



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 333 310**

(51) Int. Cl.:

G01N 29/04 (2006.01)

E02D 33/00 (2006.01)

G01M 7/08 (2006.01)

G01H 3/10 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Número de solicitud europea: **03075813 .0**

(96) Fecha de presentación : **28.04.1998**

(97) Número de publicación de la solicitud: **1324031**

(97) Fecha de publicación de la solicitud: **02.07.2003**

(54) Título: **Sistema de prueba de anclaje a tierra.**

(30) Prioridad: **29.04.1997 GB 9708740**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
19.02.2010

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
19.02.2010

(73) Titular/es: **Aberdeen University**
Auris Business Centre, 23 St. Machar Drive
Aberdeen AB24 3RY, GB
University of Bradford

(72) Inventor/es: **Rodger, Albert Alexander;**
Littlejohn, Gavin Stuart;
Neilson, Richard David y
Penman, James

(74) Agente: **Lazcano Gainza, Jesús**

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 de prueba de anclaje a tierra.

5 La presente invención se refiere a un sistema de pruebas para el anclaje a tierra. En concreto, la presente invención se refiere a un sistema para aplicar un impulso de carga a los anclajes a tierra y a un sistema para procesar la respuesta vibracional de los anclajes después de aplicar dicho impulso de carga.

10 Los anclajes a tierra conocidos se utilizan para soportar estructuras de ingeniería como túneles, minas, muros de contención, diques secos y presas. Existen dos tipos principales de tendones de anclaje: tipo varilla metálica sólida o tipo cordón de hilo múltiple. Para fijar un tendón de anclaje a la tierra, inicialmente se realiza una perforación en la subsuperficie de la tierra. Luego, el tendón del anclaje se inserta en la perforación y un largo de la parte remota de la superficie de tierra se adhiere a la tierra mediante resina, lechada de cemento o similares. Otro largo del tendón de anclaje también puede adherirse posteriormente a la tierra. Un ensamblaje de tensión se posiciona contra la tierra y se localiza en el tendón de anclaje de manera que el anclaje pueda tensionarse posteriormente a una tensión adecuada. Se apreciará que el conjunto de tensión varía según si el tendón de anclaje es de tipo varilla o de cordón múltiple.

20 Con el tiempo, la tensión posterior sobre el anclaje puede variar por muchas razones, por ejemplo debido al movimiento gradual de la tierra, debido al movimiento repentino de la tierra consecuencia de terremotos, debido al deterioro del anclaje, debido a la pérdida de adherencia, etc. Esta variación en la tensión posterior, generalmente una pérdida de tensión posterior, puede llevar a una reducción local en el soporte de la estructura en cuestión que eventualmente puede construirse debido a un fallo a la hora de soportar adecuadamente la estructura si se ven afectados anclajes suficientes. Por tanto, existe la necesidad de valorar la integridad de la continuación de los anclajes a tierra.

25 WO-A-95/27831, además de describir una variedad de métodos de fijación para anclajes a tierra, también describe un método para valorar la integridad de los anclajes a tierra. Se fija una placa de impulso en el extremo de la superficie de un anclaje de tipo varilla y un aparato transmisor de impulsos se asocia operativamente con la placa de impulso para aplicar un impulso de carga al anclaje. El aparato incluye forzar manualmente una masa contra la tensión de un resorte, bloqueando la masa en posición y luego liberando manualmente la masa de manera que la energía del resorte mueva la masa para impactar la placa de impulso de ahí ocasionando que vibre el tendón de anclaje. La respuesta resultante vibracional se comprara con una referencia de respuesta del sitio del anclaje en una fase más temprana de su vida para determinar cambios en el estado del anclaje.

35 Sin embargo, se apreciará que el ensayo de los anclajes a tierra no se produce en ubicaciones cómodas ni fácilmente accesibles. En consecuencia, el funcionamiento manual del impulso que imparte el aparato resulta difícil, pesado y consume tiempo. Es más, el aparato transmisor de impulsos conocido no es aplicable a tendones de anclaje de cordón múltiple. De hecho, existe la necesidad de utilizar anclajes a tierra más largos, especialmente respecto a una carga sísmica no disruptiva, pero se ha averiguado que al someter a ensayo a anclajes a tierra más de 10 metros, el aparato conocido no puede vibrar suficientemente el tendón de anclaje para dar una respuesta vibracional útil. Por ello, existe la necesidad de aplicar impulsos de carga más grandes. Sin embargo, mientras el impulso de carga aplicado pueda ser adecuado para vibrar el tendón de anclaje suficientemente, deberá tenerse cuidado de que el impulso de carga no sea tan grande que induzca daños potenciales al anclaje.

