

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 435 416**

51 Int. Cl.:

**G02B 6/44** (2006.01)

**D07B 7/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.09.2002 E 02785112 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.08.2013 EP 1425621**

54 Título: **Procedimiento y aparato de monitorización el trenzado de cables**

30 Prioridad:

**11.09.2001 EP 01203446**

**20.09.2001 US 323332 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**19.12.2013**

73 Titular/es:

**PRYSMIAN S.P.A. (100.0%)**

**VIALE SARCA 222**

**20126 MILANO, IT**

72 Inventor/es:

**CASTIGLIONI, VALTER;**

**CECCHI, FELICIANO y**

**BECCHI, FRANCESCO**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 435 416 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 de monitorización el trenzado de cables

5 La presente invención se refiere, en general, al campo de la fabricación de cables. Más específicamente, la invención se refiere a un procedimiento y a un aparato relacionado para monitorizar y, en particular, para detectar defectos en los cables trenzados, tales como, por ejemplo, cables submarinos para telecomunicaciones ópticas o cables de energía eléctrica, ya sean submarinos o no.

Los cables trenzados comprenden, en general, un núcleo central y una o más capas de hebras arrolladas helicoidalmente alrededor del núcleo.

10 Los cables submarinos de telecomunicaciones ópticas (en lo que sigue también denominados como cables ópticos, en aras de la concisión) comprenden, por ejemplo, un núcleo óptico central en el que, dentro de una vaina delgada, por ejemplo, de un polímero termoplástico, una pluralidad de fibras ópticas son incrustadas en una capa de polímero formado alrededor de un elemento central de refuerzo. Elementos de refuerzo enelementos similares a hebras fabricados de acero son enrollados helicoidalmente alrededor del núcleo óptico. Loselementos similares a hebras pueden tener diferentes diámetros y estar dispuestos para formar una o más capas de refuerzo.

15 Es conocido que los cables ópticos tienen tres grupos de elementos de refuerzo enelementos similares a hebras, que forman dos capas de refuerzo concéntricas. Loselementos similares a hebras del primer grupo, que forman la capa de refuerzo interior, tienen un primer diámetro y están dispuestos en una sucesión circunferencial alrededor de la vaina, en contacto mutuo unos con los otros. Loselementos similares a hebras del segundo grupo tienen un segundo diámetro menor que el primer diámetro y están dispuestos circunferencialmente alrededor de los elementos  
20 enelementos similares a hebras del primer grupo. Loselementos similares a hebras del tercer grupo tienen un tercer diámetro menor que el segundo diámetro y están dispuestos circunferencialmente alrededor de los elementos enelementos similares a hebras del primer grupo, alternados con loselementos similares a hebras del segundo grupo, para formar junto con estos últimos, una capa de refuerzo exterior. Loselementos similares a hebras del tercer grupo están dispuestos en posiciones angulares correspondientes a las de loselementos similares a hebras subyacentes del primer grupo, de manera que la capa de refuerzo exterior tiene una cubierta externa sustancialmente cilíndrica tangencial a loselementos similares a hebras de ambos grupos segundo y tercero.

Gracias al arrollamiento helicoidal de loselementos similares a hebras en cada capa de refuerzo, el cable mantiene una flexibilidad suficiente, que es una característica importante para el tendido del cable.

30 El proceso de enrollado de loselementos similares a hebras alrededor del núcleo del cable, o proceso de trenzado, se lleva a cabo por medio de máquinas de trenzar, en las que bobinas que llevan loselementos similares a hebras individuales están montadas en un bastidor o carro rotativo. Al rotar el carro, al mismo tiempo que se extrae simultáneamente el núcleo del cable, loselementos similares a hebras se enrollan alrededor del núcleo para formar las capas de refuerzo.

35 El proceso de trenzado es uno de los aspectos críticos en la fabricación de los cables. Durante un proceso de este tipo, los defectos en el cable afectan negativamente la calidad del cable o incluso afectan la funcionalidad completa de los mismos.

40 Por ejemplo, haciendo referencia de nuevo al cable óptico que se ha descrito más arriba, los posibles defectos son: la falta de uno o máselementos similares a hebras en la capa de refuerzo interior; la falta de uno o máselementos similares a hebras en la capa de refuerzo exterior; una alternancia errónea de loselementos similares a hebras en la capa de refuerzo exterior; la presencia de uno o máselementos similares a hebras de diámetro erróneo en las capas de refuerzo interior y / o exterior; la presencia de uno o máselementos similares a hebras sueltos en las capas de refuerzo interior y / o exterior, y la presencia de elementos similares a hebras dislocados, por ejemplo, de uno de loselementos similares a hebras de la capa de refuerzo interior, que pueden causar una deformación en el núcleo óptico.

45 Los defectos mencionados en lo que antecede pueden ser producidos, por ejemplo, por el agotamiento de una o más bobinas en la máquina de trenzado o por la rotura de un elemento similar a hebra; una inversión en el orden prescrito de las bobinas que llevan loselementos similares a hebras de diferente diámetro; una disposición errónea de las bobinas en la máquina de trenzado, por ejemplo, la disposición de una bobina que lleva un elemento similar a hebra de la capa de refuerzo interior en lugar de una bobina que lleva un elemento similar a hebra de la capa de refuerzo exterior; una contratensión incorrecta, es decir, demasiado alta o demasiado baja, de loselementos similares a hebras.

50 Con el fin de asegurar que los cables producidos mantienen la funcionalidad completa y un nivel prescrito de calidad, es importante monitorizar los cables justamente después del proceso de trenzado. La importancia de la detección de la presencia de defectos de trenzado justamente después del proceso de trenzado es aún mayor cuando más capas

protectoras, de refuerzo y / o aislantes adicionales deben ser aplicadas al cable trenzado en etapas de fabricación posteriores, lo que haría que un defecto de trenzado fuese extremadamente difícil ser detectado.

5 El documento US 4,591,995 describe un procedimiento y un dispositivo correspondiente para la monitorización de hebras individuales en cuerdas o cables en los procesos de trenzado, en el que los filamentos implicados en el trenzado de una cuerda o cable se investigan en lo que se refiere a la secuencia correcta, la calidad superficial correcta, la rotura o los agotamientos.

10 De acuerdo con las enseñanzas proporcionadas en dicho documento, el dispositivo comprueba la cuerda o el cable después del trenzado para la uniformidad de la superficie de la cuerda o del cable. Con este propósito, se utiliza un transmisor para la transmisión de energía de ondas de un tipo especificado, por ejemplo electromagnético, ondas ópticas o acústicas, en la cuerda o cable. Por ejemplo, una fuente de luz dirige un haz de luz sobre la superficie de la cuerda o cable.

15 El documento DE 198 11 573 C1 desvela un procedimiento de medición de la longitud del cable. El procedimiento consiste en la medición del contorno de la superficie del cable y la determinación de la longitud del cable a partir del contorno medido. El procedimiento consiste en mover el cable con varios alambres trenzados en la dirección de su eje longitudinal (A). El contorno de la superficie del cable es medido. La longitud del cable se determina a partir del contorno medido. El contorno es medido a lo largo de una línea paralela al eje longitudinal del cable. Se puede realizar una medición de la distancia fijada espacialmente en la superficie del cable. Esto se realiza en el centro del cable. El contorno del cable se puede medir usando un dispositivo óptico, por ejemplo, utilizando luz láser.

20 El documento US 5 030 841 A desvela un procedimiento y un dispositivo para medir la torsión de un cuerpo alargado de prueba en funcionamiento. Un cuerpo de prueba es iluminado por medio de al menos una fuente de luz oblicuamente a su dirección de desplazamiento, y la luz reflejada se forma como imagen en un diafragma y se alimenta a un receptor fotoeléctrico. Su señal es investigada, en una unidad de evaluación, en lo que se refiere a periodicidades que son producidas por irregularidades incluidas en el cuerpo de prueba como resultado de la torsión y cuya longitud de onda representa una medida de la torsión. Una medición rápida y precisa de la torsión de los hilos se hace posible de esta manera.

30 El documento US 4 887 155 A desvela un procedimiento y una disposición para medir y / o monitorizar las propiedades de hilos o cuerdas. Para medir y / o monitorizar las propiedades de hilos o cuerdas con la ayuda de un sensor de imagen se adquiere una imagen de dos dimensiones de una porción del hilo o cuerda y se convierte en señales de imágenes eléctricas. Las señales de imágenes son digitalizadas y almacenadas en una memoria de señales de imagen. Las propiedades que se pueden medir y / o monitorizar de esta manera son, en particular, el diámetro del hilo o cuerda, los valores estadísticos de las proyecciones de fibras, filamentos o alambres y la torsión del hilo o cuerda y del cable en un punto en el curso del proceso de trenzado en el que la cuerda o cable ya tiene su forma externa. Un sensor recibe la amplitud de la parte reflejada de la energía de onda de la cuerda o cable, por ejemplo, la luz reflejada en las hebras individuales. La luz reflejada se aplica como una señal eléctrica equivalente a un convertidor - amplificador. Durante un intervalo de tiempo en particular, por ejemplo, el tiempo necesario para una revolución de la cuerda o cable en la región del punto de reflexión, la señal del convertidor - amplificador forma un patrón que es comparado en un comparador con un patrón de referencia almacenado en una memoria como una señal eléctrica. Si la señal de diferencia se encuentra dentro de un rango de tolerancia, la sección de cuerda o de cable se evalúa como libre de errores. Si se exceden los límites de tolerancia, se activa una señal de alarma, que produce la parada de la máquina de trenzado.

40 En otras palabras, el proceso y el dispositivo del documento US 4.591.995 se basa en una medición de la amplitud, es decir, la intensidad de la parte reflejada de la energía de ondas de la cuerda o cable, por ejemplo, la intensidad de la luz reflejada por las hebras individuales.

45 El solicitante ha encontrado que un procedimiento tal como el que se describe en el documento US 4.591.995 que se basa en la medición de la intensidad de la parte reflejada de la energía de ondas de la cuerda o cable, por ejemplo la intensidad de la luz reflejada por las hebras individuales, es afectado por algunos inconvenientes.

50 En primer lugar, la intensidad de la luz reflejada es un parámetro que depende en gran medida de las características del material y de la superficie de las hebras individuales. En particular, la intensidad de la luz reflejada depende de la reflectividad de las hebras individuales, así como del grado de rugosidad superficial de las mismas. Las diferencias en los valores medidos de la intensidad de la luz reflejada con respecto al patrón de referencia almacenado podrían producirse, por lo tanto, incluso si la cuerda o el cable está libre de fallos, por ejemplo, porque la reflectividad de las hebras individuales no es la ideal o la esperada. Peor aún, puede ocurrir que un cable defectuoso por esta razón sea evaluado como libre de errores. Por lo tanto, la intensidad de la luz reflejada no proporciona una indicación unívoca de la presencia de fallos.

55 Además, el solicitante ha observado que este documento no proporciona ninguna enseñanza respecto a cómo discriminar entre los diferentes tipos de defectos que pueden afectar al cable.

El solicitante ha encontrado que mediante el análisis de un perfil de la superficie de un cable trenzado adquirido teleméricamente por medio de una técnica de triangulación óptica por láser, es posible llevar a cabo una monitorización precisa del cable y, en particular, detectar la presencia de defectos de trenzado que afectan negativamente la calidad del cable o afectan a la funcionalidad completa del cable.

- 5 El solicitante también ha encontrado que un procedimiento particularmente útil de análisis precisa la realización de un análisis espectral del perfil de la superficie del cable adquirido teleméricamente. De hecho, el solicitante ha descubierto que el espectro del perfil de la superficie de un cable adquirido teleméricamente libre de defectos tiene un contenido espectral característico, y que los defectos típicos que se pueden encontrar en un cable trenzado inducen modificaciones en un contenido espectral característico de este tipo. Al comparar el espectro del perfil de la superficie de un cable teleméricamente adquirido bajo monitorización con el espectro característico de un cable libre de defectos, es posible, por lo tanto, evaluar el nivel de calidad del cable y la presencia de defectos.

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un procedimiento para la monitorización de una superficie externa del cable definida por los elementos de trenzado.

- 15 El procedimiento comprende las etapas adquirir teleméricamente un perfil de la superficie externa del cable por medio de una técnica de triangulación óptica por láser, y analizar el perfil adquirido para la detección de defectos de trenzado.

En una realización preferida, la etapa de analizar el perfil adquirido comprende realizar un análisis espectral del perfil adquirido de la superficie externa del cable.

