

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 372 167**

51 Int. Cl.:  
**G01D 5/353** (2006.01)  
**G01D 5/26** (2006.01)  
**G01R 15/24** (2006.01)  
**G01L 1/24** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04768564 .9**  
96 Fecha de presentación: **20.09.2004**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1664681**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **07.06.2006**

54 Título: **SISTEMA PARA MEDICIONES REMOTAS.**

30 Prioridad:  
**18.09.2003 GB 0321804**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.01.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.01.2012**

73 Titular/es:  
**UNIVERSITY OF STRATHCLYDE  
MCCANCE BUILDING, 16 RICHMOND STREET  
GLASGOW G1 1XQ, GB**

72 Inventor/es:  
**NIEWCZAS, Pawel y  
MCDONALD, James Rufus**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 372 167 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

## Sistema para mediciones remotas

La presente invención se refiere a un sistema de monitorización remoto de condiciones para la monitorización de equipos eléctricos, tales como un motor de bomba eléctrica sumergible (ESP) en, por ejemplo, un ambiente sumergido o debajo del mar.

Sistemas para controlar el rendimiento de la producción del pozo o equipos submarinos sería muy útil. Esos sistemas de monitorización podrían extender la vida útil del equipo de producción del pozo, tales como motores ESP, asegurándose de que sus parámetros operativos permanecen dentro de los límites de seguridad. Desafortunadamente, no existen sistemas disponibles en la actualidad que sean adecuados para monitorizar el funcionamiento de los motores ESP en fondos de pozos. Sin embargo, algunos sistemas de fondos de pozos incluyen sensores de temperatura y presión, típicamente basados en tecnología de rejilla de Bragg de fibra, para monitorizar los cambios en el entorno sumergido. Como las razones más comunes de fallos ESP son funcionamiento con pobre factor de potencia o inadecuados procedimientos de puesta en marcha que provocan un sobrecalentamiento importante de las bobinas del motor, sería deseable ampliar la capacidad de monitorización sumergida para medir la tensión y la corriente en los terminales del motor ESP. Esto permitiría una respuesta más rápida a las condiciones operativas no óptimas del motor, reduciendo así la duración acumulativa de la tensión eléctrica, térmica y mecánica en el motor.

Aunque numerosos sensores de voltaje y de corriente son conocidos, muchos de ellos no son adecuados para su uso sumergido, principalmente debido a las condiciones extremas de temperatura y presión y la necesidad de enviar señales a grandes distancias desde los equipos sumergidos a las estaciones de superficie. Esto se está convirtiendo en un problema más importante porque a medida que los yacimientos principales fuera de la costa se agotan, los operadores están considerando cada vez más la explotación de campos satélites en las cercanías usando ESPs submarinos alejados grandes distancias en la región o incluso a más de 30 km.

El uso previsto de ESPs de alta calificación en distancias más largas ha presentado a los diseñadores una serie de problemas potenciales que no existen en la misma medida con los sistemas actualmente en uso. Estos problemas se relacionan con la posibilidad de que las condiciones de sobretensión del cable en determinadas circunstancias, el funcionamiento del sistema a altas tensiones nominales y el mantenimiento potencialmente costoso debido a la recuperación y a la sustitución del ASP y la pérdida de productividad. Es por estas razones que procedimientos mejorados de control y la introducción de nuevas técnicas de monitorización, adaptadas a las necesidades de la industria, son vistos como una mejora necesaria para los sistemas ESP futuros.

Un sistema basado en la integración de tecnologías ópticas para la medición y diagnóstico de parámetros físicos se divulga en el documento US5493390. El sistema descrito opera mediante el uso de sensores ópticos, y el uso de un dispositivo óptico integrado plano para el análisis de una señal óptica. El sistema permite la medición de la deformación y la temperatura.

Un objetivo de la presente invención es proporcionar un sistema de medición capaz de monitorizar el rendimiento de los motores ESP en condiciones eléctricas, mecánicas y térmicas adversas, tal como las que existen en un entorno sumergido.

Varios aspectos de la invención se definen en las reivindicaciones independientes. Algunas de las características preferidas se especifican en las reivindicaciones dependientes.

La presente invención proporciona un sistema para medir simultáneamente la temperatura y la tensión de corriente alterna que comprende un sensor piezoeléctrico, una fibra óptica que incluye un sensor de deformación óptica, estando el sensor en contacto con el sensor piezoeléctrico y capaz de expandir o contraer con el mismo y un analizador para analizar una salida óptica de la fibra y el sensor de deformación en respuesta a una entrada óptica, en el que el analizador está configurado para determinar la tensión de corriente alterna aplicada al sensor piezoeléctrico mediante la comparación de la posición espectral instantánea de un pico de reflexión con datos de calibración y determinar la temperatura mediante la comparación con la posición espectral filtrada promedio o de paso bajo de un pico de reflexión con los datos de calibración.

