de acuerdo con todavía otra realización de la presente invención. De manera similar a las realizaciones anteriores, la bobina **1301** comprende un cuerpo cilíndrico **1303** de la bobina, que tiene un diámetro de al menos aproximadamente 60 cm, y dos bridas **1305a, 1305b** en las dos bases del cuerpo cilíndrico **1303** de la bobina, de diámetro mayor que el del cuerpo **1303** de la bobina.
- 20

Una brida **1305b** de las dos bridas **1305a, 1305b** se puede retirar del cuerpo **1303** de la bobina con el fin de permitir una que almohadilla toroidal inflable / desinflable **1327** sea deslizada dentro y fuera del cuerpo **1303** de la bobina.

- Con el fin de aumentar ficticiamente el diámetro del cuerpo **1303** de la bobina, la almohadilla toroidal **1327** se infla inicialmente con un gas o líquido adecuado, por ejemplo, aire; de esta manera, el diámetro aparente del cuerpo de la bobina se incrementa. A continuación, una fibra que va a ser caracterizada se enrolla en la bobina **1301**, de nuevo sin la necesidad de poner un cuidado especial para asegurar que la tensión de la fibra sea suficientemente baja. A continuación, la almohadilla toroidal se desinfla, con el fin de reducir el diámetro de la misma. La brida **1305b** se desmonta del cuerpo de la bobina, y la almohadilla **1327** se retira. De esta manera, la fibra se queda enrollada suelta sobre el cuerpo de la bobina.
- 25
- 30

Un dispositivo de elevación de la fibra similar al rodillo giratorio que se muestra en la **figura 11A**, que es obligado a desplazarse manualmente o por medio de un aparato similar al que se muestra en las **figuras 11A y 11B** puede ser utilizado para elevar la fibra con el fin de inducir el cambio deseado de acoplamiento de modo.

- Las realizaciones que se han descrito en relación con las **figuras 8A, 8B y 8C, 12 y 13A, 13B** proporcionar bobinas de diámetros variables adaptadas para ser utilizadas en el contexto del procedimiento de evaluación de la PMD de despliegue en la bobina con tensión sustancialmente igual a cero, de acuerdo con una realización de la presente invención, en la que el acoplamiento de modo de la fibra bajo evaluación no es perturbado externamente, por ejemplo, por esfuerzos de tracción, y un cambio automático del acoplamiento de modo de la fibra está previsto. En particular, todas estas bobinas de diámetro variable están adaptadas para dejar suelta fácilmente a la fibra enrollada, relajada, lo que permite un reordenamiento mecánico automático de la misma. Sin embargo, aunque una modificación automática de la disposición física de la fibra es preferida, nada impide el uso de las bobinas de diámetro variable de acuerdo con la presente invención en un contexto de modificación manual de la disposición física de la fibra, por ejemplo, realizando una fricción manual a la fibra óptica suelta. En general, la provisión de una bobina de enrollado de fibra de diámetro variable hace que sea más fácil enrollar la fibra que va a ser caracterizada, porque no hay necesidad de controlar cuidadosamente el proceso de enrollado de la fibra con el fin de garantizar que la tensión de la fibra es adecuadamente baja.
- 35
- 40
- 45

- Se señala que las realizaciones de la invención que se han descrito en lo que antecede son meramente ejemplares y no en absoluto limitativas: son concebibles varias otras realizaciones que son adecuadas para el propósito de cambiar el comportamiento del acoplamiento de modo de la fibra sometida a evaluación. Por ejemplo, la acción de elevación mecánica de la fibra que, en la realización de la **figura 1** se lleva a cabo, por ejemplo, por los rodillos **115**, también se podría conseguir utilizando un flujo presurizado correctamente de un fluido adecuado, tal como aire, de manera similar a la realización de la **figura 12**, o proporcionando la pared de fondo **105** de los conductos **101** con baldosas que pueden ser elevadas y vueltas a bajar de manera selectiva.
- 50

- Los procedimientos que se han descrito en lo que antecede están adaptados en particular para la caracterizar completamente, con un alto grado de precisión, la PMD de una única fibra óptica. Sin embargo, habiendo encontrado que si el diámetro de la bobina utilizada para enrollar la fibra es mayor que aproximadamente 60 cm, la birrefringencia intrínseca de la fibra no se altera, y por lo tanto una configuración de fibra única proporciona un conjunto de valores medidos del DGD compatible con la distribución de Maxwell del DGD precisa, el Solicitante ha encontrado que,
- 55

5 con propósitos de caracterización industrial, podría ser suficiente realizar una sola medición por fibra producida, o incluso una sola medición por lote de fibras producidas (desplegadas a baja tensión sobre una bobina de diámetro convenientemente grande, mayor que aproximadamente 60 cm, por ejemplo, utilizando una bobina de diámetro variable de uno de los tipos que se han descrito en lo que antecede), sin repetir las mediciones después de la inducción de cambios en el acoplamiento de modo de la fibra. Por ejemplo, una única medición para una sola de las fibras ópticas producidas a partir de una misma preforma de fibra puede ser realizada, y se puede asumir que la PMD evaluada caracteriza todas las fibras ópticas producidas a partir de esa preforma (a condición de que se pueda asumir que la preforma es relativamente uniforme). De esta manera, se mide la distribución de la PMD de una población de fibras, y el proceso de producción completo se puede caracterizar desde el punto de vista de la PMD.