- 20 La etapa de adquirir teleméricamente el perfil de la superficie externa del cable incluye preferentemente las etapas de obtener una señal en el dominio del tiempo que es representativa del perfil teleméricamente adquirido, y la eliminación de los citados componentes de ruido de la señal en el dominio del tiempo no relacionados con la geometría de la superficie externa del cable .

- 25 El solicitante ha encontrado que los componentes de ruido normalmente aparecen como variaciones lentas en la señal en el dominio del tiempo; en el dominio de la frecuencia, los componentes de ruido de la señal en el dominio del tiempo por lo tanto corresponden a componentes de baja frecuencia. Por lo tanto, el paso de eliminar los componentes de ruido puede incluir la etapa de obtener una señal filtrada en el dominio del tiempo en la que se eliminan los componentes de baja frecuencia de la señal en el dominio del tiempo.

Con el fin de monitorizar la superficie de un cable a lo largo del eje del mismo, la etapa de adquirir teleméricamente el perfil de la superficie externa del cable incluye impartir un movimiento axial al cable.

- 30 En una realización preferida, para aumentar la resolución del perfil adquirido, la etapa de adquirir teleméricamente el perfil de la superficie externa del cable incluye impartir una rotación relativa del cable con respecto a un telémetro.

La etapa de realizar un análisis espectral puede incluir las etapas de:

- obtener un espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo;
- comparar el espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo con un espectro de referencia, y
- 35 deducir la presencia de defectos de trenzado en el cable por las diferencias en el espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo con respecto al espectro de referencia.

En particular, el espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo se puede obtener por medio de la operación de una transformada de Fourier de la señal filtrada en el dominio del tiempo.

- 40 Ventajosamente, se obtiene el espectro de referencia a partir de un perfil adquirido teleméricamente de la superficie externa de un cable libre de defectos de trenzado.

En una realización preferida, la etapa de comparar el espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo con el espectro de referencia incluye:

- calcular una integral del espectro de referencia en un rango de frecuencia prescrito;
- 45 calcular una integral del espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo en el rango de frecuencias prescrito;
- comparar la integral calculada del espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo con la integral calculada del espectro de referencia.

Preferiblemente, el citado cálculo de la integral del espectro de referencia y del espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo incluyen la normalización de las integrales calculadas en el rango de frecuencia prescrito para obtener valores independientes a partir de una velocidad axial del cable y / o una velocidad de rotación relativa del cable con respecto al telémetro.

- 5 En particular, la etapa de comparar la integral del espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo con la integral del espectro de referencia puede incluir:

establecer al menos un valor de umbral en base a la integral calculada del espectro de referencia;

asignar un primer valor de ponderación a una situación en la que la integral calculada del espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo no excede el primer valor de umbral;

- 10 asignar un segundo valor de ponderación a una situación en la que la integral calculada del espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo excede el primer valor de umbral.

Preferiblemente, el procedimiento comprende:

establecer un primer valor de umbral y un segundo valor de umbral mayor que el primer valor de umbral;

- 15 asignar un primer valor de ponderación a una situación en la que la integral calculada del espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo no excede el primer valor de umbral;

asignar un segundo valor de ponderación a una situación en la que la integral calculada del espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo excede el primer valor de umbral, pero no el segundo valor de umbral;

- 20 asignar un tercer valor de ponderación a una situación en la que la integral calculada del espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo excede el segundo valor de umbral.

Ventajosamente, los valores de ponderación primero, segundo y tercero afectan a un valor del tiempo de ejecución de un factor de calidad del cable, lo cual proporciona una medida de un grado de deficiencia del cable.

El procedimiento de la invención puede ser aplicado en particular a la monitorización de los cables submarinos de telecomunicaciones ópticas y de los cables de energía eléctrica.

- 25 De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un proceso para la fabricación de cables trenzados, incluyendo una fase de aplicación de elementos de trenzado sobre un núcleo de cable, y una fase de monitorización de una superficie externa del cable después de la fase de trenzado. La fase de monitorización incluye activar el procedimiento de acuerdo con la presente invención.

- 30 De acuerdo con todavía otro aspecto de la invención, se proporciona un aparato para la monitorización de una superficie externa del cable definida por los elementos de trenzado. El aparato comprende un telémetro óptico de triangulación por láser para la adquisición teleméricamente de un perfil de la superficie exterior del cable, y una unidad de procesador para analizar el perfil adquirido con el fin de detectar defectos de trenzado.

En una realización preferida, la unidad de procesador realiza un análisis espectral del perfil adquirido de la superficie externa del cable.

- 35 Preferiblemente, el telémetro está montado sobre una plataforma rotativa adaptada para determinar una rotación relativa del telémetro con respecto al cable.

Con el fin de inspeccionar el cable a lo largo de su longitud, se hace mover axialmente el cable bajo el telémetro. Para aumentar la resolución del perfil adquirido, se hace rotar preferiblemente el telémetro en un sentido opuesto a un sentido de enrollado de los elementos de trenzado sobre el cable.

- 40 El aparato comprende un motor conectado operativamente a la plataforma para impartir a la misma un movimiento de rotación, y una unidad de control del motor para monitorizar el motor. Preferiblemente, la unidad de control controla el motor de manera que la velocidad de rotación de la plataforma varía de acuerdo con una velocidad axial del cable.

- 45 Con el fin de incrementar el rendimiento del aparato, el telémetro está montado sobre la plataforma de manera que un eje óptico del láser del telémetro es sustancialmente ortogonal a una trayectoria de los elementos de trenzado.

De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, se proporciona un aparato para producir cables trenzados, en particular cables ópticos submarinos y cables de energía eléctrica, incluyendo una máquina de trenzado y, aguas abajo de la misma, el aparato de monitorización de la presente invención.

Las características y ventajas de la presente invención se aclararán por medio de la descripción detallada que sigue de una posible realización de la misma, proporcionada meramente a modo de ejemplo no limitativo con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 5 la figura 1 muestra una vista en sección transversal de un cable trenzado, en particular un cable submarino para telecomunicaciones ópticas;
- la figura 2 es una representación esquemática de un aparato para monitorizar cables de acuerdo con una realización de la presente invención;
- la figura 3 es una vista axonométrica más detallada del aparato que se muestra esquemáticamente en la figura 2;
- 10 la figura 4 muestra una vista en sección parcial de un detalle del aparato de la figura 3;
- las figuras 5A, 5B y 5C son diagramas de flujo simplificados de una realización del procedimiento de la invención;
- la figura 6 es una curva cualitativa que muestra el perfil adquirido teleméricamente de la superficie de un cable libre de defectos;
- 15 la figura 7 es una representación cualitativa del espectro de potencia de la señal dependiente del tiempo de la figura 6;
- la figura 8 muestra la señal dependiente del tiempo de la figura 6 después de una operación de filtrado de paso alto para eliminar componentes de ruido de baja frecuencia;
- la figura 9 muestra el espectro de potencia de la señal dependiente del tiempo de la figura 8;
- 20 la figura 10 es el perfil medido experimentalmente de la superficie de un cable libre de defectos;
- la figura 11 muestra el espectro de potencia de la señal de la figura 10;
- la figura 12 muestra el espectro de potencia de la señal de la figura 10 después de una operación de filtrado de paso alto para eliminar componentes de ruido de baja frecuencia;
- las figuras 13 y 14 son los espectros de potencia de dos cables que tienen diferentes tipos de defectos;
- 25 la figura 15 es un diagrama que muestra esquemáticamente los cambios en el espectro de potencia de un cable libre de defectos producidos por las variaciones de la velocidad axial del cable y / o la velocidad de rotación del aparato de las figuras 2 y 3, y
- la figura 16 es un diagrama que muestra una relación entre la velocidad de rotación del aparato y la velocidad axial del cable adecuada para evitar los cambios en el espectro de potencia que se muestran en la figura 15.
- 30

Con referencia a la figura 1, se muestra un cable trenzado en vista en sección transversal. Específicamente, el cable trenzado que se muestra en la figura 1 es un cable submarino para telecomunicaciones ópticas.

- 35 El cable, indicado globalmente por la referencia numérica 1, tiene un eje 10 y comprende un núcleo óptico central sustancialmente cilíndrico 2. Alrededor del núcleo óptico 2 se proporciona una pluralidad de elementos o capas de protección y de refuerzo 8, 9, 12 y 13, que se describirán en mayor detalle más adelante.

El núcleo óptico 2 comprende un elemento central de refuerzo 4, una capa de polímero 5 sustancialmente libre de discontinuidades, una pluralidad (seis en el ejemplo mostrado) de fibras ópticas 3 incrustadas en la capa de polímero 5 y una vaina delgada 6 fabricada, por ejemplo, de un polímero termoplástico que recubre la capa de polímero 5. El núcleo óptico 2, por ejemplo, puede tener un diámetro externo de 3 a 4 mm.

- 40 Una pluralidad de elementos de refuerzo similares a hebras 7a, 7b y 7c fabricados de acero se proporciona alrededor de la vaina 6.

- Más específicamente, se proporcionan tres grupos de elementos similares a hebras. Los elementos similares a hebras 7a del primer grupo tienen un primer diámetro, por ejemplo 1,4 mm, y están enrollados helicoidalmente alrededor del núcleo óptico 2. Tomando una sección transversal genérica del cable 1, los elementos similares a hebras 7a del primer grupo están dispuestos en sucesión circunferencial alrededor de la vaina 6, en contacto mutuo unos con los otros con el fin de proporcionar una estructura autoportante que define una primera capa de refuerzo 8 en el exterior de la vaina 6.
- 45

5 Loselementos similares a hebras **7b** del segundo grupo tiene un segundo diámetro menor que el primer diámetro, por ejemplo 1,2 mm, y están enrollados helicoidalmente alrededor de loselementos similares a hebras **7a** del primer grupo. Loselementos similares a hebras **7c** del tercer grupo tienen un tercer diámetro menor que el segundo diámetro, por ejemplo 0,85 mm, y también están enrollados helicoidalmente alrededor de loselementos similares a hebras **7a** del primer grupo, alternados con loselementos similares a hebras **7b** del segundo grupo. Tomando una sección transversal genérica del cable **1**, loselementos similares a hebras **7b** y **7c** están dispuestos, alternados unos con los otros, en sucesión circunferencial alrededor de la primera capa de refuerzo **8** y definen una segunda capa de refuerzo **9** en el exterior de la primera capa de refuerzo **8**.

10 Loselementos similares a hebras **7c** del diámetro más pequeño están dispuestos preferiblemente en posiciones angulares correspondientes a las de loselementos similares a hebras **7a** subyacentes, de manera que la segunda capa de refuerzo **9** tiene una cubierta externa sustancialmente cilíndrica tangencial a amboselementos similares a hebras **7b** y **7c**.

El conjunto constituido por las dos capas de refuerzo **8** y **9** define una estructura conocida en la técnica como una estructura "Warrington".

15 Un revestimiento tubular **12**, preferiblemente fabricados de material metálico y más preferiblemente de cobre, rodea loselementos similares a hebras **7b**, **7c** de la segunda capa de refuerzo **9** y, junto con la estructura Warrington que se ha mencionado más arriba, define una estructura de refuerzo que tiene características mecánicas tales como para proporcionar el cable **1** una alta resistencia a las tensiones mecánicas, en particular a la presión hidrostática existente en las zonas de aguas profundas. Además, el revestimiento **12** define un elemento eléctricamente conductor que se puede utilizar para suministrar eléctricamente a los repetidores de señal dispuestos en el sistema de telecomunicaciones del cual forma parte el cable **1**. Por último, el revestimiento **12** permite que la parte interior del cable **1** sea protegida de la humedad y del hidrógeno.

El cable **1** puede comprender, además, una capa externa **13** de material polímero, preferiblemente polietileno, que rodea el revestimiento **12** y proporciona aislamiento eléctrico con respecto al exterior.

25 Gracias al hecho de que loselementos similares a hebras **7a**, **7b** y **7c** están enrollados helicoidalmente a lo largo del eje **10** del cable, de manera similar a una cuerda en espiral, se asegura al cable **1** una cierta flexibilidad axial, que es importante para la operación de tendido del cable.

30 El proceso de fabricación del cable prevé en primer lugar la formación del núcleo óptico **2** del cable **1**. A continuación, las dos capas de refuerzo **8** y **9** son formadas por medio de un proceso de trenzado. Se usa una máquina de trenzado en la que las bobinas que llevan loselementos similares a hebras **7a**, **7b** y **7c** están montadas en un bastidor o carro rotativo. Al rotar el carro, mientras simultáneamente se extrae axialmente el núcleo óptico **2**, loselementos similares a hebras **7a** son enrollados helicoidalmente alrededor del núcleo óptico **2** para formar la primera capa de refuerzo **8**. Simultáneamente, loselementos similares a hebras **7b**, **7c** son enrollados helicoidalmente, en sucesión alternada, alrededor de la primera capa de refuerzo **8** para formar la segunda capa de refuerzo **9**. El revestimiento **12** es aplicado entonces al conjunto obtenido de esta manera y la capa externa **13** es formada alrededor del revestimiento **12**, por medio de técnicas conocidas.