45 De la misma forma, existe la necesidad de un aparato transmisor de impulsos sencillo de utilizar, que permita una variación fácil en el tamaño del impulso de carga aplicado de manera que el aparato sea versátil en la aplicación y que pueda utilizarse para aplicar una carga de impulso a un anclaje de cordón múltiple.

50 El método mencionado anteriormente para valorar la integridad de anclajes a tierra proporciona una comparación simple de una respuesta vibracional con una respuesta vibracional de referencia para valorar el anclaje a tierra. De hecho, resultaría útil tener una valoración más discriminatoria del anclaje a tierra en términos del grado de cambio en la tensión posterior. En concreto, resultaría útil tener una valoración precisa de este cambio, con una precisión aproximada del 10%. El método de valorar la integridad de los anclajes a tierra en WO-10 A-95/27831 no proporciona esto.

55 Además, a medida que se van alargando los anclajes, se ha averiguado que la precisión y, por tanto, la efectividad de las técnicas aplicadas a anclajes más cortos se reduce significativamente. En concreto, para anclajes a tierra más largos, cada vez resulta más difícil diferenciar entre respuestas vibracionales de los tendones de anclajes. Por tanto, resulta necesario mejorar la diferenciación de las respuestas vibracionales para los tendones más largos de anclajes a tierra.

60 Un artículo de HW Whittington: "Sonic Testing of civil engineering sub- and super-structures" [Ensayos sónicos de subestructuras y superestructuras de ingeniería civil] IEEE 1984 ULTRASONIC SYMPOSIUM PROCEEDINGS, vol.2, 14 Noviembre 1984 (1984-11-14), páginas 8 69-87 6, XP002072374 DALLAS, TEXAS describe un sistema de ensayo de anclaje donde los anclajes sometidos a ensayo se excitan sónicamente y los espectros de respuesta se utilizan para determinar su integridad.

ES 2 333 310 T3

Es objeto de la presente invención proporcionar un método para valorar la integridad de anclajes a tierra en donde la resolución de la valoración de la respuesta vibracional del tendón de anclaje pueda mejorarse suficientemente para proporcionar una resolución mejorada, especialmente respecto de tendones de anclaje más largos.

5

Según la invención se proporciona un método para valorar la integridad de los anclajes a tierra, el método comprende los métodos de:

10

(a) Impartir un impulso de carga a un tendón de anclaje a tierra o un elemento del mismo para que sea sometido a ensayo provocando que dicho tendón de anclaje a tierra o elemento suyo vibre como respuesta;

(b) Generar señales eléctricas indicativas de la respuesta vibracional y acondicionar las señales eliminando el ruido y sus componentes de señales no deseadas;

15

(c) Someter las señales condicionadas a un proceso matemático y estadístico que incluya al menos uno de los siguientes:

Análisis del componente principal, transformación de ondas pequeñas y análisis espectral de orden más alto, generar señales de datos eléctricos en donde la información no deseada y el ruido se minimicen;

20

(d) Aplicar señales de datos eléctricos en el paso (c) a una red neuronal artificial que se haya preparado con señales de datos de calibración comparable derivadas previamente del tendón o su elemento bajo el análisis de calibración; por tanto, clasificar las señales de datos eléctricas indicativas de la respuesta vibracional relativa a las señales de datos de calibración, en donde dichas señales de datos de calibración se derivan en una fase de operación inicial en cuyos pasos (a), (b) y (c) se repiten para una pluralidad de tensiones diferentes en el anclaje a tierra y/o para una pluralidad de diferentes impulsos de carga para proporcionar la respuesta vibracional para diferentes tensiones conocidas.

25

30

El método incluye preferentemente el paso siguiente (e) de almacenar información de salida de la red neuronal artificial característica de la respuesta vibracional.

En la fase operativa inicial, la tensión del anclaje a tierra puede incrementarse proporcionando las correspondientes respuestas vibratorias y, preferentemente, el tamaño del incremento se reduce cuando la tensión es mayor que el 80% de la tensión óptima donde el anclaje soporta correctamente la estructura.