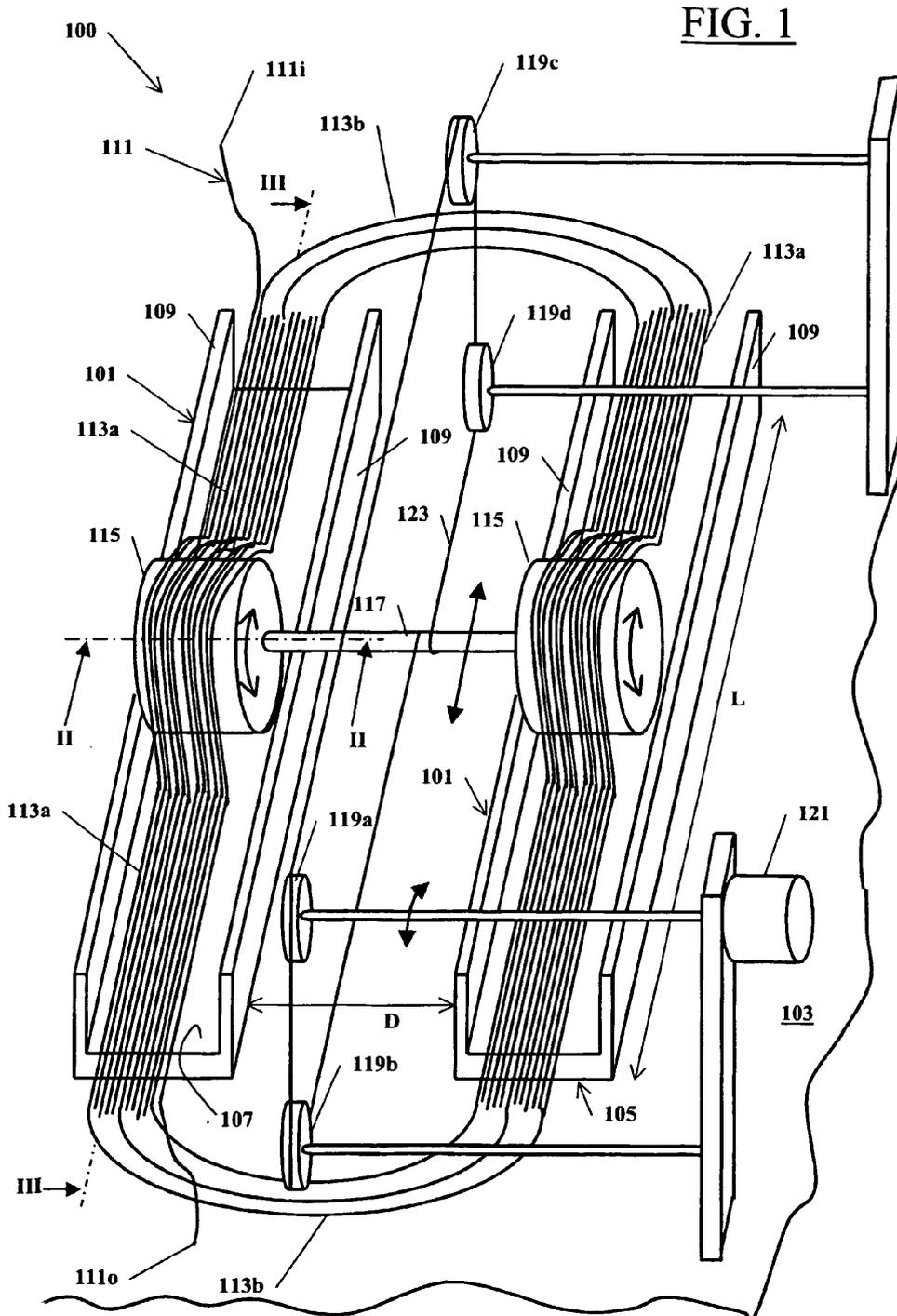
10

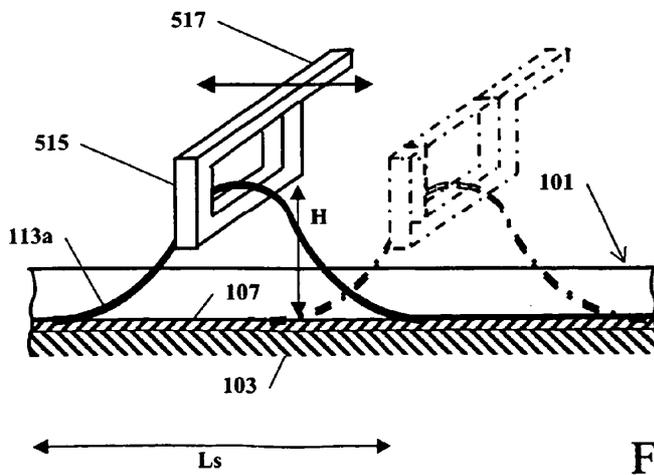
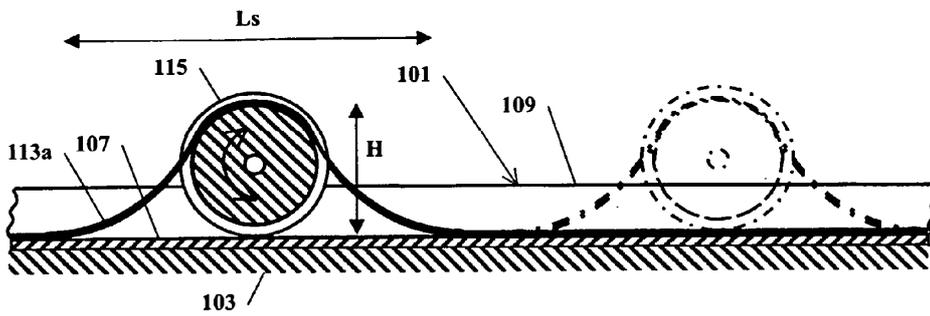
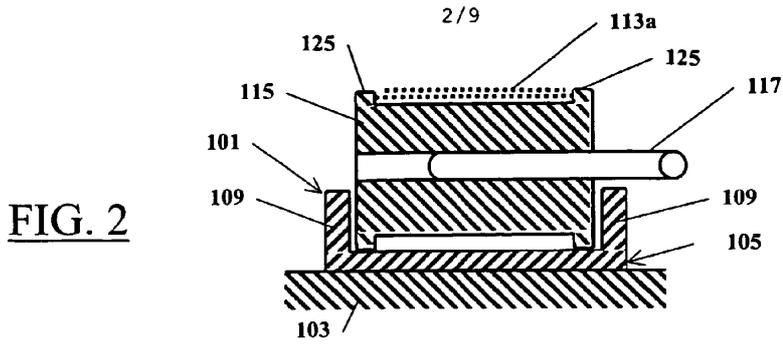
**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para evaluar la dispersión del modo de polarización (PMD) de una fibra óptica (111), que comprende:
  - 5           disponer la fibra óptica sobre una superficie (107) con una tensión sustancialmente igual a cero, en una condición relajada, no sometida a esfuerzo;
  - propagar las señales ópticas de evaluación prescritas a lo largo de la fibra óptica;
  - medir los valores del Retardo de Grupo Diferencial (DGD) de la fibra en respuesta a la citadas señales ópticas de evaluación;
  - 10           repetir al menos una vez los citados actos de propagación y de medición, induciendo cada vez preliminarmente un cambio en un acoplamiento de modo de la fibra; y
  - determinar la PMD de la fibra sobre la base de un valor medio calculado del DGD,
  - que se caracteriza porque:**
    - el procedimiento comprende, además, proporcionar al menos un miembro de desplazamiento de la fibra (115, 813) asociado operativamente con la superficie y amovible con respecto a la superficie:
    - 15           - la citada disposición de la fibra óptica en la superficie con una tensión sustancialmente igual a cero, en una condición relajada, no sometida a esfuerzo, comprende, además, desplegar una porción de la fibra en el al menos un miembro de desplazamiento de la fibra de modo que la citada porción de fibra sea elevada sustancialmente ortogonalmente con respecto a la superficie, y
    - 20           - la citada inducción de un cambio en el acoplamiento de modo de polarización de la fibra comprende desplazar al menos una sección (Ls) de la fibra sustancialmente ortogonalmente a la superficie, moviendo el al menos un miembro de desplazamiento de la fibra con respecto a la superficie, y a continuación, deteniendo el al menos un miembro de desplazamiento de la fibra para llevar de nuevo la fibra óptica a la condición relajada, no sometida a esfuerzos, con una tensión sustancialmente igual a cero.
2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la citada disposición de la fibra óptica con una tensión sustancialmente igual a cero sobre una superficie incluye disponer la fibra sobre la superficie con una tensión igual o inferior a aproximadamente 20 gramos, preferiblemente igual o inferior a aproximadamente 10 gramos, más preferiblemente igual o inferior a 0,15 gramos.