Como se ha mencionado más arriba, se pueden producir defectos en el cable durante el proceso de trenzado.

40 Un primer defecto posible es, por ejemplo, la falta de uno o más elementos similares a hebras **7a** en la primera capa de refuerzo **8**, o la falta de uno o más elementos similares a hebras **7b**, **7c** en la segunda capa de refuerzo **9**. Esto puede ser debido, por ejemplo, al agotamiento de una o más bobinas en la máquina de trenzado o la rotura de un elemento similar a hebra.

Un segundo defecto posible es, por ejemplo, la alternancia errónea de loselementos similares a hebras **7b** y **7c** en la segunda capa de refuerzo **9**. Esto puede ser debido, por ejemplo, a una inversión en el orden establecido de las bobinas que llevan loselementos similares a hebras **7b** y **7c**.

45 Un tercer defecto posible es, por ejemplo, la presencia, en las capas de refuerzo primera y / o segunda **8**, **9**, de uno o más elementos similares a hebras de diámetro equivocado, por ejemplo la presencia de un elemento similar a hebra **7a** en la segunda capa de refuerzo **9** en lugar de un elemento similar a hebra **7b** o **7c**. Esto puede ser debido a una disposición errónea de las bobinas en la máquina de trenzado.

50 Un cuarto defecto posible es, por ejemplo, la presencia de uno o más elementos de refuerzo sueltos **7a**, **7b** o **7c** en las capas de refuerzo primera y / o segunda **8**, **9**. Esto puede ser debido a una contratensión incorrecta, es decir, demasiado baja, de un elemento similar a hebra.

Un defecto adicional posible es, por ejemplo, la presencia de elementos similares a hebras dislocados, lo que puede causar una deformación en el núcleo óptico **2**. Este defecto puede ser causado por una contratensión demasiado alta de loselementos similares a hebras .

Todos los defectos de trenzado que se han mencionado más arriba determinan irregularidades en la disposición geométrica de los elementos similares a hebras representados en la figura 1, es decir, en la geometría del cable.

5 La figura 2 muestra esquemáticamente un aparato para monitorizar y detectar la presencia de defectos de trenzado de acuerdo con una realización de la presente invención. En esta figura, el número de referencia 20 se utiliza para indicar el cable 1 de la figura 1 en una etapa intermedia del proceso de fabricación del mismo, especialmente justo después del proceso de trenzado. Una máquina de trenzado está representada esquemáticamente como un bloque 21 y no se describirá con más detalle, ya que se considera conocida de por sí.

El aparato de la presente invención basa su operación en el principio de la telemetría, implementado por medio de la técnica de triangulación óptica.

10 En la realización ejemplar representada esquemáticamente en la figura 2, el aparato comprende un telémetro 22, montado sobre una placa de soporte 23 que a su vez está montada sobre un manguito 24 atravesado por el cable 20. El manguito 24 puede rotar bajo la acción de un motor 25 y una transmisión de correa 26. Un conector de anillo deslizante 27 permite la conexión eléctrica con el telémetro 22.

El motor 25 es, por ejemplo, un motor sin escobillas, controlado por una unidad de control 28 del motor.

15 Una unidad de procesamiento de señales 29 recibe y procesa los datos 210 desde el telémetro 22. Se puede proporcionar un dispositivo de visualización 211 para la visualización de los datos recibidos y procesados por la unidad de procesamiento de señales 29.

20 El solicitante ha encontrado experimentalmente que un telémetro adecuado 22 es el modelo de sensor por láser óptico de desplazamiento sin contacto ILD 1800 - 20 producido por MICRO-EPSILON. Este sensor tiene un rango de medida de 20 mm, una velocidad de muestreo de 5 kHz y una resolución de 2 µm. El diámetro del punto es aproximadamente igual a 45 µm, y el dispositivo puede estar equipado con una interfaz serie RS 232.

25 La figura 3 es una vista axonométrica que muestra en mayor detalle el aparato representado esquemáticamente en la figura 2, y la figura 4 es una vista en sección axial de un detalle de la figura 3. Haciendo referencia conjuntamente a estas dos figuras, el manguito 24 comprende un elemento tubular exterior estático 241 unido a una placa estática 211 y un elemento tubular interior rotativo 242 acoplado al elemento tubular exterior 241 por medio de cojinetes 243. El elemento tubular rotativo 242, que sobresale axialmente fuera del elemento tubular estático 241, tiene montada sobre el mismo una rueda de engranajes 281 que recibe una correa de transmisión 261, que forma parte, junto con la rueda de engranajes 281, de la transmisión de correa 26. La placa 23 que incorpora el telémetro 22 está unida al elemento tubular rotativo 242. La placa estática 211 soporta el motor 25 y está montada sobre una corredera 30 provista de un actuador manual (por ejemplo, un actuador de tornillo) que permite ajustar la posición del aparato en una primera dirección transversal al eje 10 del cable, en el caso específico, la dirección horizontal. La placa estática 30 211 está soportada en la corredera 30 por dos miembros cilíndricos 32 acoplados deslizablemente a cajas respectivas 33 fijadas a la corredera 30. Los miembros cilíndricos 32 pueden estar acoplados a las cajas 33 por medio de un actuador micrométrico manual (por ejemplo, un actuador de tornillo) con el fin de permitir el ajuste fino de la posición de la placa estática 211 en una segunda dirección transversal al eje 10 del cable, en el caso específico, la dirección 35 vertical.

La corredera 30 está montada a su vez sobre una plataforma 31 móvil verticalmente por medio de un árbol deslizante verticalmente 34, proporcionando de esta manera un dispositivo adicional para ajustar la posición vertical del aparato.

40 De esta manera, el aparato puede ser centrado con respecto al eje del cable. Preferiblemente, el centrado del aparato con respecto al eje del cable se comprueba periódicamente y, si es necesario, se ajusta con el fin de limitar la excentricidad del eje de rotación del telémetro con respecto al eje del cable, contribuyendo esta excentricidad al ruido de baja frecuencia que se explicará más adelante.

45 Con el fin de incrementar el rendimiento del telémetro, éste último está montado preferiblemente en la placa 23 de tal manera que el eje óptico del láser tiene una inclinación prescrita con respecto a una dirección normal al eje del cable, en particular, para que sea ortogonal a la trayectoria de la hélice.

Preferiblemente, los elementos del aparato que se muestran en la figura 3 estarán encerrados en un armario, de manera que el telémetro 22 opera en un entorno oscuro.

50 La placa 23 y, en consecuencia, el telémetro 22, está fabricada preferiblemente para rotar alrededor del eje 10 del cable 20 en un sentido opuesto al sentido de enrollado helicoidal de los elementos similares a hebras 7a, 7b, 7c alrededor del núcleo óptico 2. La rotación del telémetro 22 hace que el punto láser rote alrededor del eje del cable. Suponiendo que la velocidad de rotación del punto láser alrededor del eje del cable es igual a la velocidad de rotación del carro de la máquina de trenzado, cada elemento similar a hebra pasa dos veces bajo el punto láser en cada vuelta del arrollamiento helicoidal. Una mayor velocidad de rotación del punto láser permite aumentar el número de



veces que cada elemento similar a hebra es explorado en cada vuelta del arrollamiento, incrementando de esta manera la precisión de la monitorización. Cuanto mayor sea la velocidad de rotación del punto láser alrededor del eje del cable opuesto al sentido de enrollado de la hebra, mayor será la densidad de las muestras a lo largo del cable y más alta será la resolución espacial de los defectos.

5 Sin embargo, esto no se debe considerar limitativo de la presente invención, puesto que el telémetro **22** así puede ser mantenido estacionario con respecto al eje del cable. En este caso, cada elemento similar a hebra se explora sólo una vez en cada espira del arrollamiento. Después de que una sección de cable de longitud igual al paso del enrollado haya pasado bajo el telémetro, se exploran todos los elementos similares a hebras.

10 El telémetro también se podría hacer para que rotase en el mismo sentido del arrollamiento helicoidal de los elementos similares a hebras. En este caso, con el fin de explorar todos los elementos similares a hebras, una sección de cable más largo que el paso de arrollamiento debe pasar bajo el telémetro. Sin embargo, si la velocidad de rotación del telémetro es tal que el telémetro completa una revolución en el tiempo empleado por un solo arrollamiento para pasar bajo el telémetro, sólo un elemento similar a hebra es explorado constantemente.

15 El aparato de la presente invención es adecuado para implementar un procedimiento para la monitorización de una superficie externa de un cable que permite la detección de defectos de trenzado.

En resumen, este procedimiento comprende adquirir teleméricamente el perfil de la superficie del cable a que debe ser monitorizado, calcular el espectro de potencia de la señal detectada, y a continuación, comparar este espectro con un espectro de referencia previamente adquirido, que corresponden a un cable libre de defectos.

20 De hecho, el solicitante ha observado que la presencia de defectos determina el aspecto de los componentes espectrales adicionales en el espectro de potencia y, al menos en algunos defectos, la distorsión de los componentes espectrales característicos del cable libre de defectos. En particular, el solicitante ha notado que, por lo general, la integral del espectro de potencia de un cable con defectos difiere de la integral del espectro de potencia de un cable libre de defectos, al menos, por un factor de diez. Al tomar el espectro de potencia calculado para un cable libre de defectos como un espectro de potencia de referencia, y al compararlo con el espectro de potencia calculado para un cable en formación, es posible, por lo tanto, determinar la presencia de defectos en el cable en formación.

25 El solicitante ha encontrado que una manera efectiva de realizar el análisis espectral comparativo del perfil de superficie teleméricamente adquirido de un cable libre de defectos y de un cable en formación es la de llevar a cabo una comparación de las integrales de los respectivos espectros de potencia.

30 El procedimiento de la presente invención se describirá a continuación haciendo referencia a los diagramas de flujo simplificados de las figuras **5A**, **5B** y **5C**.

En primer lugar, con referencia a la figura **5A**, un cable del mismo tipo que el cable que va a ser monitorizado y que ha sido evaluado libre de defectos se toma como un cable de referencia y es sometido a un proceso de monitorización.

35 Una rutina de monitorización del cable de referencia se inicia (bloque **50**, "**INICIO**"). El perfil de la superficie externa del cable de referencia es adquirido teleméricamente por el telémetro **22** (bloque **51**, "**ADQ PERF CR**").

40 La figura **6** es un diagrama cualitativo que muestra la variación en el tiempo  $t$  (en ms) de la distancia  $d$  (en mm) de la superficie de un cable **20** libre de defectos, medida por el telémetro **22** cuando el cable es extraído axialmente, en la dirección de la flecha **A** en la figura **2**. Con propósito de simplicidad, el telémetro **22** se ha mantenido estacionario con respecto al eje del cable. La distancia medida  $d$  como una función del tiempo muestra variaciones rápidas **71** (es decir, frecuencia altas) (representada en línea continua), que tiene una primera periodicidad **T1**, superpuesta sobre las variaciones más lentas **70** (es decir, baja frecuencia) (representada con línea de trazos) que tienen una segunda periodicidad **T2**.

Las variaciones más rápidas **71** son debidas al paso bajo el punto láser de los elementos similares a hebras **7b**, **7c** y representan la señal útil para la evaluación de la presencia de defectos en el cable.

45 Las variaciones más lentas **70** se deben a oscilaciones del cable durante el movimiento del mismo en el sentido de la flecha **A**, así como a las formas ovales del cable y, en caso de que el telémetro rote alrededor del cable, a las excentricidades del eje de rotación del telémetro con respecto al eje del cable. Las variaciones más lentas **70** no están relacionadas con la geometría del cable y no son útiles para determinar la presencia de defectos en el cable. Las variaciones más lentas **70**, por lo tanto, representan un componente de la señal de ruido.

50 Una línea discontinua  $d_{10}$  representa la distancia media del perfil de la superficie detectado desde el telémetro.