35

Un ejemplo de la presente invención se describirá detalladamente con referencia a los dibujos adjuntos, donde:

40

La Figura 1 ilustra una representación esquemática de un sistema de ensayo de la integridad del anclaje a tierra realizando la presente invención;

La Figura 2 ilustra un aparato transmisor de impulsos que realiza la presente invención; y

45

La Figura 3 ilustra una firma de respuesta típica de acelerómetro para un anclaje no tensionado de cordón múltiple.

Para proporcionar el apoyo necesario, un anclaje a tierra se instala y la tensión T de ahí se aumenta a una tensión predeterminada T_{\max} apropiada para soportar la estructura en cuestión. Posteriormente, el valor de $T(t)$ es una función del tiempo y variará a partir de T_{\max} . El sistema de pruebas de la integridad del anclaje a tierra de la presente invención intenta facilitar la valoración del valor de $T(t)$ considerando la desviación de T_{\max} .

50

Con referencia a la figura 1, una perforación 3 se taladra en la roca 4 a través de la superficie de la roca 5. Un tendón de anclaje al suelo 2 con un largo de 30 metros se inserta en la perforación. A continuación, una lechada de cemento se inserta para adherir una longitud final 1 del tendón de anclaje 2 a la roca 4. El espacio entre la longitud remanente del tendón del anclaje y la roca puede rellenarse con una lechada de una manera conocida. Un ensamblaje de tensión 6 se localiza en el anclaje en la superficie de la roca 5. Un aparato transmisor de impulsos 7 se localiza sobre el tendón de anclaje para transmitir un impulso de carga contra una placa de impulso 8 unida al tendón de anclaje. La placa de impulso 8 puede formar parte del aparato transmisor de impulsos. Un acelerómetro 9 se acopla a la placa de impulso para detectar la respuesta vibracional del anclaje. Alternativamente, el acelerómetro 9 podría acoplarse directamente al propio anclaje a tierra.

60

La toma de salida del acelerómetro se conecta a la toma de entrada de una unidad de análisis 15. Las señales recibidas en la entrada se conectan a una fase de adquisición de datos 10 que, a su vez, se conecta a una fase de tratamiento de estadísticas II. La salida de la fase de tratamiento estadístico II se conecta a una red neuronal artificial 12 que puede acceder a la memoria 13. La unidad de análisis 15 está controlada por un microprocesador 17 y se conecta a una pantalla 16 y un dispositivo de entrada 14 como un teclado.

65

ES 2 333 310 T3

El sistema mostrado en la figura 1 funciona de la manera siguiente: La perforación 3 se realiza y el tendón de anclaje 2 se instala y se adhiere a la roca. Luego, el ensamblaje de tensionado y un aparato transmisor de impulsos 7 se montan en el tendón de anclaje 2 junto con la placa de impulso 8. Posteriormente, el tendón de anclaje se tensa al 10% de T_{\max} . En este punto, el microprocesador 17 activa el aparato transmisor de carga 7 para proporcionar un impulso de carga idóneo contra la placa de impacto 8 para dar una respuesta vibracional útil; el microprocesador 17 controla la fase de adquisición de datos 10 de manera que las señales de vibración desde el acelerómetro 9 se capten cuando se alcance un punto de disparo definido. Cuando el punto de disparo se ha activado, la señal de entrada se muestrea y se filtra para eliminar los ruidos y los atributos de señal de deseados.

La salida de la fase de adquisición de datos se muestra en la pantalla 16 en el formato de dominio de tiempo y frecuencia para ayudar al usuario a la hora de seleccionar los datos idóneos para identificar la unidad.

Además, la salida de la fase de adquisición de datos 10 se procesa a través de la fase estadística 11 utilizando una serie de procedimientos matemáticos y estadísticos. Este proceso previo utiliza varias técnicas como el análisis de componente principal, transformación de olas pequeñas y análisis espectrales de orden más alto. Con este uso de proceso previo de la señal, es posible extraer la cantidad máxima de datos sobre los aspectos pertinentes de la firma de respuesta vibracional al tiempo que se minimiza la información y los ruidos no deseados. En consecuencia, el funcionamiento de la red neuronal artificial es mucho más preciso en la clasificación de las firmas de respuesta vibracional.

La salida de la fase estadística 11 se transmite a la red neuronal artificial. La red neuronal artificial utilizada en la realización específica se conoce como percepción multicapa que utiliza un algoritmo de aprendizaje supervisado denominado retropropagación. Esto permite la clasificación de información de entrada que no es linealmente separable y tiene relaciones complicadas que resultan difíciles de definir con otros medios. La clasificación y la información relativa a la firma se almacenan en la memoria 13.