3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que la citada al menos una sección de la fibra que es desplazada sustancialmente ortogonalmente a la superficie es variable a lo largo de la fibra.
- 30 4. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la citada superficie es una superficie sustancialmente plana.
5. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, en el que la citada disposición de la fibra óptica sobre una superficie comprende disponer la fibra en una pluralidad de secciones de fibra sustancialmente rectilíneas (113a) unidas por secciones de fibra al menos parcialmente curvadas (113b) que tienen un radio de curvatura mayor que un radio de curvatura mínimo, siendo la longitud total de las secciones sustancialmente rectilíneas sustancialmente mayor que la longitud total de las secciones de fibra al menos parcialmente curvadas.
- 35 6. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la citada disposición de la fibra en una pluralidad de secciones de fibra sustancialmente rectilíneas comprende disponer la fibra sobre la superficie en una disposición generalmente en forma "0", con dos disposiciones separadas lateralmente de secciones de fibra sustancialmente rectilíneas.
- 40 7. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, en el que el citado desplazamiento de la al menos una sección de la fibra sustancialmente ortogonal a la superficie de elevación comprende elevar al menos una porción de al menos un grupo de las secciones de fibra sustancialmente rectilíneas con respecto a la superficie, y la bajar de nuevo la porción elevada.
- 45 8. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, que comprende elevar y bajar de nuevo en tramos sucesivamente consecutivos (Ls) de secciones de fibra sustancialmente rectilíneas, en la al menos una de las dos disposiciones separadas lateralmente de secciones de fibra sustancialmente rectilíneas.
- 50 9. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, en el que la citada disposición de la fibra óptica sobre una superficie comprende disponer la fibra en círculos que tienen un radio de curvatura mayor que un radio de curvatura mínimo.

10. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la citada superficie es curvada y tiene una dimensión radial de al menos aproximadamente 30 cm.
11. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, en el que la citada superficie es una superficie genéricamente cilíndrica.
- 5 12. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10 u 11, en el que la citada disposición de la fibra óptica sobre una superficie comprende:
- proporcionar una bobina (**801**; **1201**; **1301**) con una superficie de enrollado de fibra que tiene una dimensión radial variable de una manera controlada entre una primera dimensión radial mayor y una segunda dimensión radial menor;
- 10                   enrollar la fibra en la bobina donde la superficie de enrollado tiene la primera dimensión radial, y
- reducir la dimensión radial de la superficie de enrollado a la segunda dimensión radial, de manera que haga que la fibra quede holgada.
13. Un aparato para inducir automáticamente cambios en un acoplamiento de modo de polarización de una fibra óptica (**111**), que comprende:
- 15                   una superficie (**107**) de disposición de la fibra adaptada para disponer una fibra sometida a prueba dispuesta sobre la misma con una tensión sustancialmente igual a cero, en un estado relajado, no sometida a esfuerzos, y
- un dispositivo de desplazamiento (**115**; **813**; **1223**) de la fibra asociado operativamente con la superficie de disposición de la fibra, de tal manera que una porción de la fibra se pueda desplegar sobre el elemento de desplazamiento de la fibra, de manera que la citada porción de la fibra sea elevada sustancialmente ortogonalmente con respecto a la superficie, en el que el dispositivo de desplazamiento de la fibra es activable para desplazar al menos una sección (**Ls**) de la fibra sustancialmente ortogonalmente a la superficie de disposición de la fibra y a continuación, devolver de nuevo la fibra óptica a la condición de tensión relajada, no sometida a esfuerzo, con una tensión igual a cero.
- 20
- 25 14. El aparato de acuerdo con la reivindicación 13, en el que la citada superficie de disposición de la fibra está adaptada para tener una fibra sometida a prueba dispuesta sobre la misma, con una tensión igual o inferior a aproximadamente 20 gramos, preferiblemente igual o inferior a aproximadamente 10 gramos, más preferiblemente igual o inferior a 0,15 gramos.
- 30 15. El aparato de acuerdo con la reivindicación 13 o 14, en el que el citado dispositivo de desplazamiento de la fibra comprende un miembro de desplazamiento de la fibra amovible con respecto a la superficie de disposición de la fibra para desplazar las secciones de la fibra en posiciones variables a lo largo de la fibra.
16. El aparato de acuerdo con la reivindicación 15, en el que el citado elemento de desplazamiento de la fibra está adaptado para desplazarse en diferentes secciones sucesivas de la fibra.
- 35 17. El aparato de acuerdo con la reivindicación 15 o 16, en el que la citada superficie de disposición de la fibra es una superficie sustancialmente plana.
18. El aparato de acuerdo con la reivindicación 17, en el que el citado miembro de desplazamiento de la fibra está adaptado para elevar la al menos una sección de la fibra con respecto a la superficie de disposición de la fibra, y para bajar de nuevo la sección elevada de la fibra.
- 40 19. El aparato de acuerdo con la reivindicación 15 o 16, en el que la citada superficie de disposición de la fibra es curvada y tiene una dimensión radial de al menos aproximadamente 30 cm.
20. El aparato de acuerdo con la reivindicación 19, en el que la citada superficie de disposición de la fibra es una superficie genéricamente cilíndrica.
- 45 21. El aparato de acuerdo con la reivindicación 19 o 20, que comprende una bobina (**801**; **1201**; **1301**) con una superficie de enrollado de la fibra que tiene una dimensión radial variable de una manera controlada entre una primera dimensión, radialmente mayor y una segunda dimensión, radialmente menor, siendo la diferencia entre la primera dimensión radial y la segunda dimensión radial tal que una reducción de la dimensión radial hace que una fibra enrollada en la bobina mientras la bobina tiene la primera dimensión radial quede suficientemente suelta para permitir que la disposición de desplazamiento de la fibra desplace la al menos una sección de la fibra.
- 50 22. Un aparato para la evaluación de la Dispersión del Modo de Polarización (PMD) de una fibra óptica (**111**), que comprende el aparato para inducir automáticamente cambios en un acoplamiento de modo de polarización de la fibra de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 21.