La figura **7** es un diagrama cualitativo que muestra el espectro de potencia (en unidades arbitrarias **A.U.**) de la señal de la figura **6** como una función del período  $T$  (en mm, en escala logarítmica inversa) de las variaciones de la distan-

- 5      cia medida. El espectro de potencia tiene sustancialmente tres componentes espectrales **80**, **81** y **82**. El componente espectral **80** en los períodos más largos, que corresponde a las variaciones lentas representadas por la senoide **70**, define un componente espectral de ruido de baja frecuencia y es debido a las oscilaciones del cable y / o a las formas ovales del cable. En el caso de que se haga rotar al telémetro alrededor del cable, el componente espectral de baja frecuencia también incluye la contribución del ruido debido a las excentricidades del eje de rotación del telémetro con respecto al eje del cable.
- 10     El componente espectral **81** en los períodos más cortos, que define una primera característica o componente espectral armónico fundamental, es debido a la sucesión de elementos similares a hebras **7b**, **7c**. La frecuencia del armónico fundamental depende del número de elementos similares a hebras que pasan por debajo del punto láser en la unidad de tiempo, y es independiente del diámetro de los elementos similares a hebras.
- 15     El componente espectral **82**, que define un segundo componente espectral característico o sub - armónico, es aproximadamente dos veces el período (es decir, la mitad de la frecuencia) del componente espectral **81** y es debido al diámetro diferente de los elementos similares a hebras alternantes **7b** y **7c**. Por lo tanto, este componente depende del número de elementos similares a hebras de un mismo diámetro (es decir, elementos **7b** o elementos **7c**) que pasan por debajo del punto láser en la unidad de tiempo.
- 20     Los componentes espectrales característicos **81** y **82** (es decir, el armónico fundamental y el sub - armónico) dependen de la geometría del cable, en particular del campo de los arrollamientos helicoidales, de la velocidad del cable en la dirección de la flecha **A** y de la velocidad de rotación del telémetro alrededor del eje del cable.
- 25     De manera diferente, el componente espectral de ruido **80** depende de la velocidad del cable, así como de las etapas específicas del proceso de fabricación.
- 30     Los componentes espectrales característicos **81** y **82** parecen estar bien separados del componente espectral de ruido **80**. La señal útil, que se compone de una pluralidad de muestras, con una frecuencia de muestreo correspondiente a la del telémetro (5 KHz en el caso del modelo de ILD 1800 -20 producido por MICRO- EPSILON), por lo tanto se puede extraer de la señal adquirida por medio de un proceso de filtrado de paso alto adecuado para cancelar el ruido y estabilizar la señal adquirida (bloque **52**, "**FLT**" en la figura **5A**). Este proceso de filtrado se lleva a cabo en el dominio del tiempo en la señal telemétrica adquirida.
- 35     Con esta finalidad, en primer lugar se define una ventana de tiempo de adquisición, teniendo en cuenta un número suficientemente elevado de muestras, y a continuación se realiza el filtrado de paso alto, preferentemente, por medio de la implementación de un filtro de Respuesta de Impulso Infinito ("IIR"), por ejemplo un filtro en cascada.
- 40     Como resultado del proceso de filtrado, se obtiene una señal en el dominio del tiempo como la que se muestra cualitativamente en la figura 8. Esta señal proporciona el desarrollo lineal del perfil de la superficie externa del cable **20**.
- 45     Después de haber eliminado los componentes de la señal de ruido por medio del proceso de filtrado, se determina el espectro del perfil adquirido teleméricamente del cable de referencia.
- 50     Para hacer esto, las muestras que componen la señal filtrada se ponderan en primer lugar por una función de ventana, preferentemente una ventana de Hamming, con el fin de eliminar las frecuencias espurias. Una transformada de Fourier de la señal de ventana se calcula entonces (bloque **53**, "**CALC FT**"), y se obtiene de esta manera un espectro de potencia como se muestra en la figura **9**, en la que el componente de ruido **80** ha sido cancelado.
- 55     La integral del espectro de potencia para el cable de referencia se calcula a continuación (bloque **54**, "**CALC ∫**") y se almacena en una memoria de la unidad de procesamiento de señales **29** (Bloque **55**, "**STR**").
- 60     Preferiblemente, en el cálculo de la integral del espectro de potencia se toma en consideración solamente una porción del espectro de potencia. Una porción de este tipo es preferiblemente un porcentaje del rango de frecuencias que precede al pico del armónica fundamental **81**.
- 65     Se para entonces la rutina de monitorización del cable libre de defectos (bloque **56**, "**Parar**").
- 70     Haciendo referencia a continuación a la figura **5B**, en el inicio del proceso de trenzado de un cable **20** en formación, se inicia una rutina de monitorización del cable (bloque **58**, "**INICIO**"), y el perfil de la superficie externa de una sección del cable **20** es adquirido teleméricamente por el telémetro **22** (bloque **59**, "**ADQ PERF**").
- 75     Al igual que en la rutina de la figura **5A**, se realiza el proceso de filtrado para la cancelación de los componentes de ruido y la estabilización de la señal adquirida (bloque **510**, "**FLT**"). Las muestras son ponderadas a continuación por la función de ventana de Hamming y se calcula la transformada de Fourier de la señal filtrada (bloque **511**, "**CALC FT**"), con el fin de obtener el espectro de potencia de la señal detectada.

El solicitante ha verificado que, aunque el espectro de potencia obtenido a partir de un cable libre de defectos tiene un contenido espectral sustancialmente cero en las bandas de frecuencia **FB1**, **FB2**, **FB3** que se muestran en la figura **9** (es decir, las bandas de frecuencias separadas por las frecuencias características **81** y **82**), esto no es así para los cables defectuosos. En particular, la presencia de defectos induce un contenido espectral distinto de cero en las bandas de frecuencia **FB1** y **FB2**, y también puede modificar el contenido espectral en las dos frecuencias características. Por el contrario, el contenido espectral en la banda de frecuencia **FB3** no cambia significativamente.

La rutina de monitorización del cable proporciona entonces la realización de un análisis espectral comparativo del perfil de la superficie adquirido teleméricamente del cable libre de defectos y de la sección del cable en formación (bloque **512**, "**CMP SA**"). Si como resultado de este análisis espectral comparativo se comprueba la presencia de defectos en el cable en formación, se puede establecer una alarma (bloque **513**, "**ALRM?**") que puede hacer, por ejemplo, que la línea de producción de cable se pare (bloque **514**, "**LN STP**"). Se interrumpe entonces la rutina de monitorización del cable (bloque **516**, "**Parar**").

Si se comprueba de manera diferente que el cable está libre de defectos, la alarma no es activada, la línea de producción de cable no es parada y la rutina de monitorización continúa en otras secciones del cable hasta el extremo del cable (bloque **515**, "**E.O.C.?**").

La figura **5C** es un diagrama de flujo simplificado de una posible realización del análisis espectral comparativo del bloque **512**.

Cada vez que se invoca la subrutina de bloque **512** (bloque **518**, "**INICIO**"), se calcula la integral del espectro de potencia obtenido a partir del cable en formación (bloque **519**, "**CALC ∫**"). De nuevo, sólo una porción del espectro de potencia se toma en consideración preferiblemente, por ejemplo, la fracción del rango de frecuencias que precede al pico del armónico fundamental **81**.

La integral calculada del espectro de potencia para la sección monitorizada de cable en formación se compara entonces con el valor de la integral del espectro de potencia de referencia almacenado en la memoria de la unidad de procesamiento de señales **29**.

Vale la pena señalar que al comparar el valor de la integral del espectro de potencia para el cable en formación con el valor de la integral del espectro de potencia de referencia almacenado, incluso sería posible determinar algunos de los tipos de defectos que se han mencionado más arriba.

Sin embargo, es posible derivar un grado de deficiencia del cable, en base a la diferencia sustancial entre el valor de la integral del espectro de potencia que se refiere a un cable defectuoso y el de un cable no defectuoso (valor de referencia). De esta manera, las clases de defectos se pueden definir ventajosamente. Por ejemplo, se pueden definir dos valores de umbral: un valor de umbral inferior y un valor de umbral superior. Los valores de umbral inferior y superior pueden diferir entre sí, por ejemplo en un factor de dos.

La definición de estos dos valores de umbral permite definir tres clases diferentes de defectos, y asignar a los mismos tres ponderaciones diferentes.

Además, se ejecuta un algoritmo de voto para el cable en formación, en base al valor de la integral del espectro de potencia y a la frecuencia de repetición de situaciones pertenecientes a una de las tres clases de defectos.

Un registro es definido en la unidad de procesamiento de señales **29**. Al inicio del procedimiento de monitorización de un cable en formación, tal registro se establece en cero.

Si el valor de la integral del espectro de potencia obtenido a partir de la sección monitorizada actualmente del cable en formación es menor que o igual al valor de umbral más bajo (bloque **520**, "**∫ ≤ TH1**"), la integral del espectro de potencia en relación con un cable de este tipo se considera que no difiere significativamente de la de referencia en relación con un cable libre de defectos, y la sección monitorizada actualmente del cable en formación se considera buena, es decir, dentro de la tolerancia aceptada. Esta situación hace que el valor contenido en el registro sea disminuido por un primer valor de ponderación predeterminado, por ejemplo 0,5, a menos que el valor contenido en el registro ya sea cero, en cuyo caso no se lleva a cabo ningún decremento (bloque **521**, "**DEC / LV 0**").

Si el valor de la integral del espectro de potencia obtenido a partir de la sección monitorizada actualmente del cable en formación es mayor que el valor de umbral más bajo, pero es menor que o igual al valor de umbral más alto (bloque **522**, "**∫ ≤ TH2**"), la sección de cable en formación se considera que es defectuosa, aunque el defecto no se considera grave. Por ejemplo, el solicitante ha verificado que un defecto que típicamente produce este resultado es la presencia de un elemento similar a hebra suelta. Esta situación hace que el valor contenido en el registro sea aumentado en un segundo valor de ponderación predeterminado, por ejemplo **0,5** (bloque **523**, "**INCA**").

Si el valor de la integral del espectro de potencia obtenido a partir de la sección monitorizada actualmente del cable en formación es mayor que el valor de umbral más alto, la sección monitorizada de cable se considera que tiene un

defecto grave. Por ejemplo, el solicitante ha observado que un defecto que típicamente produce este resultado es la presencia de un elemento similar a hebra dislocado que ha causado una deformación del núcleo óptico. El valor contenido en el registro se incrementa en un tercer valor de ponderación predeterminado, por ejemplo **1** (bloque **524**, "**INCB**").

- 5 Preferiblemente, con el fin de aumentar la sensibilidad del proceso de monitorización, si tanto la sección monitorizada actualmente como la sección monitorizada inmediatamente previamente del cable en formación tienen una integral del espectro de potencia más elevada que el valor de umbral inferior, el valor contenido en el registro se incrementa por el segundo o tercer valor predeterminado, además de un cuarto valor predeterminado, por ejemplo igual a **1**. De esta manera, a la repetición inmediata de una condición defectuosa se le da una ponderación más alta que un aspecto discontinuo de una condición defectuosa. Como alternativa, en lugar de un mismo cuarto valor, podrían ser utilizados dos valores diferentes en función de si se ha excedido el valor de umbral inferior o superior.

10 Cuando el valor contenido en el registro alcanza un valor máximo prescrito, por ejemplo **5** (bloque **525**, "**RG > MAX?**") se establece la alarma (bloque **526**, "**ALRM**"), de manera que la línea de producción se puede parar para evitar la continuación del proceso de trenzado defectuoso.

- 15 A continuación se sale de la subrutina del bloque **512** (bloque **527**, "**PARAR**").

Al final del proceso de monitorización de un cable en formación, el valor contenido en el registro de la unidad de procesamiento **29** proporciona una medida del grado de la calidad del cable, y se puede utilizar para asignar un índice de calidad al cable.

- 20 El algoritmo de votación que se ha descrito más arriba permite detectar situaciones tales la reiteración de un defecto grave en un corto período de tiempo, así como la repetición periódica o casi periódica de defectos menos graves. En este último caso, el algoritmo de votación permite detectar la presencia de una tendencia potencialmente crítica para la calidad del cable en formación, lo que permite intervenir antes de que se originan defectos irreversibles. Por otro lado, el algoritmo de votación evita considerar las alarmas falsas producidas por errores en el proceso de adquisición del perfil de cable, haciendo caso omiso de los sucesos aislados de altos valores de la integral del espectro de potencia.

25 Es evidente que un número diferente de valores de umbral puede ser utilizado, así como un algoritmo de votación diferente, sin por ello apartarse de la presente invención.