Mediante la combinación de un sensor de deformación óptica y un sensor piezoeléctrico, se proporciona un mecanismo para la medición simultánea de la tensión y la temperatura en una localización remota. Por lo tanto, al conectar, por ejemplo, las bobinas de un motor ESP a través del elemento piezoeléctrico, la caída de tensión de corriente alterna a través de los mismos se puede monitorizar, simultáneamente con la temperatura. Debido a una señal óptica que se utiliza para detectar la tensión de corriente alterna y la temperatura, puede ser transmitida a través de grandes longitudes de fibra óptica sin un deterioro significativo. Esto significa que las señales detectadas en el entorno sumergido extremo pueden ser transmitidas a las estaciones de monitorización a distancia en la superficie.

El sensor óptico de deformación puede ser una rejilla de Bragg de fibra. Las rejillas de Bragg de fibra están escritas en

5 un núcleo de una fibra óptica (usualmente de un solo modo) usando tecnologías estándar de escritura, y pueden ser fabricadas para operar a longitudes de onda de telecomunicaciones, por ejemplo, una ventana de 1550nm. Esto proporciona el beneficio de la menor atenuación de una fibra de dirección óptica, lo que permite desarrollar fácilmente sistemas de interrogación remotos alejados. Además, las rejillas de Tipo II o rejillas de composición química (CCGs) han mostrado que soportan temperaturas superiores a 800°C, y con revestimientos apropiados, por ejemplo, de poliamida, pueden funcionar de forma continua hasta 300-400°C.

Más de una rejilla de Bragg de fibra se proporciona a lo largo de la fibra. Dos rejillas de Bragg de fibra se pueden proporcionar en la misma longitud de fibra. Alternativamente, el sensor óptico de deformación podría comprender un sensor de interferometría Fabry-Perot o un interferómetro de Mach-Zehnder.

10 La posición espectral instantánea de un pico de reflexión asociado con el sensor óptico de deformación es indicativa de una medida de una tensión de corriente alterna aplicada al elemento piezoeléctrico y la posición espectral filtrada promedio o de paso bajo del pico de reflexión del sensor de deformación indica las lecturas de temperatura. Con este fin, el analizador del sistema está configurado para determinar la tensión de corriente alterna aplicada al elemento piezoeléctrico usando la posición espectral instantánea de un pico de reflexión y la temperatura usando la posición espectral filtrada promedio o de paso bajo del pico de reflexión.

15 Varios aspectos de la invención se describen a modo de ejemplo solamente con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

La figura 1 es un diagrama de bloques de un primer sistema de monitorización sumergido;

20 La figura 2 muestra una respuesta de la posición del pico del sistema de monitorización de la figura 1 en una modulación de tensión de corriente alterna en dos temperaturas diferentes;

La figura 3 es un diagrama de bloques de un segundo sistema de monitorización sumergido;

La figura 4 es una sección transversal a través de una pila piezoeléctrica que puede ser utilizada en los sistemas de las figuras 1 y 3; y

25 La figura 5 es un diagrama de bloques que muestra una modificación opcional a los sistemas de la figura 1 o de la figura 3.

30 La figura 1 muestra una carcasa o alojamiento 5, que incluye un elemento piezoeléctrico 1 en forma de un paralelepípedo o de una varilla con electrodos 2, 3 depositado en superficies de extremo opuestas. El elemento piezoeléctrico 1 actúa como un transductor primario para convertir la tensión aplicada a los electrodos en deformación en el elemento. Fijada o integrada dentro de este elemento 1, ya sea perpendicular (tal como se muestra en la figura 1) o en paralelo a los electrodos 2, 3, hay una fibra óptica que incluye una sola rejilla de Bragg (FBG) 4. Esta rejilla 4 se utiliza para medir la deformación inducida por la tensión en el elemento y responde a los cambios de temperatura causados tanto por la expansión/contracción térmica del transductor y los cambios inducidos térmicamente en la modulación del índice de refracción de la FBG. Un sensor de este tipo general se describe en el documento DE 199 02 279 A.

35 Se proporciona a lo largo de la fibra óptica 10 un circuito de liberación de deformación 9 u otros medios de liberación de la deformación para desacoplar cualquier deformación causada por la expansión/contracción del elemento piezoeléctrico 1 y/o la carcasa 5. La fibra 10 se extiende a través de terminales ópticos 11, 12 en paredes opuestas de la carcasa 5, cuyos terminales ópticos se pueden realizar en forma de trenzas ópticas con prensaestopas o conectores ópticos. Conectado a los extremos remotos de la fibra hay un analizador espectral (no mostrado) para proporcionar una respuesta espectral de la misma en respuesta a una entrada óptica conocida. Típicamente, esto se proporcionaría a una estación de superficie remota del ambiente sumergido.