5





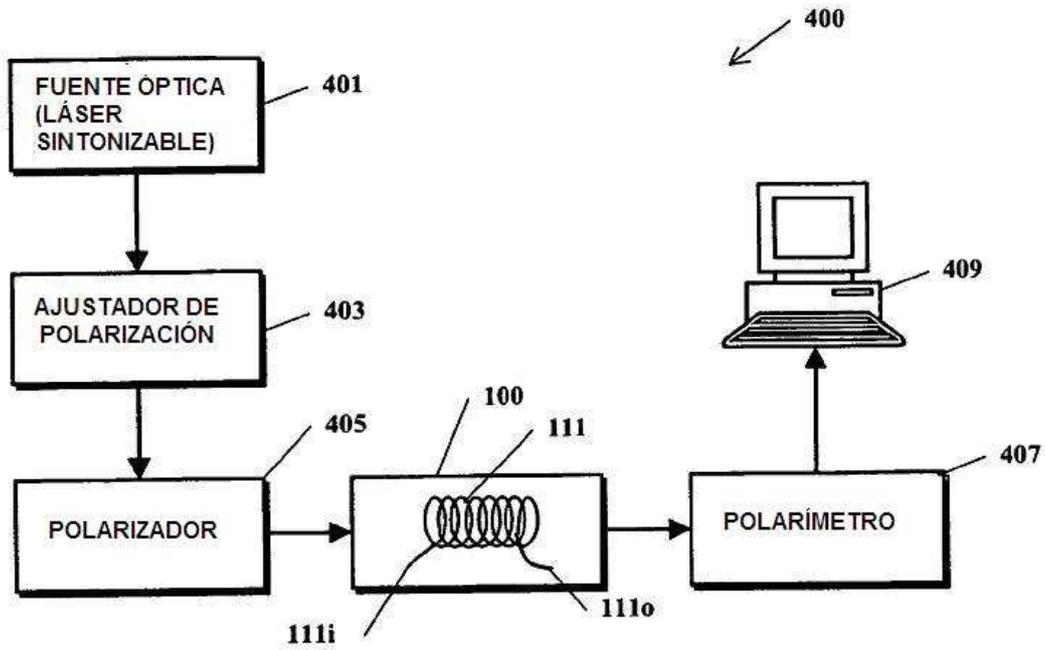


FIG. 4

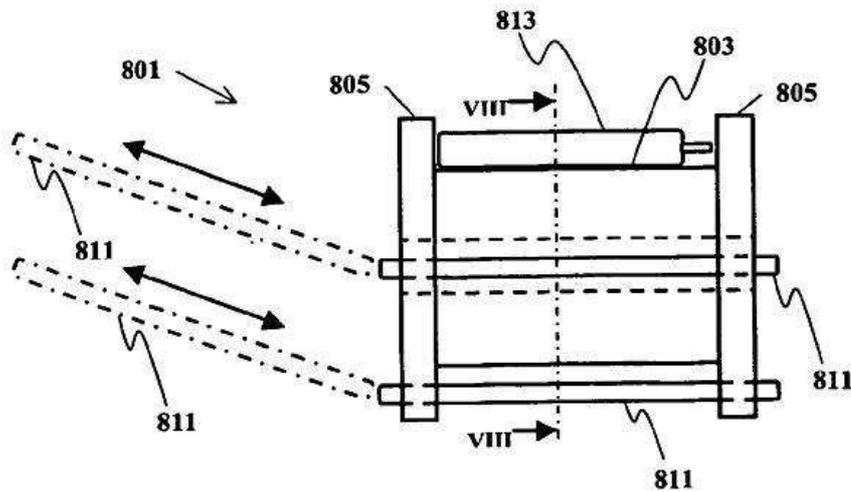
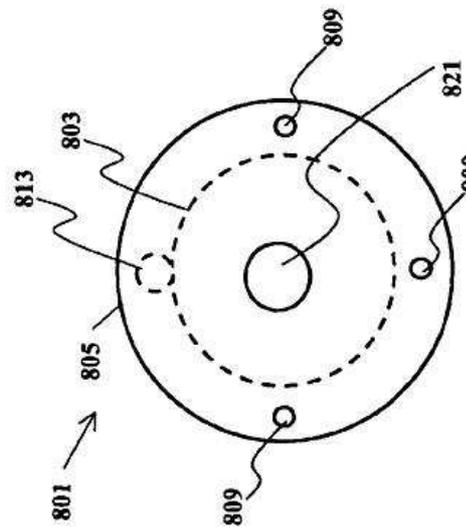