El microprocesador 17 controla el aparato transmisor de impulsos 7 de tal forma que una serie de 20 impulsos de carga se aplican al anclaje tensionado. El número de impulsos de carga puede variarse para ser diferente de 20. Las firmas de respuestas vibratoriales óptimas son seleccionadas y procesadas por la red neuronal y clasificadas como 10% T_{\max} para la localización del anclaje.

A partir de entonces, la tensión sobre el anclaje se incrementa en otro 10% T_{\max} y se repite el ejercicio de 20 impulsos de carga. Cuando la tensión alcanza 80% T_{\max} el incremento en la tensión se reduce al 2% T_{\max} antes de repetir el ejercicio. Eventualmente, la tensión alcanza T_{\max} y el anclaje soporta correctamente la estructura. El aumento en la tensión puede variarse para ser distinto del 2%.

Por tanto, la red neuronal artificial tiene una serie de firmas clasificadas según el anclaje en cuestión y según la tensión. El ejercicio se repite para un número de anclajes idénticos en esa localización de manera que la red neuronal artificial aprenda a clasificar las firmas de respuesta vibracional cada vez con más precisión.

Al tomar ejemplos de esta forma con la clasificación obtenida por el sistema de la presente invención, es posible obtener una clasificación mejorada y obtener una precisión mayor de los cambios posteriores en la integridad del anclaje a tierra.

Posteriormente, por ejemplo 6 meses más tarde, el sistema puede utilizarse de nuevo en los anclajes previamente tensionados. El ejercicio de aplicar una serie de 20 impulsos de carga a los anclajes se repite y mediante comparación con las firmas de respuestas vibratoriales clasificadas para ese anclaje y la localización en la memoria 13 asociada con la red neuronal artificial, es posible identificar si ha habido un cambio en la tensión en el anclaje sometido a ensayo para el valor óptimo T_{\max} . El uso del paso de proceso previo anterior permite la identificación del estado de los anclajes a tierra sometidos a ensayo con mayor éxito del que ha conocido hasta ahora y, en concreto, respecto de los anclajes a tierra superiores a los 10 metros.

Como se describe anteriormente, para clasificar y valorar la tensión previa sobre un anclaje, es necesario aplicar un impulso de carga I al tendón del anclaje a tierra. Sin embargo, es importante que el impulso de carga I no sea superior al 20% de T_{\max} dado que de otra forma pueden producirse daños en el anclaje. Se ha averiguado que I es preferentemente de 5 a 20% de T_{\max} . Sin embargo, el valor de I cambiará según el valor de T_{\max} para el anclaje en cuestión. Por tanto, es importante que el aparato transmisor de impulsos pueda cambiar fácilmente el valor del impulso I de carga aplicada. Además, como se mencionó anteriormente, para obtener una clasificación más precisa de la firma de respuesta vibracional, se aplican 20 impulsos de carga al anclaje para obtener un número correspondiente de firmas.

Además, para los anclajes largos superiores a los 10 metros, el impulso de carga aplicado al anclaje debe ser grande para obtener una respuesta vibracional válida. Por último, un aparato transmisor de impulsos debe ser capaz de aplicar el impulso de carga a los cordones individuales de un tendón de anclaje de cordón múltiple.

Se ha averiguado que el amortiguamiento de la firma de respuesta vibracional aumenta con los aumentos en el tensionado previo. Al comparar los 6 primeros picos del envoltorio de amortiguamiento sobre una gama de niveles de tensión previa, puede verse claramente que la tasa de decrecimiento de la señal de respuesta aumenta con la tensión previa. Esto hace posible diferenciar entre los diferentes niveles de tensión previa. Además, la transformación de

ES 2 333 310 T3

Fourier rápida en las firmas de respuesta indicaba un cambio en el componente de frecuencia principal con un cambio en la tensión previa.

La Figura 2 ilustra un aparato transmisor de impulsos realizando la presente invención que puede transmitir un impulso de carga a los cordones del anclaje a tierra de cordón múltiple. Se apreciará que el aparato pueda adaptarse rápidamente para aplicar un impulso de carga a un anclaje de varilla con una sujeción roscada sobre el aparato para atornillar el aparato al tendón del anclaje.