40 Uno de los electrodos 3 se fija a la carcasa 5 del aparato y el segundo electrodo 2 tiene un movimiento sin restricciones. Esto puede realizarse conectando un conductor rígido 6 a la carcasa 5 y soldándolo o conectándolo de otro modo al electrodo fijo 3 de tal manera que el conductor rígido 6 soporta el transductor 1 y proporciona una conexión eléctrica a uno de un par de terminales de tensión 7. La conexión eléctrica al electrodo libre 2 se puede realizar utilizando un cable flexible 8, lo que garantiza que el movimiento del electrodo libre 2 es sin restricciones. Este está conectado al otro de los terminales de tensión 7. Los terminales de tensión 7 del aparato pueden comprender cualesquiera cables y prensaestopas apropiados de alta tensión. Conectadas a estos terminales de tensión estarían, por ejemplo, las bobinas de un motor de ESP. De esta manera, cualquier tensión desarrollada a través de las bobinas se aplicaría a través del elemento piezoeléctrico 1.

50 En la práctica, se inyecta luz en la fibra 10 y se mide la respuesta espectral. Cualquier fuente de luz adecuada se podría utilizar, aunque un ejemplo específico es una fuente de luz de banda ancha. El espectro reflejado en la rejilla de Bragg 4 puede ser analizado usando un analizador de espectro óptico rápido y, posteriormente, procesado digitalmente

para recuperar los parámetros de tensión y temperatura. Idealmente, el proceso de interrogación debería ser lo suficientemente rápido para adquirir datos de la tensión con una frecuencia de al menos el doble de la señal de tensión. Varias técnicas de interrogación de sensores espectrales codificados de forma automática son conocidas en la técnica, véase por ejemplo el artículo "In Fibre Bragg grating sensor", de Rao, Meas. Sc. Tech. 8 (1997) 355-375; 5 "Interrogation and multiplexing techniques for fiber Bragg grating strain sensors", de D. Kersey, SPIE Vol. 2071 30-48, y P. Niewczas et al, "IEEE T on Instrumentation and Measurement", 52 (4): 1092-96 agosto 2003. El aparato de la figura 1 puede ser interrogado empleando cualquiera de estas técnicas conocidas.

Para recuperar los parámetros de tensión y temperatura, el analizador espectral del aparato de la figura 1 incluye un software para el análisis de los espectros capturados. Esto es operativo para usar las posiciones detectadas de los picos de la FBG filtradas instantáneas y promedio o de bajo paso, así como la información de calibración para 10 determinar la temperatura y la tensión. La posición espectral instantánea del pico de reflexión de la FBG 4 puede ser calibrada en términos de las lecturas de tensión de corriente alterna. La posición espectral promedio del pico de reflexión de la FBG puede ser calibrada en función de las lecturas de la temperatura. De este modo, mediante la 15 captura de espectros ópticos a partir de un solo sensor óptico de deformación 4, se pueden obtener datos de tensión de corriente alterna y temperatura combinados. A modo de ejemplo, la figura 2 muestra una posición espectral de la FBG en el dominio de tiempo a dos temperaturas diferentes cuando la tensión de corriente alterna se aplica a los terminales del sensor. Se puede observar que la posición instantánea del pico sigue la tensión de corriente alterna aplicada y la posición promedio del pico sigue los cambios de temperatura. La figura 2 también muestra que a medida 20 que aumenta la temperatura, aumenta la amplitud de la posición instantánea del pico debido a la tensión de corriente alterna.

Con el fin de calibrar el sensor para la temperatura y la tensión, un ciclo de temperatura se aplica primero al sensor sobre su rango de temperatura operativa y la longitud de onda promedio registrada para cada punto de la temperatura. Esto permite construir una tabla de búsqueda o la construcción de una función de mejor ajuste que puede ser usada 25 para encontrar la temperatura local durante la medición sobre la base de la posición promedio del pico de la FBG conocida. La amplitud de la posición instantánea del pico en la tensión de entrada sinusoidal dada también se puede registrar durante los ciclos de temperatura, y una segunda tabla de búsqueda o una función de mejor ajuste pueden ser creadas para que reflejen los cambios de sensibilidad del sensor frente a la temperatura. En consecuencia, durante el funcionamiento, las lecturas de temperatura derivadas que se pueden usar para corregir las lecturas de tensión que se ven afectadas por las variaciones de temperatura y requieren una compensación si el sensor opera en el rango 30 extendido de temperatura.