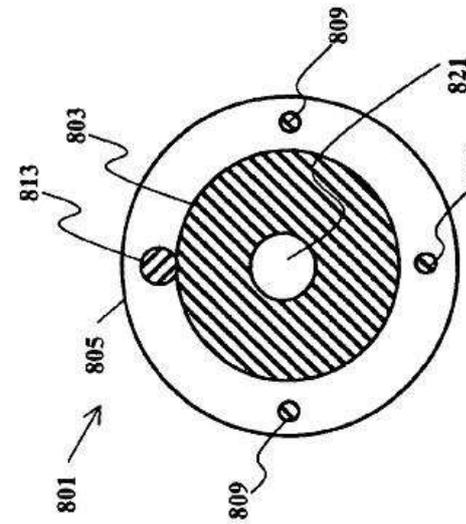
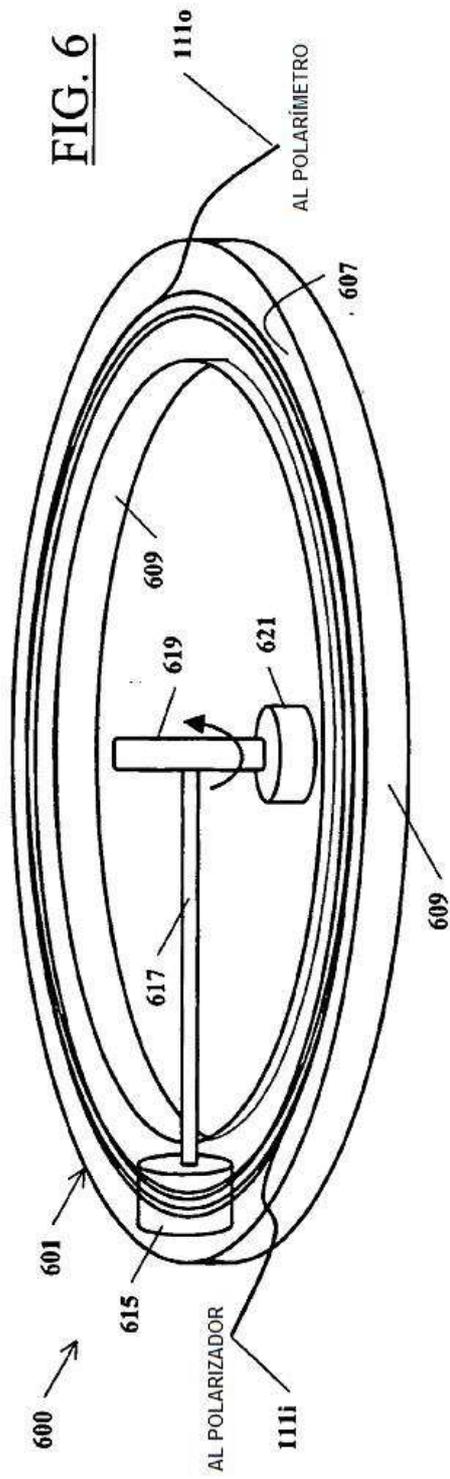
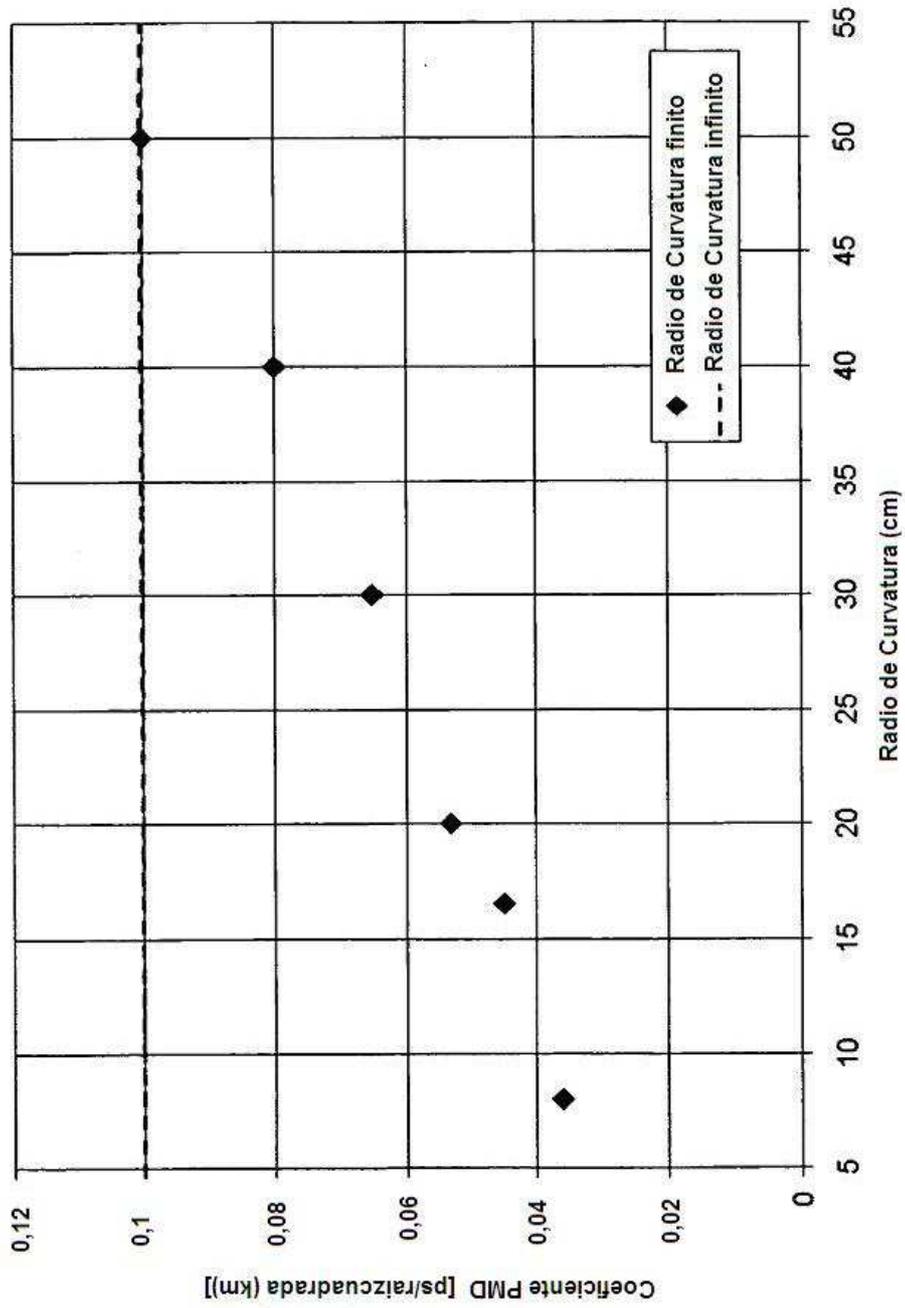