- 30 Como se ha mencionado más arriba, los componentes espectrales característicos del perfil adquirido teleméricamente, que es el armónico fundamental **81** y el sub - armónico **82**, dependerán de la geometría del cable, particularmente en el paso de los arrollamientos, de la velocidad del cable en la dirección de la flecha **A** y de la velocidad de rotación del telémetro alrededor del eje del cable. Por ejemplo, el solicitante ha encontrado que, como se muestra esquemáticamente en la figura **15**, el espectro de potencia de la señal adquirida se dilata o se contrae en función de la velocidad del cable. Cuando el telémetro **22** rota alrededor del eje del cable, el armónico fundamental **81** es mínimo cuando el cable es estacionario (diagrama c)) y aumenta a medida que aumenta la velocidad de cable (diagramas b) y a)), alcanzando el valor máximo en correspondencia con la velocidad máxima del cable. La dilatación en el espectro de potencia de la señal hace que la integral del espectro de potencia varíe dependiendo de la velocidad del cable. El solicitante ha observado que lo mismo se produce cuando se varía la velocidad de rotación del telémetro.

- 40 Con el fin de obtener un valor que no se vea afectado por la velocidad del cable y por la velocidad de rotación del telémetro, se puede realizar una operación de normalización mediante el cálculo de una proporción de la integral de la porción del espectro de potencia que precede al pico del armónico fundamental y el valor de pico del armónico fundamental. De esta manera, se obtiene un valor que es representativo de la presencia de defectos de cable con independencia de la velocidad del cable, es decir, tanto en la condición de estado estacionario como durante los transitorios.

- 45 Alternativamente, es posible asegurar que los componentes espectrales característicos de la señal siempre se encuentran localizados a las mismas frecuencias independientemente de la velocidad del cable y de la velocidad de rotación del telémetro, haciendo que la velocidad de rotación del telémetro respete una relación prescrita con la velocidad del cable. El solicitante ha encontrado que una relación adecuada es la que se ilustra en la figura **16**, que es una relación sustancialmente lineal de acuerdo con la cual la velocidad de rotación **V2** (en RPM) del telémetro disminuye a medida que la velocidad del cable **V1** (en m / min) aumenta.

## 50 **Medidas experimentales**

De acuerdo con el procedimiento descrito más arriba, el solicitante ha monitorizado en primer lugar un cable libre de defectos, en las condiciones de funcionamiento que se indican a continuación.

Tabla I

Velocidad axial del cable	10,5 m / min
Velocidad de rotación del carro de la máquina de trenzado	47,7 RPM
Paso del arrollamiento helicoidal	0,22 m
Angulo de hélice (ángulo del enrollado helicoidal con respecto al eje del cable)	5,31°
Diámetro de la hélice (diámetro de un cilindro ideal que pasa a través de los centros de loselementos similares a hebras 7c)	6,8 mm
Velocidad de rotación del telémetro	46 RPM
Paso del punto láser del telémetro en el cable	0,228 m
Inclinación del telémetro	5,35°
Ángulo relativo	10,66°

La figura 10 y la figura 11 muestran respectivamente la distancia variable en el tiempo medida d y el espectro de potencia de un cable de este tipo.

- 5 En la figura 10, las variaciones de alta frecuencia del período **T1** y las variaciones de baja frecuencia del período **T2** pueden ser distinguidas fácilmente.

En la figura 11 (que muestra el espectro de potencia como una función del período **T** en mm y en escala logarítmica inversa), los tres componentes espectrales **80**, **81** y **82** que se han mencionado más arriba son visibles.

- 10 La figura 12 muestra el espectro de potencia del cable libre de defectos después de las etapas de filtrado y de cálculo del espectro (bloques **52** y **53** en la figura **5A**). Las frecuencias de los componentes espectrales **81** y **82** son 3,12 y 1,56 Hz, respectivamente.

- 15 Las figuras **13** y **14** muestran los espectros de potencia obtenidos de dos cables que tienen defectos, monitorizados en las mismas condiciones operativas de la Tabla I. Específicamente, la figura **13** muestra el espectro de potencia obtenido de un cable en el cual enelemento similar a hebra **7a**, con un diámetro de 1,4 mm, ha sido arrollado erróneamente en lugar de unelemento similar a hebra **7b** de diámetro 1,2 mm. La figura **14** muestra, por el contrario, el espectro de potencia obtenido de un cable en el que falta uno de loselementos similares a hebras **7c**.

Se puede observar que la presencia de los citados defectos induce un contenido espectral distinto de cero en las bandas de frecuencia **FB1** y **FB2**, y también modifica el contenido espectral en las dos frecuencias características. El contenido espectral en la banda de frecuencia **FB3** no muestra cambios significativos.

- 20 Para cada uno de los citados cables con defectos, el solicitante ha aplicado el procedimiento de comparación que se ha descrito más arriba, mediante el cálculo de la integral del espectro de potencia respectiva y la comparación de esta integral con la integral del espectro de potencia del cable libre de defectos. Cada una de las citadas integrales ha sido calculada en una porción del espectro de potencia correspondiente al 78% del espectro de potencia delimitado por el armónico fundamental **81**, considerando las frecuencias hasta la porción de cola del pico del armónico fundamental **81**. La contribución de este pico por lo tanto, no está incluido en la integral.

La siguiente tabla recoge las condiciones de funcionamiento y los resultados de pruebas adicionales realizadas por el solicitante en un cable libre de defectos, con diferente velocidad de cable y velocidad de rotación del telémetro en comparación con los indicados en la Tabla I.

30

Tabla II

Velocidad axial del cable	2 m / min
Velocidad de rotación del carro de la máquina de trenzado	8,7 RPM
Paso del arrollamiento helicoidal	0,22 m
Angulo de hélice (ángulo del enrollado helicoidal con respecto al eje del cable)	5,31°
Diámetro de la hélice (diámetro de un cilindro ideal que pasa a través de los centros de los elementos similares a hebras 7c)	6,8 mm
Velocidad de rotación del telémetro	80 RPM
Paso del punto láser del telémetro en el cable	0,025 m
Inclinación del telémetro	40,71°
Ángulo relativo	45,82°

El solicitante ha encontrado que, en estas condiciones, las frecuencias de los componentes espectrales, **81** y **82** son 2,96 y 1,48 Hz, respectivamente.

5 Haciendo referencia de nuevo a la Tabla I, la velocidad del cable ha pasado de 10,5 m / min a 2 m / min, y la velocidad de rotación del telémetro ha aumentado de 46 RPM a 80 RPM, como se sugiere por la relación de la figura **14**. Se puede observar que variando la velocidad de rotación del telémetro de acuerdo con la relación representada en la figura **16**, las frecuencias de los dos componentes espectrales característicos no varían significativamente.

10 Se hace notar que el análisis espectral comparativo del perfil de superficie teleméricamente adquirido de un cable libre de defectos y de un cable en formación se puede realizar de maneras alternativas, por ejemplo mediante la comparación de los espectros de potencia en cada una de las tres bandas de frecuencia **FB1**, **FB2** y **FB3**. Esto se puede hacer, por ejemplo calculando y a continuación comparando las integrales del espectro de potencia en cada una de estas bandas de frecuencia.

15 Aunque el análisis espectral comparativo del perfil de la superficie teleméricamente adquirido de un cable libre de defectos y de un cable en formación es una manera eficaz de determinar la presencia de defectos de trenzado, podría ser sustituido por un análisis directo de los perfiles de la superficie teleméricamente adquiridos. Por ejemplo, se podrían establecer los umbrales de las distancias medidas teleméricamente, y la presencia de defectos podría ser deducida por el traspaso de los umbrales.

20 Por consiguiente, la presente invención proporciona un procedimiento y un aparato que se pueden utilizar ventajosamente para monitorizar cables trenzados y, en particular, detectar los defectos superficiales en los cables trenzados, tales como los cables submarinos para telecomunicaciones ópticas o los cables de energía eléctrica.

Aunque la presente invención ha sido divulgada y descrita por medio de una realización, será evidente a los expertos en la técnica que varias modificaciones a la realización descrita, así otras realizaciones de la presente invención son posibles sin apartarse del alcance de la misma definida en las reivindicaciones adjuntas.

25

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de monitorización de una superficie externa de un cable **(20)**, estando definida la citada superficie por elementos de trenzado **(7a, 7b, 7c)**, **que se caracteriza porque** comprende:
  - 5 adquirir teleméricamente un perfil **(59, 510)** de la superficie externa del cable por medio de una técnica de triangulación óptica por láser,
  - en el que la citada adquisición teleméricamente del perfil de la superficie externa del cable incluye:
    - 10 obtener **(59)** una señal en el dominio del tiempo **(d)** que es representativa del perfil adquirido teleméricamente, impartiendo un movimiento axial al cable y una rotación relativa del cable con respecto a un telémetro **(22)** en un sentido opuesto al sentido del enrollado de los elementos de trenzado, y
    - eliminar **(510)** de los citados componentes de ruido la señal en el dominio del tiempo **(70)** no relacionada con una geometría de la superficie externa del cable por medio de la obtención de una señal filtrada en el dominio del tiempo, en la que se eliminan los componentes de baja frecuencia de la señal en el dominio del tiempo, y
    - 15 analizar **(511, 512)** el perfil adquirido para detectar defectos de trenzado,
    - en el que analizar el perfil adquirido comprende realizar un análisis espectral de la señal representativa en el dominio del tiempo del perfil adquirido de la superficie externa del cable,
    - y en el que la citada realización de un análisis espectral incluye:
      - 20 obtener un espectro **(511)** de la señal filtrada en el dominio del tiempo;
      - comparar **(512)** el espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo con un espectro de referencia;
      - deducir una presencia de defectos de trenzado en el cable por las diferencias en el espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo con respecto al espectro de referencia.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la citada obtención del espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo incluye operar una transformada de Fourier de la señal filtrada en el dominio del tiempo.
- 25 3. El procedimiento de la reivindicación 2, en el que el citado espectro de referencia es obtenido **(50 - 56)** de un perfil adquirido teleméricamente de la superficie externa de un cable libre de defectos de trenzado.
4. El procedimiento de la reivindicación 2 o 3, en el que la citada comparación del espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo con el espectro de referencia incluye:
  - 30 calcular **(54)** una integral del espectro de referencia en un rango de frecuencia prescrito;
  - calcular **(519)** una integral del espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo en el rango de frecuencias prescrito;
  - comparar **(520 - 525)** la integral calculada del espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo con la integral calculada del espectro de referencia.
- 35 5. El procedimiento de la reivindicación 4, en el que el citado cálculo de la integral del espectro de referencia y del espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo incluye la normalización de las integrales calculadas en el rango de frecuencia prescrito para obtener valores independientes de una velocidad axial del cable y / o de una velocidad de rotación relativa del cable con respecto al telémetro.
6. El procedimiento de la reivindicación 5, en el que la citada comparación de la integral del espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo con la integral del espectro de referencia incluye:
  - 40 establecer al menos un valor de umbral **(TH1, TH2)** en base a la integral calculada del espectro de referencia;
  - asignar **(521)** un primer valor de ponderación a una situación en la que la integral calculada del espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo no excede el valor de umbral;
  - 45 asignar **(523, 524)** un segundo valor de ponderación a una situación en la que la integral calculada del espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo excede el valor de umbral.

7. El procedimiento de la reivindicación 6, que comprende:
- establecer un primer valor de umbral (**TH1**) y un segundo valor de umbral (**TH2**) mayor que el primer valor de umbral;
  - 5 asignar (**521**) un primer valor de ponderación a una situación en la que la integral calculada del espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo no excede el primer valor de umbral;
  - asignar (**523**) un segundo valor de ponderación a una situación en la que la integral calculada del espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo excede el primer valor de umbral, pero no el segundo valor de umbral;
  - 10 asignar (**524**) un tercer valor de ponderación a una situación en la que la integral calculada del espectro de la señal filtrada en el dominio del tiempo excede el segundo valor de umbral.
8. El procedimiento de la reivindicación 7, en el que el citados valores primero, segundo y tercero afectan a un valor de tiempo de ejecución de un factor de calidad del cable, que proporciona una medida de un grado de deficiencia del cable.
9. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el cable es un cable submarino de telecomunicaciones ópticas o un cable de energía eléctrica.
10. Un proceso de fabricación de cables trenzados, incluyendo una fase de aplicación de elementos de trenzado sobre un núcleo de cable (**2**), y una fase de monitorización de una superficie externa del cable después de la fase de trenzado, **que se caracteriza porque** la citada fase de monitorización incluye activar el procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.
- 20 11. Un aparato para monitorizar una superficie externa de un cable, estando definida la citada superficie por elementos de trenzado, **que se caracteriza porque** comprende:
- un telémetro (**22**) de triangulación óptica por láser para adquirir teleméricamente un perfil de la superficie externa del cable y para obtener una señal en el dominio del tiempo (**d**) representativa del perfil adquirido, en el que el citado telémetro está montado sobre una plataforma rotativa (**23**) adaptada para determinar una rotación relativa del telémetro con respecto al cable, estando fabricado el cable para que se mueva axialmente bajo el telémetro y estando fabricado el telémetro para rotar en un sentido opuesto a un sentido de enrollado de los elementos de trenzado en el cable, y
  - una unidad de procesador (**29**) para analizar (**510, 511, 512**) el perfil adquirido con el fin de detectar defectos de trenzado,
  - 30 en el que la citada unidad de procesador realiza un análisis espectral de la señal representativa en el dominio del tiempo del perfil adquirido de la superficie externa del cable.
12. El aparato de la reivindicación 11, que comprende un motor (**25**) conectado operativamente a la plataforma para impartir a la misma un movimiento de rotación, y una unidad de control (**28**) del motor para el control del motor de manera que la velocidad de rotación de la plataforma varía de acuerdo con una velocidad axial del cable.
- 35 13. El aparato de la reivindicación 12, en el que el telémetro está montado en la plataforma de manera que un eje óptico del láser del telémetro es sustancialmente ortogonal a una trayectoria de los elementos de trenzado.
14. Un aparato para producir cables trenzados, en particular cables submarinos ópticos y cables de energía eléctrica, que incluye una máquina de trenzado y, aguas abajo de la misma, un aparato de monitorización de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13.