El sistema de la figura 1 permite la medición simultánea de la tensión alterna y la temperatura. Para muchas aplicaciones sumergidas, donde sólo las señales de corriente alterna están presentes, ésta es una información útil. En algunas circunstancias, sin embargo, tensión de corriente alterna y corriente continua estará presente y que sería útil 35 tener con una medida de ambas. Con este fin, de manera opcional, en el sistema de la figura 1, una pluralidad de FBGs, por ejemplo dos, se puede escribir en la misma longitud de la fibra, en lugar de sólo una FBG 4. Esto permite la medición simultánea de deformación y temperatura en el elemento piezoeléctrico, siempre que las dos FBGs tengas diferentes respuestas a los cambios de deformación y de temperatura. Esto permite medir la tensión de corriente alterna y de corriente continua y la temperatura. En este caso las dos FBGs producirían dos cambios de longitud de onda diferentes cuando se deforman debido a la tensión y/o se someten a influencia térmica. Esta información, 40 combinada con las características de respuesta conocida a la tensión y a la temperatura de las dos FBGs es suficiente para crear un conjunto de dos ecuaciones con dos incógnitas, es decir, tensión (valor instantáneo) y temperatura, para lo cual la solución debe encontrarse en tiempo real. Las características de respuesta de tensión y de temperatura se pueden obtener un ciclo simultáneo de temperatura y tensión del sensor y registrando un conjunto de puntos de datos para cada valor de temperatura y de tensión. Estas disposiciones de dos FBGs escritas en una posición de fibra son 45 conocidas en la técnica en aplicaciones que requieren la medición de la tensión y de la temperatura, véase, por ejemplo, "Theoretical and experimental study on the fabrication of double fiber Bragg gratings" de X.Y. Wang et al, OPT FIBER TECHNOL 3 (2): 189-193 abril 1997.

La figura 3 muestra otro sistema de medición sumergido. Esto es similar al de la figura 1, excepto en este caso que la fibra óptica incluye dos rejillas de Bragg, FGB 4 y FBG 13, y hace dos pasadas por el elemento piezoeléctrico 1. Como 50 antes, la primera rejilla de Bragg está integrada en el elemento 1, de modo que puede expandirse y contraerse con el mismo. Por el contrario, la FBG adicional 13 está acoplada térmicamente al aparato, pero está desacoplada de los cambios de deformación. Esto puede realizarse utilizando, por ejemplo, un capilar 14 fijado o integrado en el aparato en el que se inserta la segunda FBG 13. Esta rejilla de Bragg de fibra adicional FBG 13 está prevista para medir la temperatura local para compensar la deriva térmica de la medición de la tensión. Esto permite que ambas tensiones de corriente alterna y de corriente continua y la temperatura se midan de forma simultánea. Esto se puede realizar en la 55 misma forma que para el caso de una FBG doble. Las dos respuestas longitud de onda son producidas por las dos FBGs. Una depende del número de parámetros, es decir, la deformación debida a la tensión, la deformación debida a la temperatura y el efecto de la temperatura interna de la FBG. La respuesta de otra longitud de onda, producida por la FBG desacoplada de la deformación, sólo dependería de la temperatura local. Esta información del cambio de longitud

de onda combinada con las dos características FBG (una dependiente de la tensión y de la temperatura y la otra dependiente de la temperatura solamente) se puede utilizar para crear un conjunto de dos ecuaciones con la tensión y la temperatura como las dos incógnitas. Este conjunto de ecuaciones debe ser resuelto en tiempo real para recuperar los parámetros medidos. Una vez más, las características para la construcción del conjunto de las dos ecuaciones se pueden obtener mediante el ciclo simultáneo de la temperatura y de la tensión del sensor y mediante el registro de longitudes de onda de las dos turnas FBGs para cada punto de temperatura y de tensión.