FIG. 8A





**FIG. 7A**

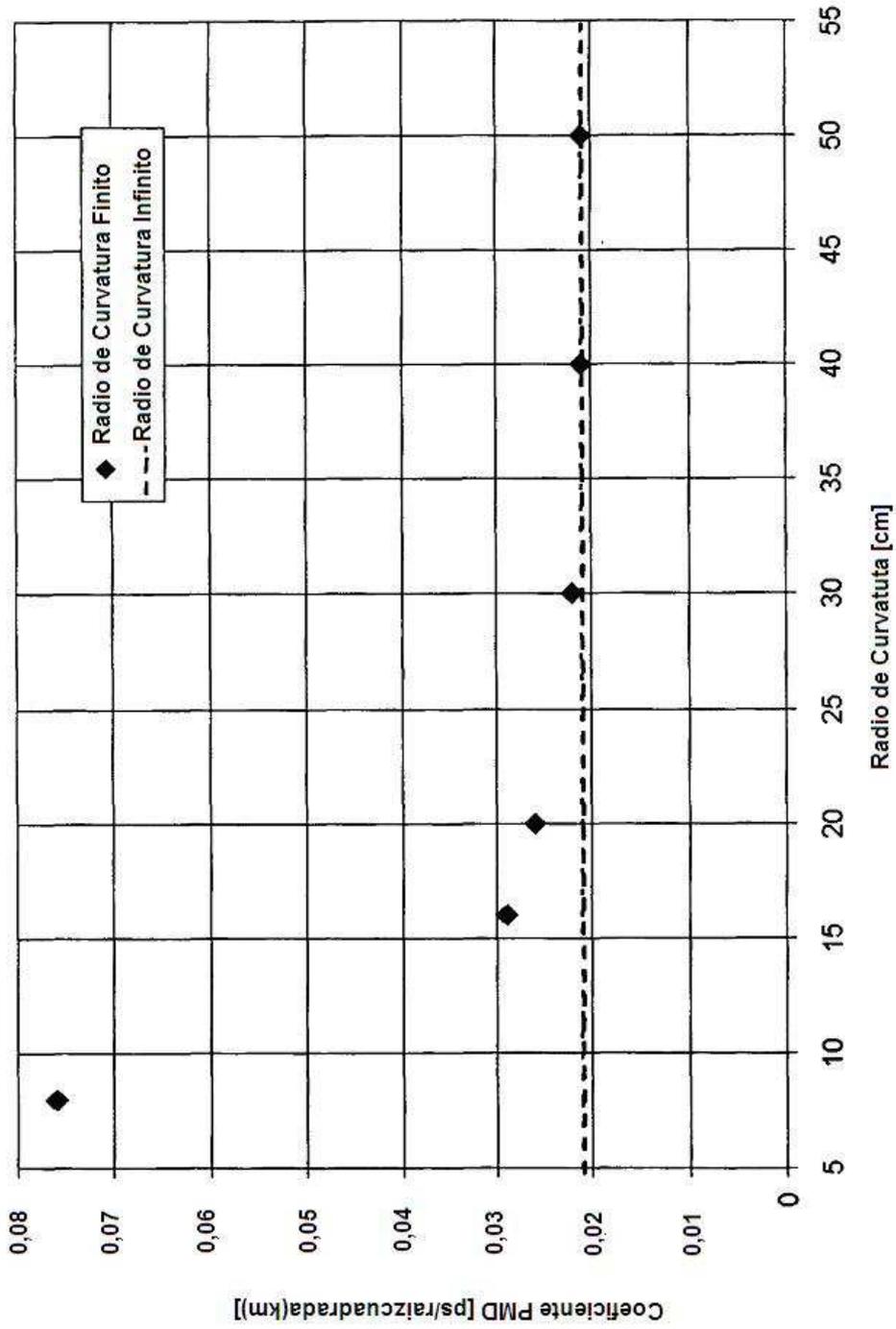
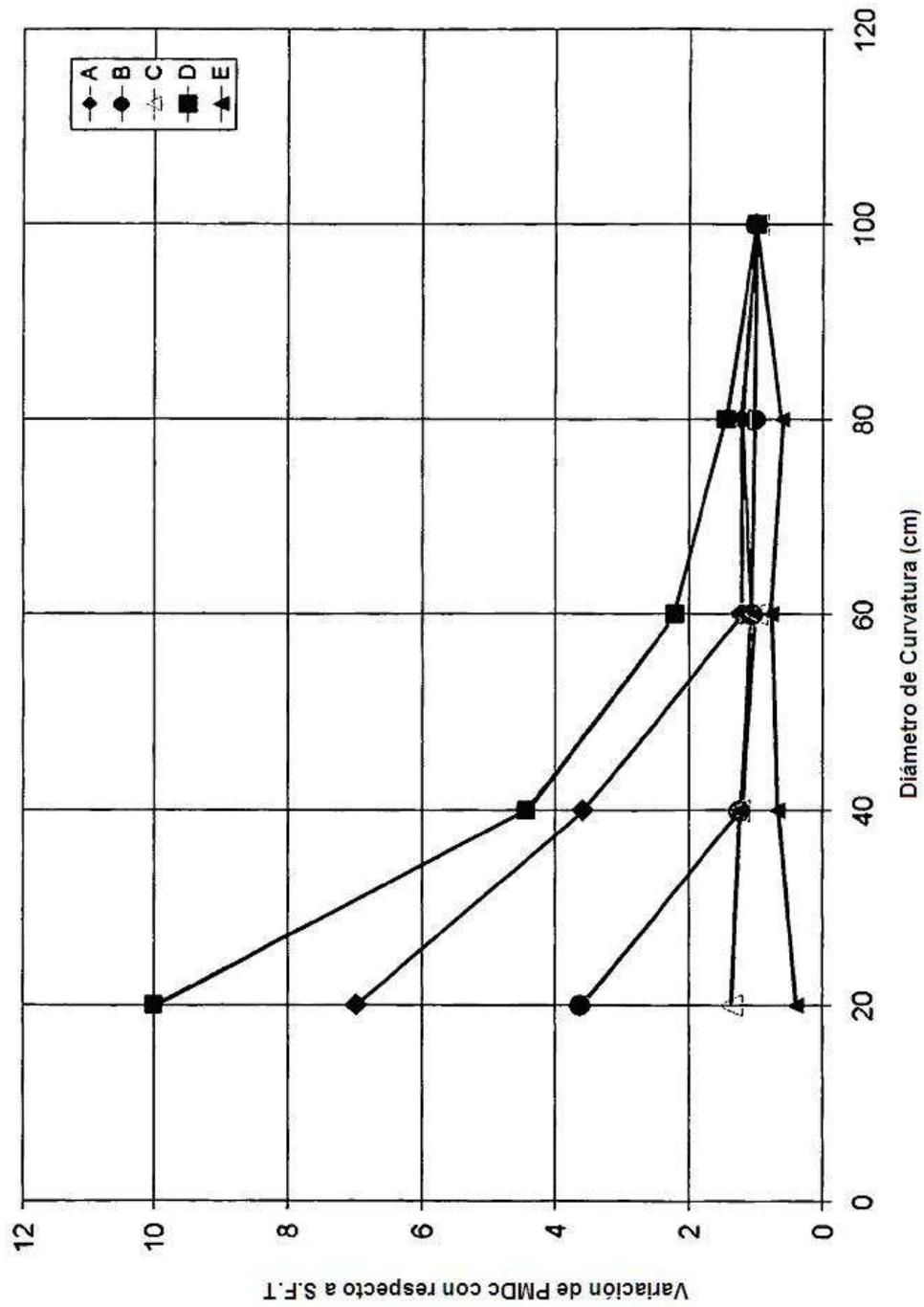
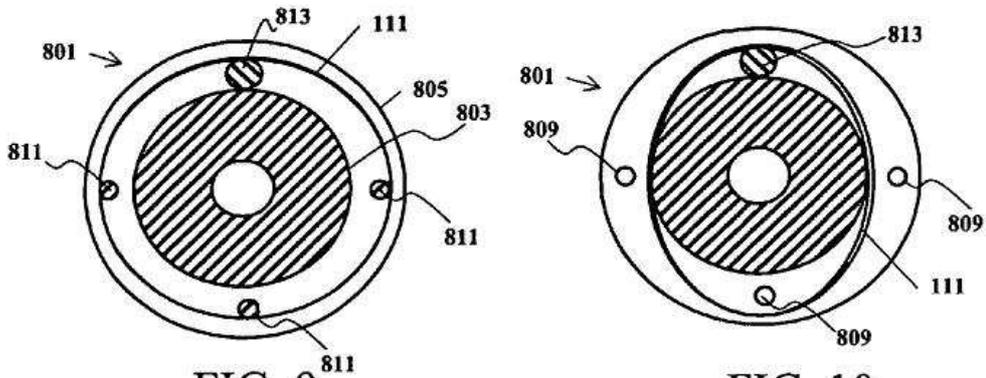