40



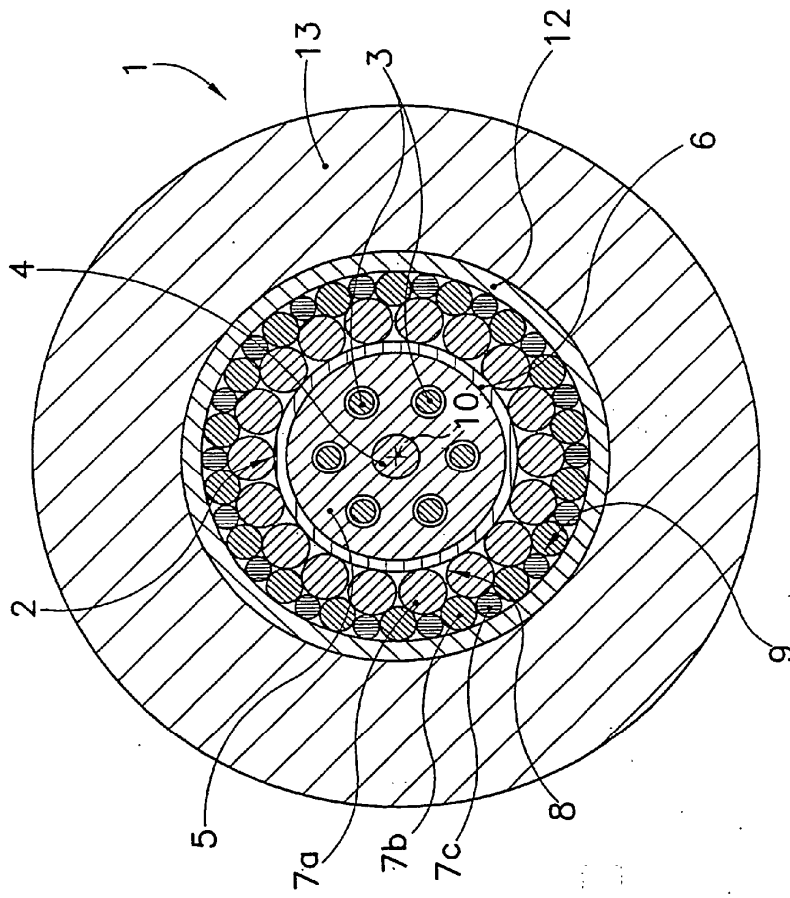


FIG.1

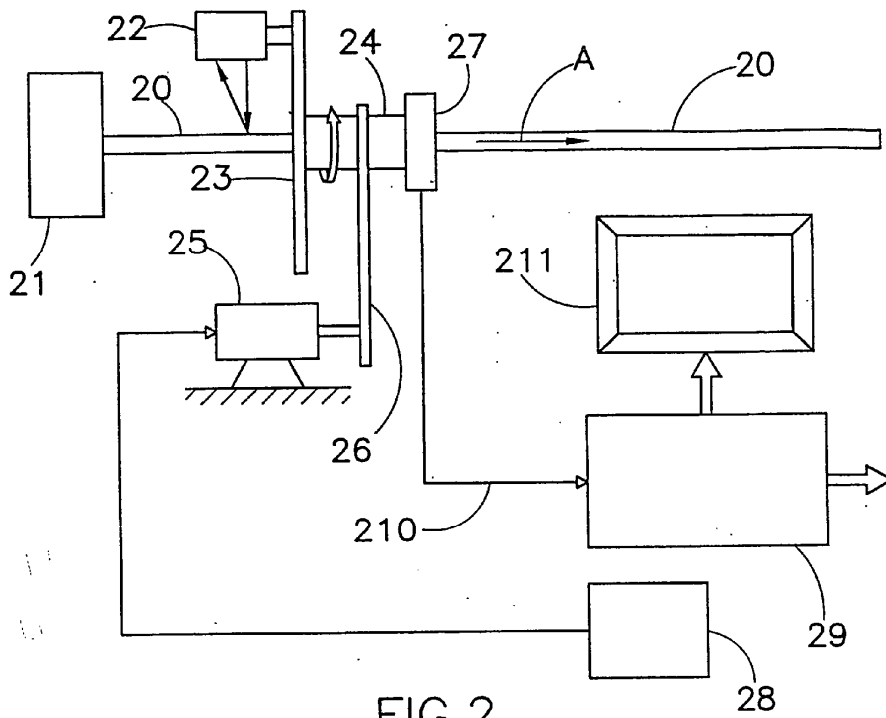


FIG.2

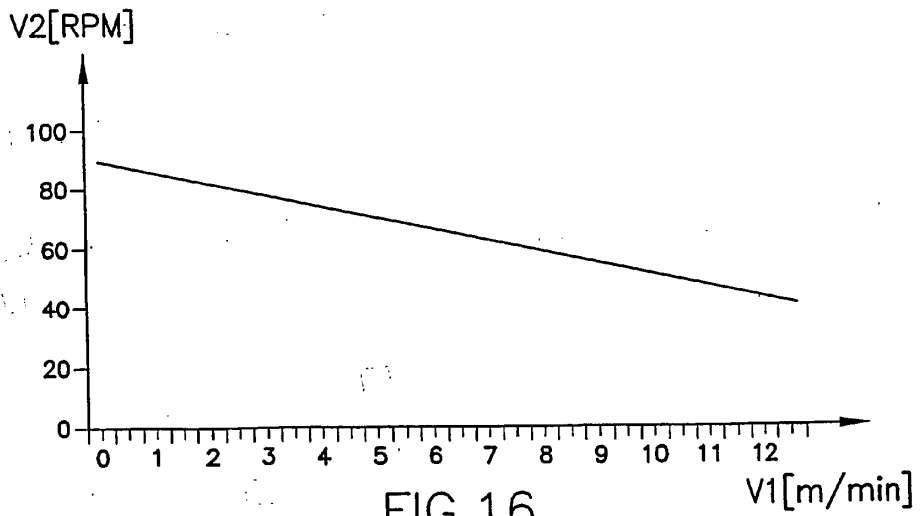
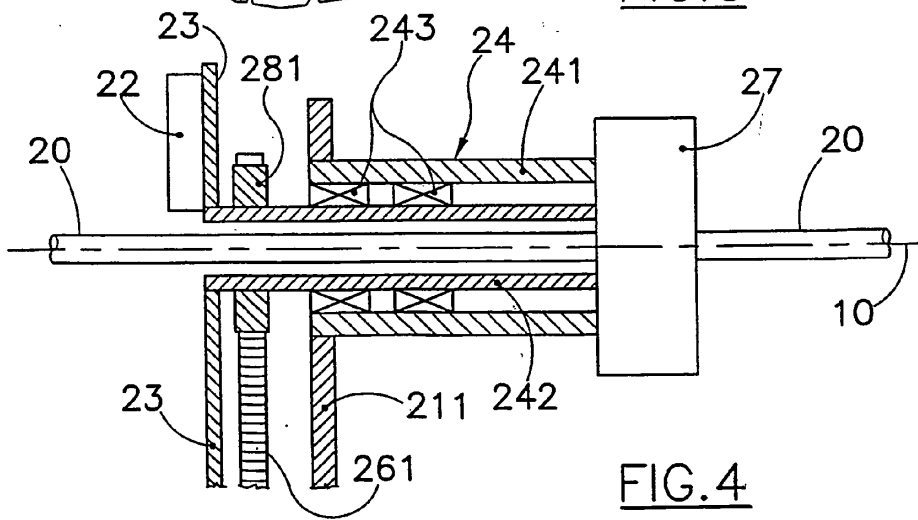
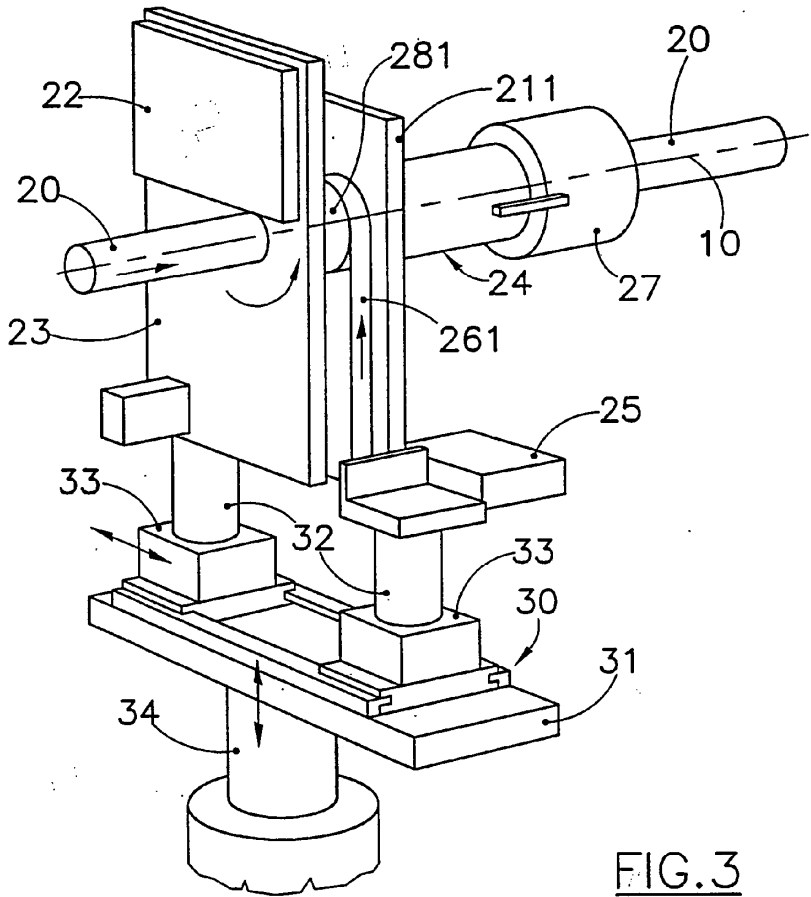