Con el fin de aumentar la sensibilidad de medición de la tensión del presente aparato, el transductor primario en forma de un elemento piezoeléctrico 1 puede ser sustituido con un transductor primario modificado en forma de una pila piezoeléctrica 15, tal como se muestra en la figura 4. La pila piezoeléctrica 15 está hecha de capas piezoeléctricas 16, separadas por electrodos 17. Las capas piezoeléctricas 16 individuales están dispuestas en la pila, de modo que capas consecutivas tienen polaridades invertidas con el fin de facilitar conexiones eléctricas en paralelo entre electrodos de la misma polaridad. Estos están entonces interconectados y se conectan a los electrodos externos, es decir, el electrodo libre 2 y el electrodo fijo 3, tal como se muestra en la figura 4. Las capas individuales están unidas entre sí usando métodos conocidos en la técnica anterior de hacer pilas piezoeléctricas. Esta disposición permite inducir mayores campos eléctricos en el material piezoeléctrico, en comparación con la disposición de un solo elemento. Por lo tanto, la sensibilidad de la respuesta de la tensión a la deformación puede aumentarse y adaptarse a la aplicación específica o clasificación de tensión, cambiando el número y el espesor de las capas individuales. Los electrodos entre las capas piezoeléctricas individuales en la pila se hacen preferentemente lo más finas posible con el fin de reducir el efecto de la deformación no uniforme de la FBG. Una deformación no uniforme produciría una respuesta espectral FBG ligeramente más ancha y un cambio de longitud de onda ligeramente más bajo cuando se aplica tensión. Sin embargo, este efecto no tendría ninguna repercusión en detrimento grave en el funcionamiento del sensor cuando el transductor se calibrara antes de su uso.

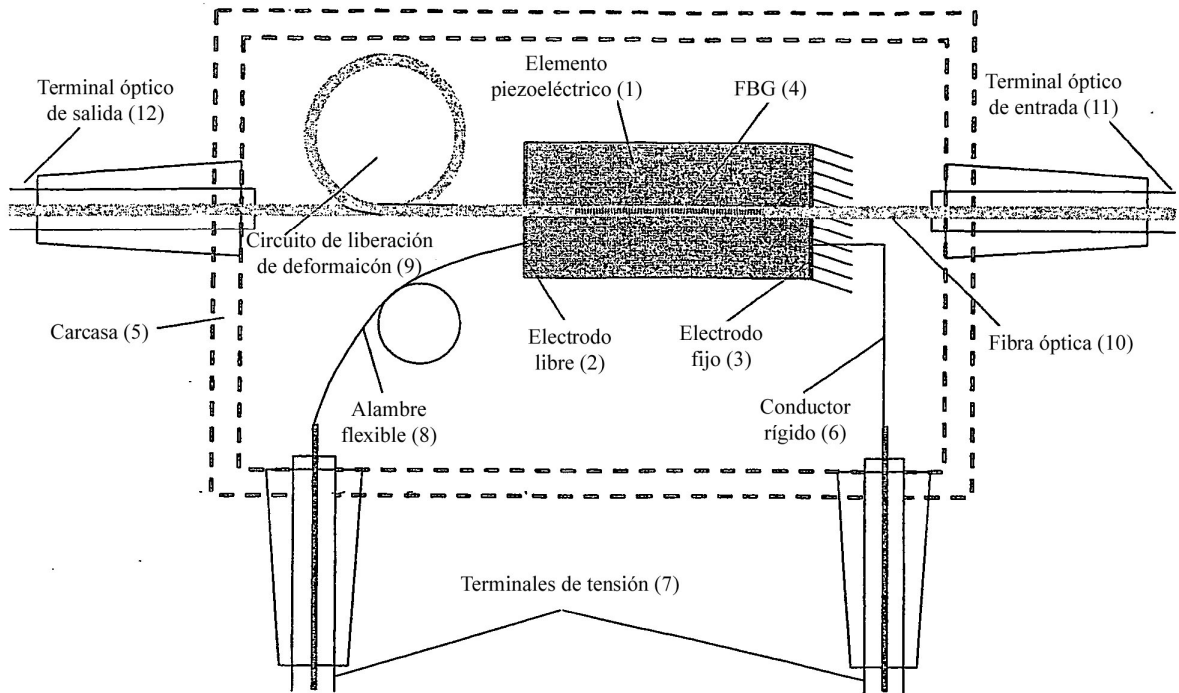
Con referencia a la figura 5, el aparato de las figuras 1 y 3 se puede utilizar para medir la corriente cuando se trabaja junto con un concentrador de flujo magnético apropiado con bobinas 19. Los terminales de las bobinas secundarios se conectan a una carga resistiva 21 y los terminales de entrada 7 del sensor de tensión. El concentrador de flujo 19 rodea el conductor que transporta corriente 20, por ejemplo, un cable o bobina del motor ESP y convierte la corriente en tensión, que se mide a través de los terminales de la resistencia del sensor de tensión. La tensión de corriente alterna y la temperatura se pueden determinar tal como se describió anteriormente con referencia a la figura 1. Una medición de la corriente puede ser luego recuperada mediante el escalado apropiado de esta tensión medida en el analizador espectral o una unidad de procesamiento asociada al mismo. Cabe señalar que sólo las corrientes de corriente alterna se pueden medir con esta disposición.