FIG. 7B

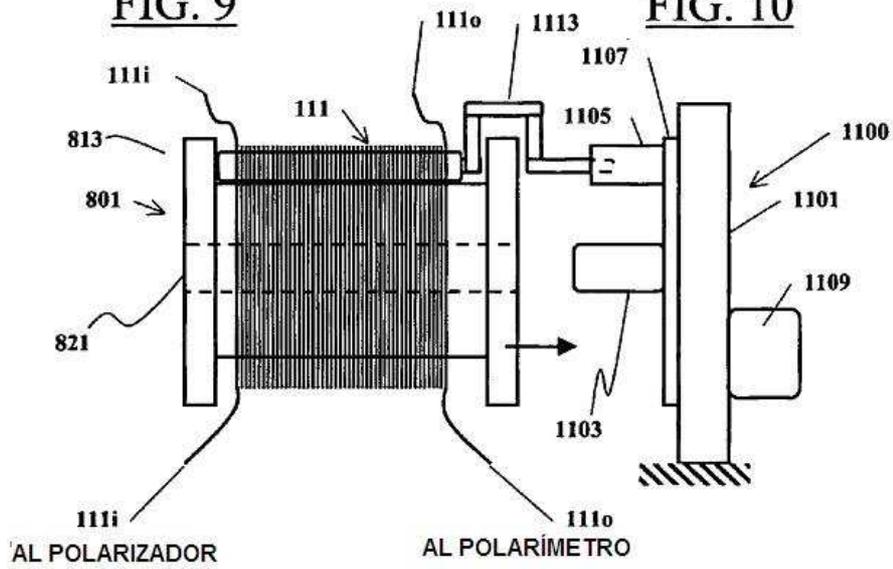


**FIG. 7C**



**FIG. 9**

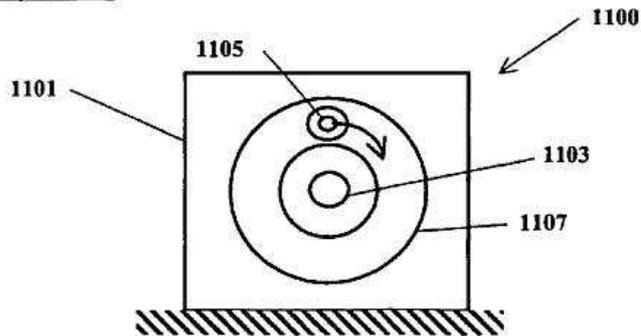
**FIG. 10**



AL POLARIZADOR

AL POLARÍMETRO

**FIG. 11A**



**FIG. 11B**

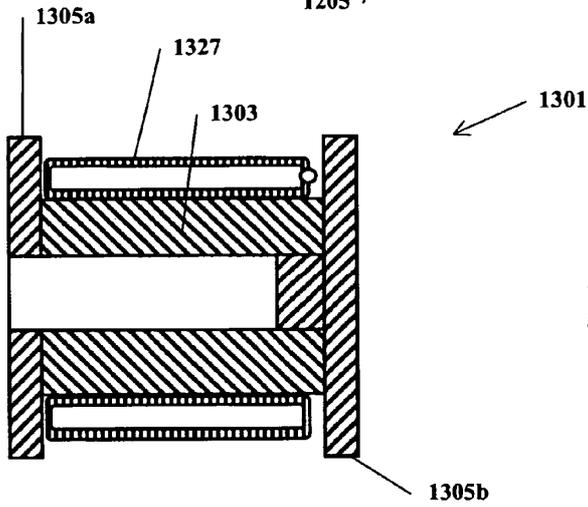
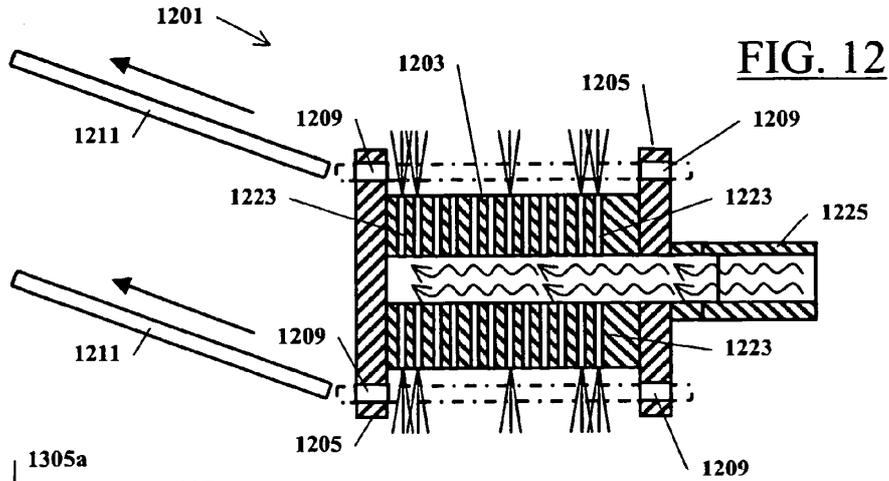


FIG. 13B