FIG.16



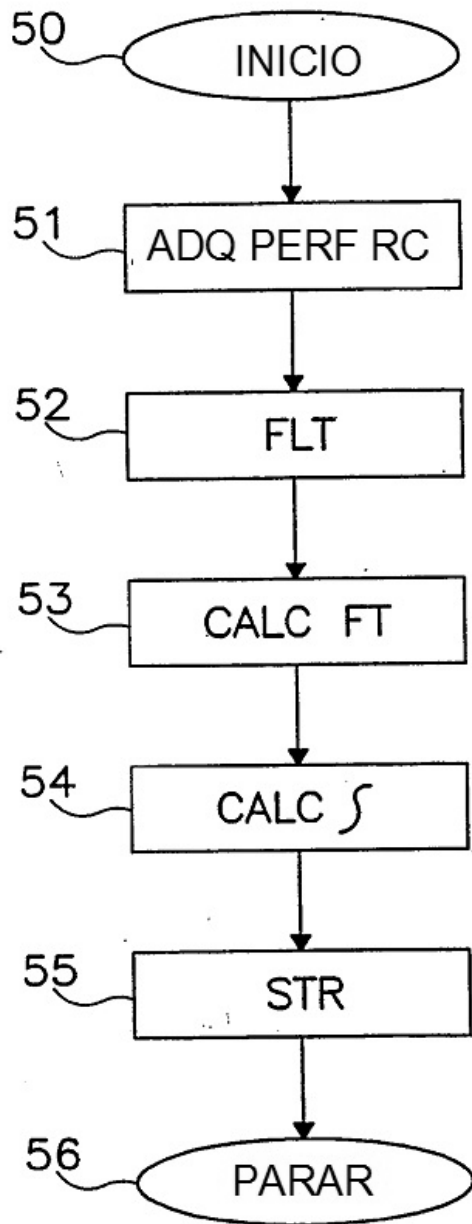


FIG.5A

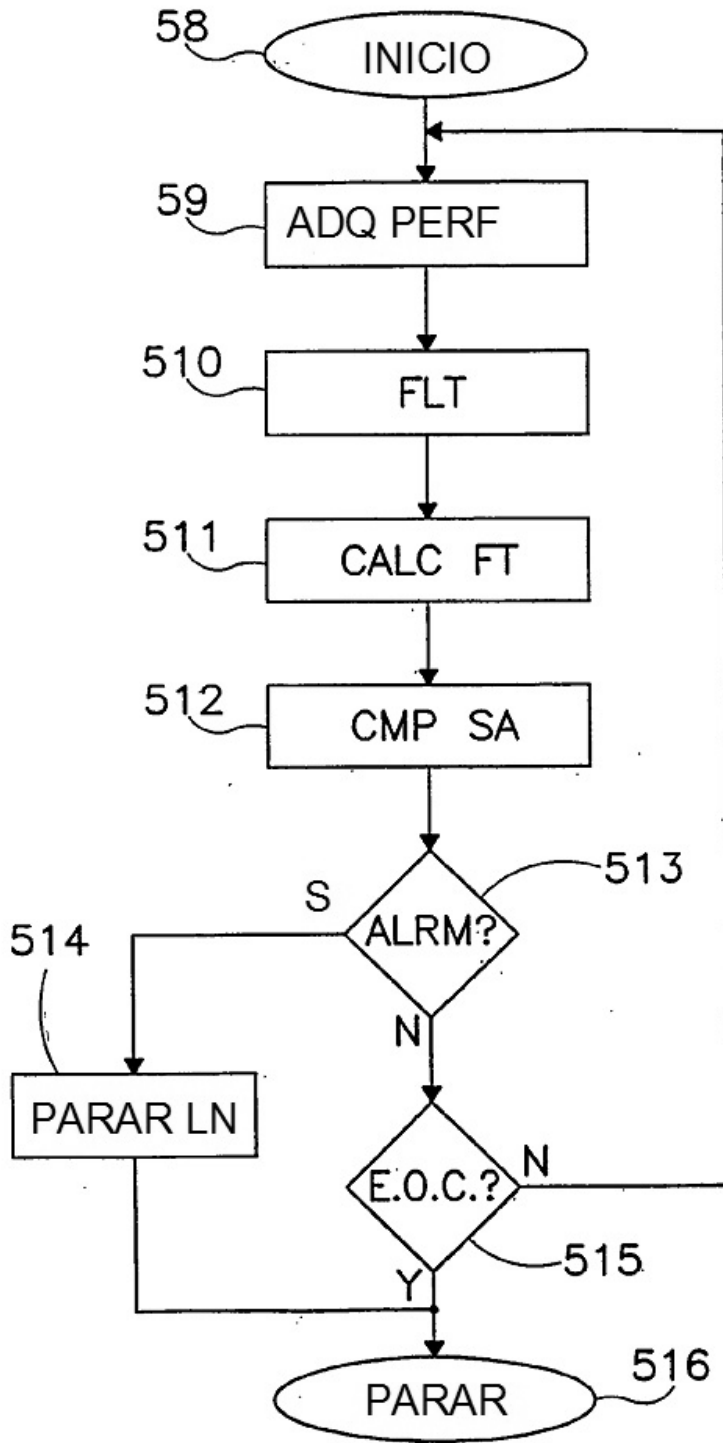


FIG.5B

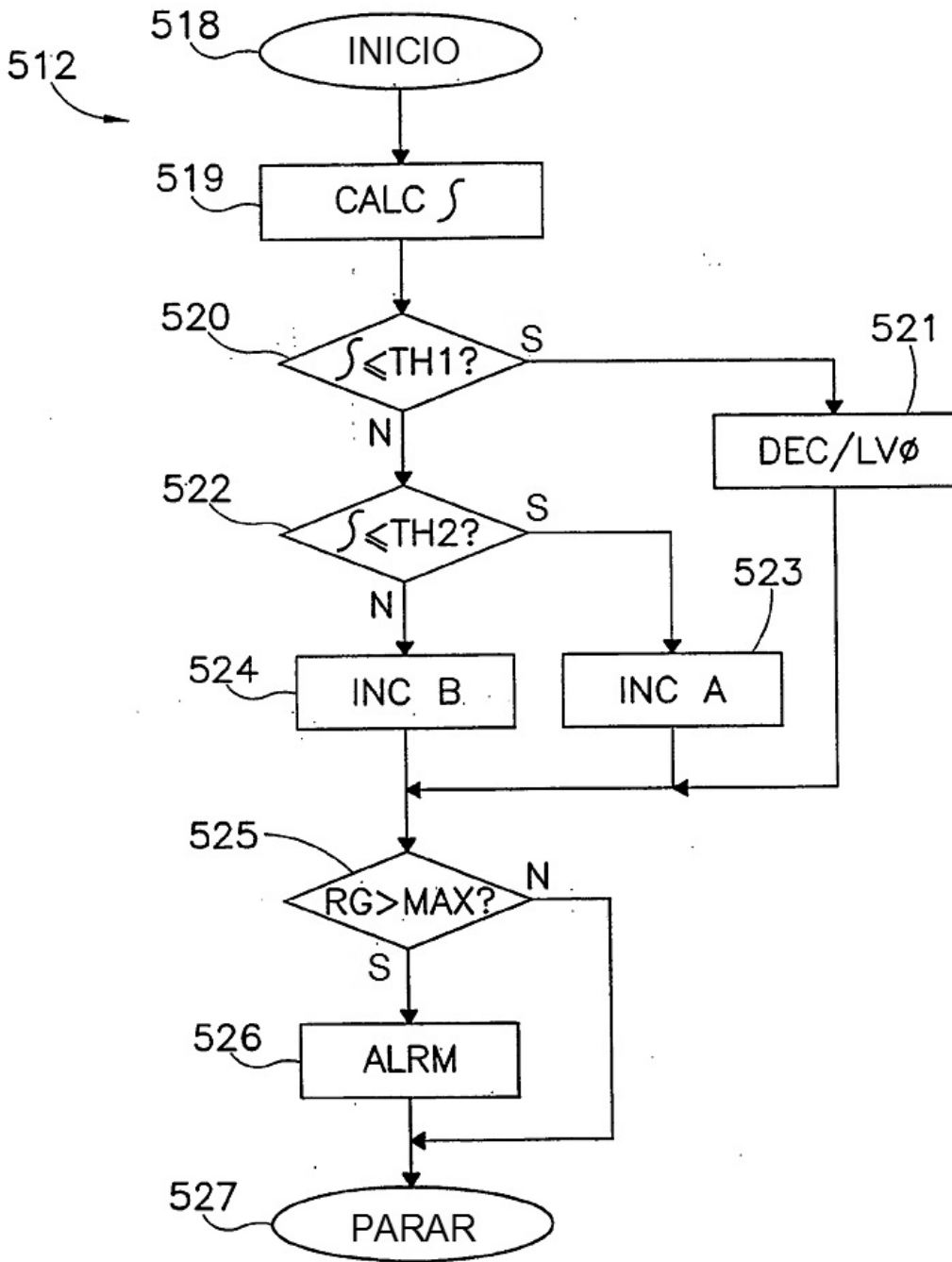


FIG.5C

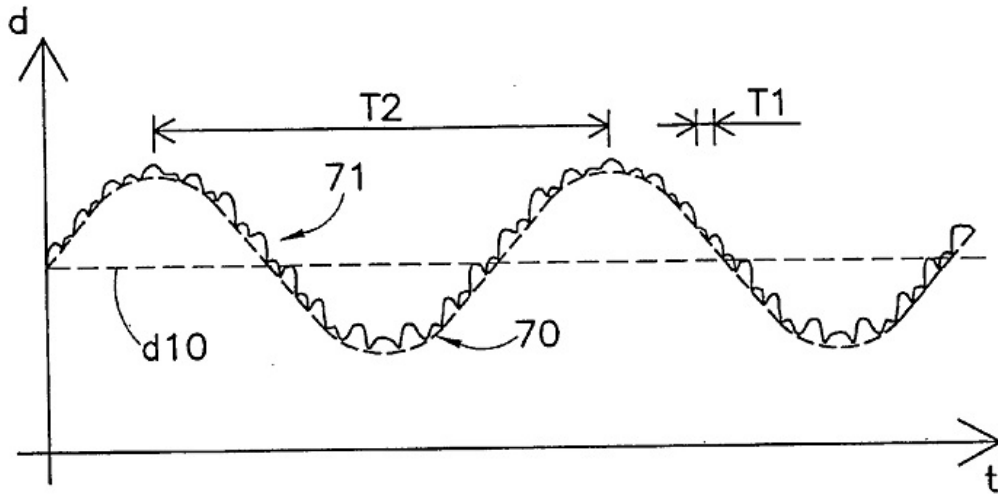


FIG.6

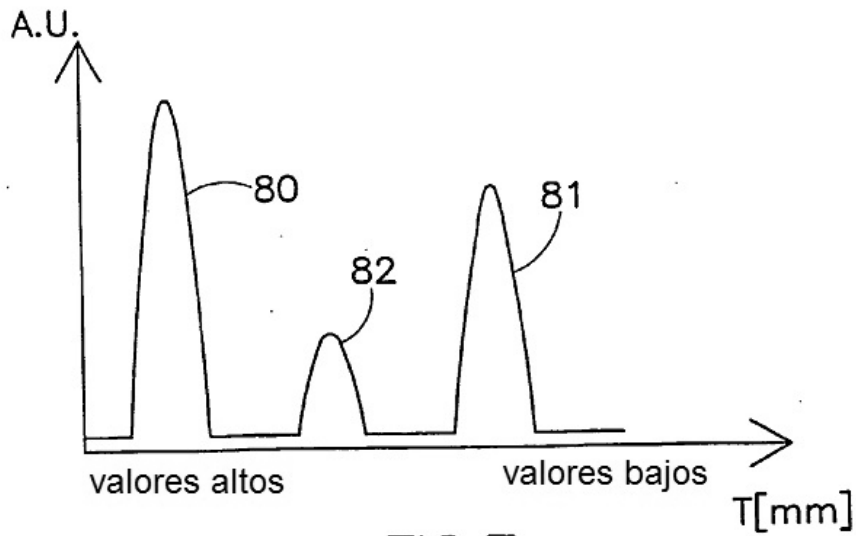


FIG.7

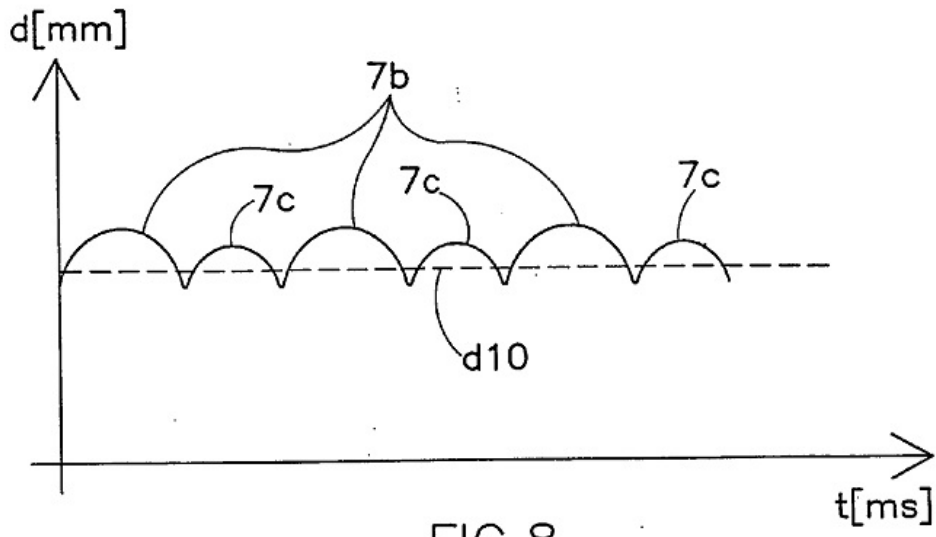


FIG.8

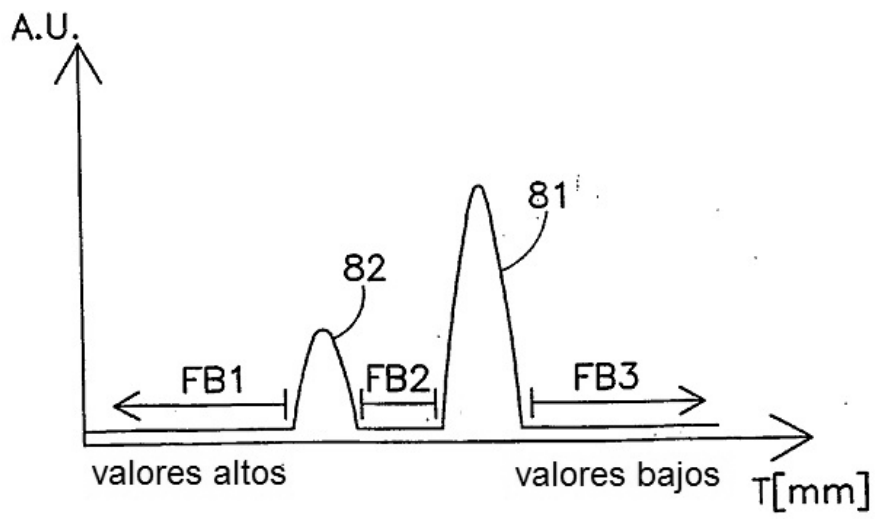