La presente invención permite la medición remota de tensión, temperatura y, opcionalmente, corriente en condiciones eléctricas, mecánicas y térmicas adversas. El aparato tiene una excelente capacidad de multiplexado, es decir, varios dispositivos similares y/u otros sensores espectralmente codificados pueden dirigirse usando un único cable de fibra óptica. Además, el presente aparato se puede convertir en un dispositivo compacto, que permite el montaje en espacios reducidos.

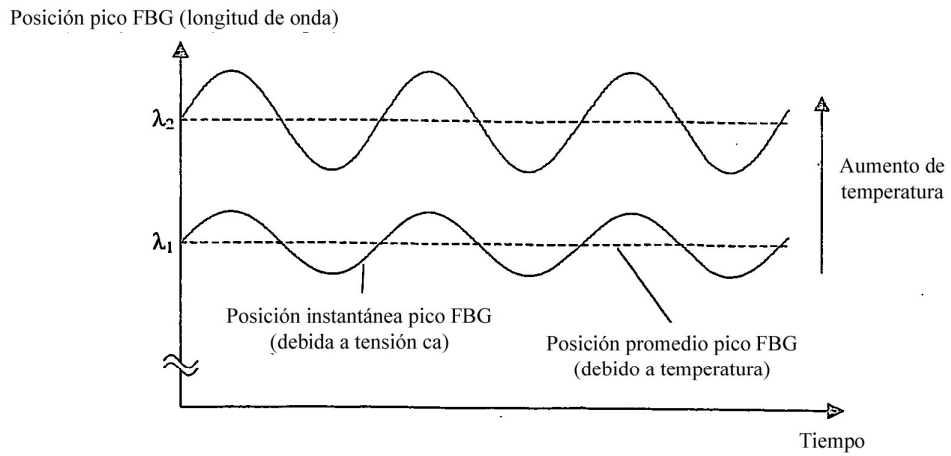
Una persona experta apreciará que son posibles variaciones de las disposiciones descritas. Por ejemplo, aunque la invención ha sido descrita principalmente en referencia a aplicaciones sumergidas o bajo el mar, se apreciará que podría ser utilizada en cualquier ambiente de condición de monitorización remota. Por consiguiente, la anterior descripción de la realización específica se hace a modo de ejemplo solamente, y no por motivos de limitación. Estará claro para el experto que se pueden hacer modificaciones menores hacer sin cambios significativos en la operación descrita.