Con referencia a la figura 2, el aparato tiene un cilindro externo 28 con una primera placa final circular 25 en un extremo una segunda placa final circular 33 en el otro extremo. El cilindro externo 28 define el eje O del aparato y se localiza con una ranura anular (no se muestra) formado en las superficies de las placas finales primera y segunda 25 y 33. Un cilindro interno hueco 34 se extiende a lo largo del eje y se sujeta en el sitio por medio de otras ranuras anulares 27 y 35 formadas en las superficies de las placas finales primera y segunda respectivamente. El diámetro interno del cilindro interno 34 corresponde con el diámetro de un tendón del anclaje para ser sometido a ensayo, en este ejemplo, un componente o cordón de un anclaje de cordón múltiple. El diámetro externo del cilindro interno corresponde sustancialmente al diámetro de la apertura central en la masa anular 31 que se desliza a lo largo del cilindro interno. El diámetro externo de la masa anular 31 corresponde sustancialmente con el diámetro interno del cilindro externo 28. Por tanto, la masa anular puede deslizarse a lo largo y ser guiada por el cilindro interno y también forma un sello generalmente estanco al aire contra el cilindro interno y el externo.

La primera placa final 25 se forma con el acoplamiento del anclaje 22. En la realización actual, toma la forma de un tubo formado íntegramente con la primera placa para alejarse del plano de la placa. El tubo tiene una perforación localizada axialmente con un diámetro que aumenta lejos del plano de la primera placa final 25 como se ilustra. La perforación se alinea con la apertura 37 localizada centralmente en la primera placa final por donde pasa el tendón de anclaje 20. Una pluralidad de aperturas 26 se forma en la placa final primera alrededor del eje del aparato como puertos de escape.

La segunda placa final 33 también tiene una apertura 36 localizada centralmente ahí a través de la cual pasa el tendón de anclaje 20. Una pluralidad de aperturas 32 se forma en la segunda placa final alrededor del eje del aparato como puertos de escape.

Las placas finales primera y segunda se extienden radialmente más allá del diámetro del cilindro externo y tienen una pluralidad de aperturas circunferenciales 38 en este punto. Una serie de varillas 29, que se roscan en los dos extremos, se localizan a través de las aperturas en las dos placas finales. Las tuercas 24 se localizan en los extremos roscados de cada varilla y se aprietan para forzar o fijar las placas finales juntos y, por tanto, fijando los cilindros internos y externos en el sitio. Se proporciona una manga externa alrededor de las varillas.

En el uso, el aparato se localiza sobre un cordón de un anclaje de cordón múltiple para ser sometido a ensayo. Posteriormente, un conjunto de cuñas afiladas 23, que están dentadas en sus superficies hacia dentro axialmente, se insertan en el sujeción del tendón de anclaje 22 y son empujadas hacia la primera placa final por medio de un collar roscado 21 que se atornilla en una rosca correspondiente formada en la superficie externa del sujeción del tendón de acoplamiento 22. Por tanto, el aparato sujeta el cordón del anclaje de cordón múltiple de forma que el aparato quede asociado operativamente con el anclaje para aplicar o acoplar un impulso de carga al anclaje.

Una fuente de aire comprimido se conecta a los puertos de entrada a través de válvulas de conmutación (no se muestran) controladas por el microprocesador 17. Cuando un impulso de carga va a aplicarse al anclaje, el microprocesador 35 controla las válvulas de conmutación para introducir aire comprimido a través de los puertos de entrada. Esto conduce a que la masa se mueva rápidamente desde la localización adyacente a la segunda placa final hacia la primera placa final para impactar allí, el movimiento de la masa fue guiado por el cilindro interno. El aire que ya está dentro del cilindro externo se expulsa desde los puertos de escape.

El impacto de la masa anular 31 en la primera placa final 25 produce una fuerza o impulso de carga, que se acopla operativamente al tendón del anclaje lejos del punto de adhesión en la tierra. La masa rebotará desde la primera placa final. Para evitar que un segundo impulso se cree en el impacto con la segunda placa final, un muelle de comprensión (no se muestra) puede localizarse entre la masa anular 31 y la segunda placa final 35 para amortiguar la masa de rebote. La retirada del resorte también facilita un simple cambio en el largo del golpe.