FIG.9



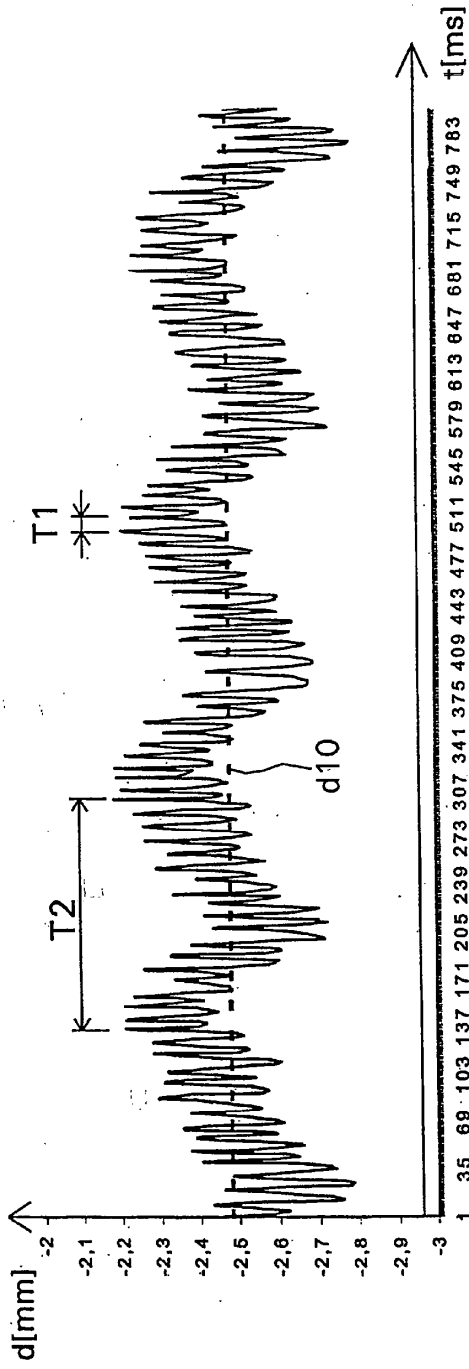


FIG. 10

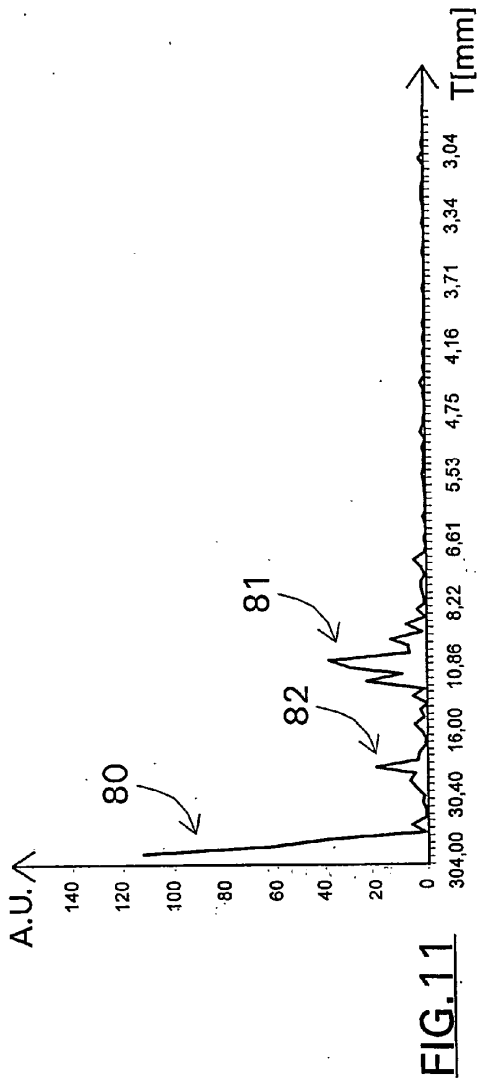


FIG. 11

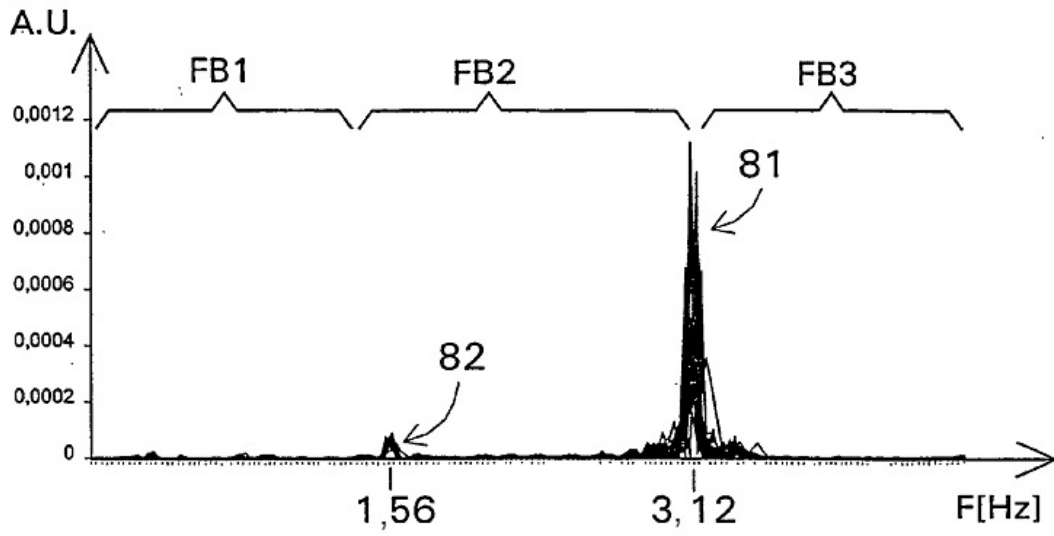


FIG.12

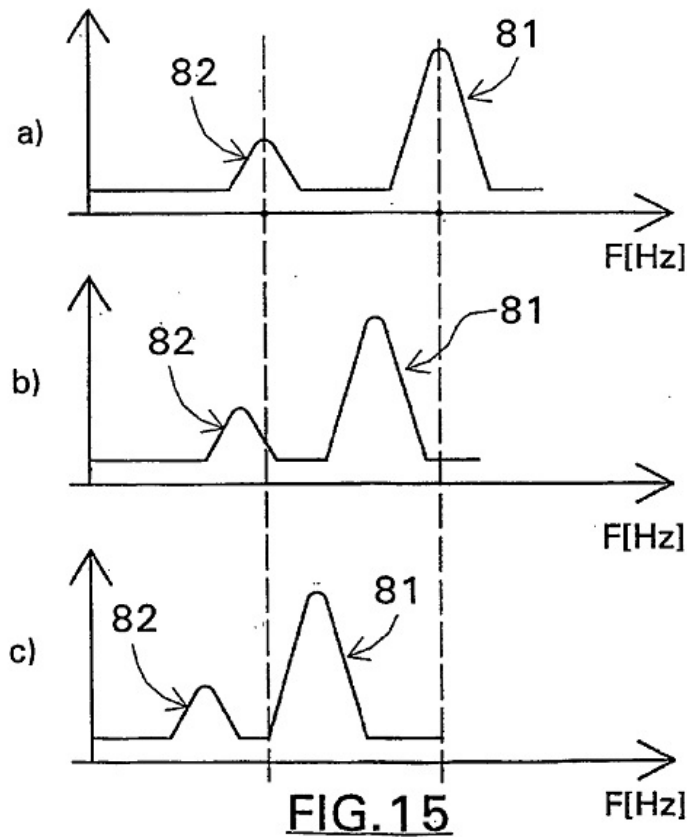


FIG.15

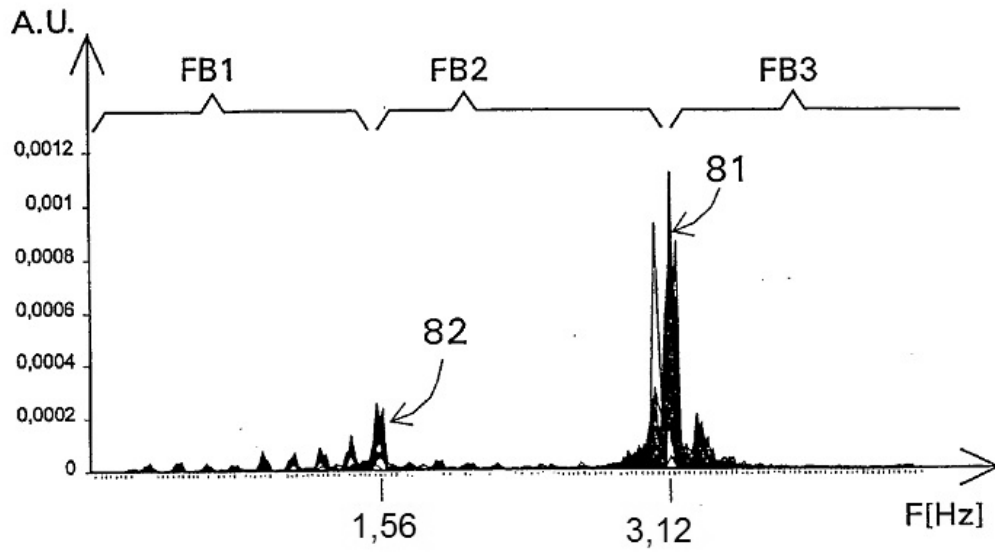


FIG.13

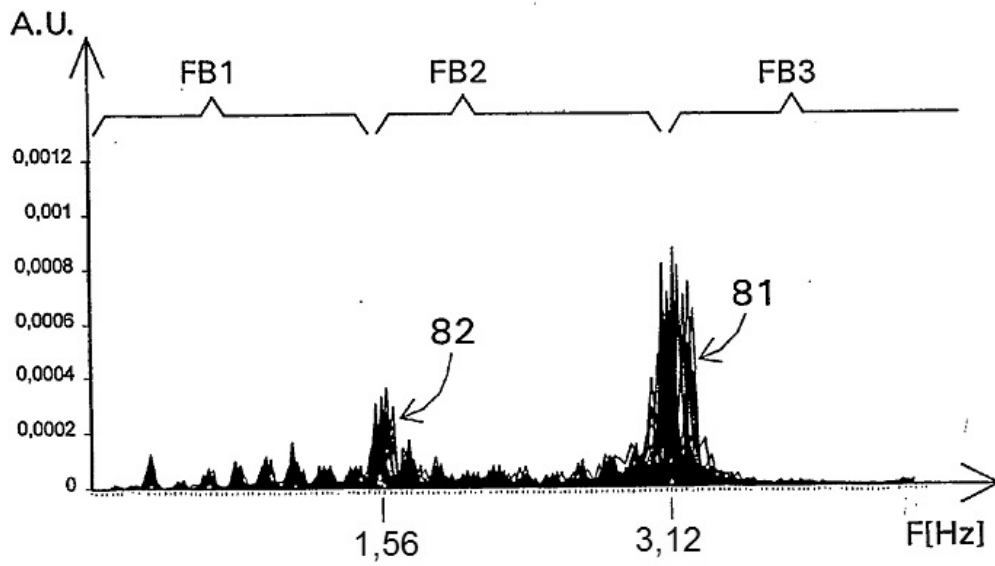


FIG.14