**REIVINDICACIONES**

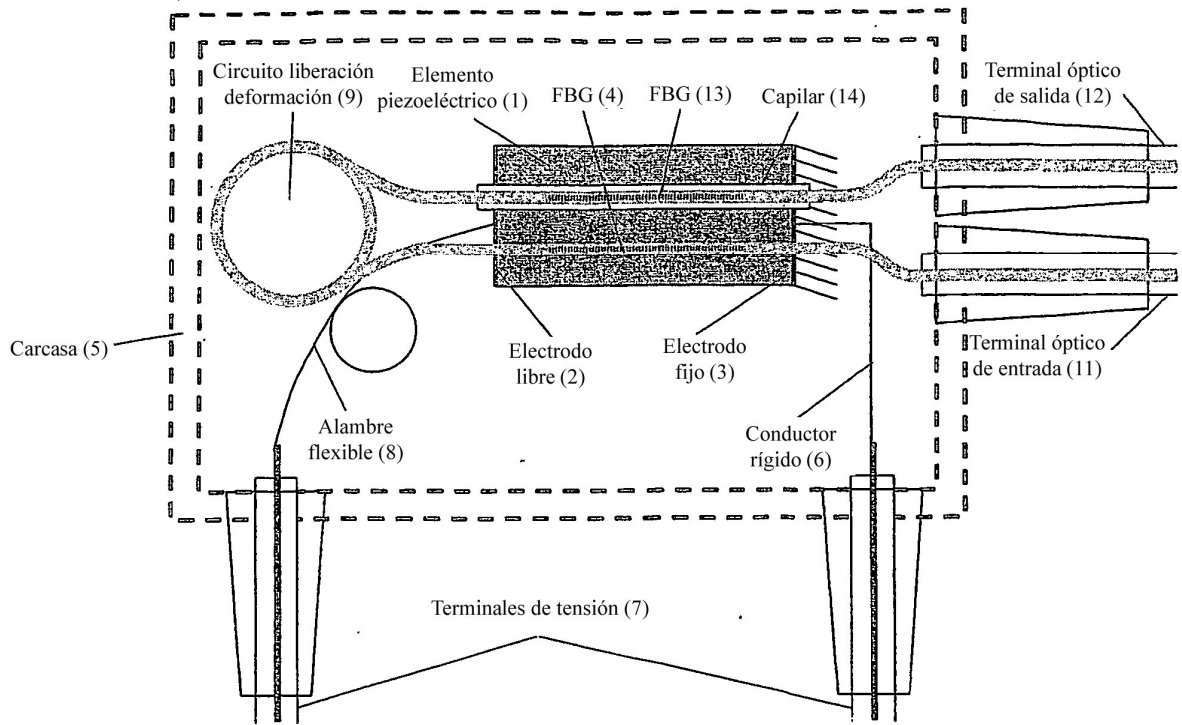
- 5 1. Sistema para medir simultáneamente la temperatura y la tensión de corriente alterna que comprende un sensor piezoeléctrico (1), una fibra óptica (10) que incluye un sensor óptico de deformación (4), estando el sensor (4) en contacto con el sensor piezoeléctrico (1) y es capaz de expandirse o contraerse con el mismo y un analizador para analizar una salida óptica de la fibra (10) y el sensor de deformación (4) en respuesta a una entrada óptica, en el que el analizador está configurado para determinar la tensión de corriente alterna aplicada al sensor piezoeléctrico (1) mediante la comparación de la posición espectral instantánea de un pico de reflexión con los datos de calibración y determinar la temperatura mediante la comparación de la posición espectral filtrada promedio o de bajo paso de un pico de reflexión con los datos de calibración.
- 10 2. Sistema según la reivindicación 1, en el que el sensor óptico de deformación (4) comprende una o más rejillas de Bragg (4) y/o sensores interferométricos Fabry-Perot y/o interferómetros Mach-Zehnder.
3. Sistema según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el sensor piezoeléctrico (1) es una pila piezoeléctrica (15).
- 15 4. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que un transformador de corriente se proporciona para convertir una corriente alterna en una tensión de corriente alterna para aplicar al sensor piezoeléctrico (1), en el que el analizador es operable para determinar la tensión de corriente alterna y convertirla en una medida de la corriente alterna aplicada al transformador.
- 20 5. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la fibra óptica (10) incluye un segundo sensor óptico de deformación (13) que está en contacto con el sensor piezoeléctrico (1) y es capaz de expandirse o contraerse con el mismo, pero tiene diferentes respuestas de deformación y de temperatura desde el otro sensor óptico (4), de modo que las salidas ópticas de los dos sensores son diferentes, en el que el analizador es operable para usar las respuestas desde cada sensor óptico y datos de respuesta predeterminados para determinar la temperatura, la tensión de corriente alterna y la tensión de corriente continua.
- 25 6. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la fibra óptica (10) incluye un segundo sensor óptico de deformación (13) que está térmicamente acoplado al sensor piezoeléctrico (1), pero mecánicamente desacoplado, de manera que las salidas ópticas de los dos sensores son diferentes, en el que el analizador es operable para usar las respuestas ópticas de cada sensor y los datos de respuesta predeterminados para determinar la temperatura, la tensión de corriente alterna y la tensión de corriente continua.
- 30 7. Sistema según la reivindicación 5 o la reivindicación 6, en el que la fibra óptica (10) hace dos o más pasadas por el sensor piezoeléctrico (1).
8. Sistema según la reivindicación 1, que también comprende una herramienta terrestre, submarina o sumergida que incluye equipo eléctrico y medios para la conexión de la fibra óptica (10) en el analizador, en el que al menos una parte del equipo eléctrico está conectado a través del sensor piezoeléctrico (1) y la fibra óptica (10) está conectada de manera remota al analizador a través de los medios de conexión.
- 35 9. Sistema según la reivindicación 8, en el que un transformador de corriente se proporciona para convertir una corriente alterna a una tensión de corriente alterna para aplicarse al sensor piezoeléctrico (1), en el que el analizador es operable para convertir la tensión de corriente alterna determinada a una medida de la corriente alterna aplicada al transformador.



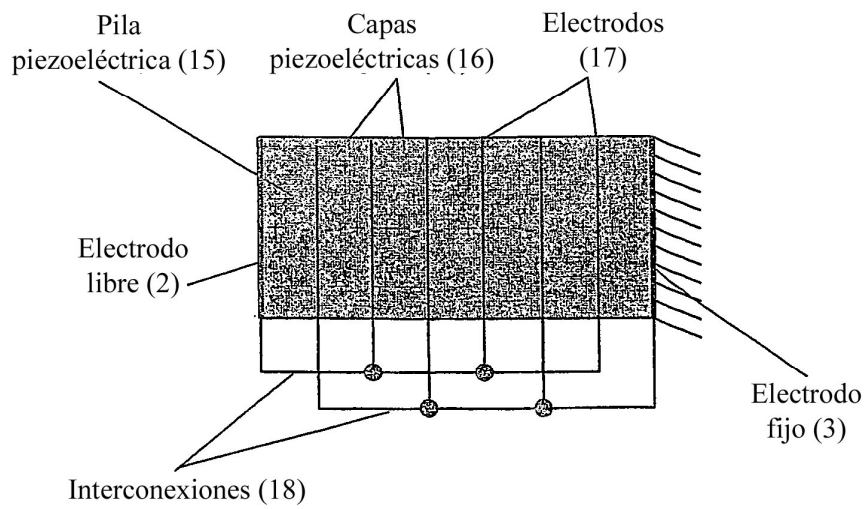
**Figura 1**



**Figura 2**



**Figura 3**



**Figura 4**



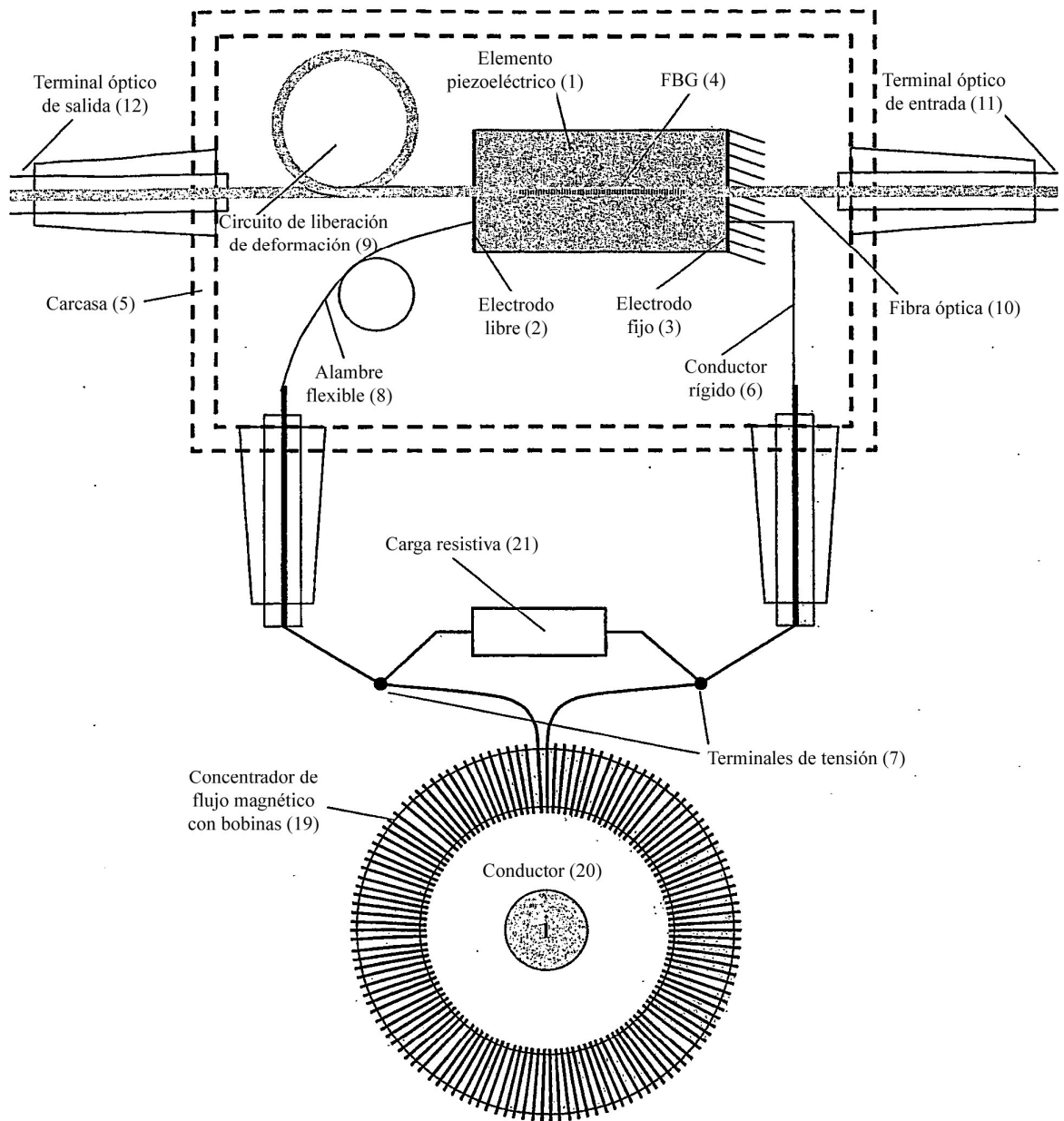


Figura 5