El tamaño máximo de la fuerza de impulso puede estimarse por la fórmula:

$$F_{\text{impacto}} = \frac{\sqrt{m2l (PA - \text{Atrito})}}{\Delta t}$$

Donde m es la masa de la masa deslizante, l es el largo del golpe, P es la presión de aire aplicada, A es el área de la masa anular perpendicular al eje, Fricción es la fricción seca en la masa y Δt es la duración del impacto.

ES 2 333 310 T3

La Figura 3 ilustra una firma de respuesta típica de acelerómetro para un anclaje no tensionado de cordón múltiple. Los valores utilizados para el aparato fueron los siguientes:

$$M = 2 \text{ Kg}$$

$$I = 140 \text{ mm}$$

$$P = 2 \text{ Bar}$$

$$A = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\Delta t = 0.1 \text{ ms}$$

Al conducir la masa de esta forma, es posible aplicar grandes impulsos de carga al anclaje suficientes para obtener firmas de respuesta vibracionales idóneas de los anclajes en al menos el tramo de 10 a 30 metros. Además, la magnitud del impulso de carga puede variarse fácilmente controlando el valor P haciendo que el aparato resulte versátil en el uso. Pueden obtenerse otras variaciones variando el valor de m . Se entiende que el valor de m y A tenderán a variar dado que el diámetro del tendón de anclaje cambiará necesitando cambios en el cilindro interno, sujeción de anclaje y masa.

A este respecto, se apreciará que el aparato puede separarse fácilmente para permitir que se utilicen diferentes cilindros internos en el sitio, se utilicen diferentes masas de peso, diferentes sujeciones de anclaje (por ejemplo, una sujeción de anclaje roscada 22 para la sujeción de anclajes de varilla) y para permitir la variación del golpe.

Además, al utilizar la fuerza motriz para que mueva la masa, el aparato puede utilizarse desde una localización remota cuando el aparato se ha instalado. Además, es posible aplicar fácilmente un número de impulsos de carga para hacer que la calibración y los ensayos de los anclajes sean más sencillos que hasta ahora. Además, al utilizar la sujeción de anclaje de la presente invención, el aparato puede utilizarse para aplicar impulsos de carga a los cordones de los anclajes de cordón múltiple.

Resultará aparente que la presente invención pueda tener múltiples formas, cuyas realizaciones detalladas ya resultarán aparentes para las personas familiarizadas con la material. Por ejemplo, la hidráulica podría utilizarse para conducir la masa en el aparato transmisor de impulso o podría considerarse una versión eléctrica.

REIVINDICACIONES

1. Un método para valorar la integridad de los anclajes a tierra, el método comprende los métodos de:

(a) Transmitir (7, 8) un impulso de carga a un tendón de anclaje a tierra (2, 20) o un elemento del mismo para que sea sometido a ensayo provocando que dicho tendón de anclaje a tierra o elemento suyo vibre como respuesta;

(b) General señales eléctricas indicadoras de la respuesta vibracional y acondicionar (10) las señales eliminando el ruido y sus componentes no deseados;

(c) Someter (11) las señales acondicionadas a un proceso matemático y estadístico que incluya al menos uno de los siguientes: análisis del componente principal, transformación de ondas pequeñas y análisis espectral de orden más alto, generar señales de datos eléctricos en donde la información no deseada y el ruido se minimicen;

(d) Aplicar las señales de datos eléctricos generados en el paso (c) a una red neuronal (12) que se ha preparado con señales de datos de calibración comparables derivadas del tendón o elemento suyo bajo un análisis de calibración; Por tanto, clasificar las señales de datos eléctricos indicativas de la respuesta vibracional relativas a las señales de datos de calibración, en donde dichas señales de datos de calibración se derivan en una fase operativa inicial en cuyos pasos (a), (b) y (c) se repiten para una pluralidad de diferentes tensiones en el anclaje a tierra y/o para una pluralidad de diferentes impulsos de carga para proporcionar la respuesta vibracional para diferentes tensiones conocidas.

2. Un método según la reivindicación 1 que incluye además el paso de (e) almacenar la información de salida de la red neuronal artificial característica de la respuesta vibracional.

3. Un método según la reivindicación 1 o 2 en donde, en dicha fase de operación inicial, la tensión del anclaje a tierra se aumenta o se disminuye para proporcionar las correspondientes respuestas vibracionales.

4. Un método según la reivindicación 3 en donde el tamaño del incremento se reduce cuando la tensión es superior al 80% de la tensión óptima donde el anclaje soporta correctamente la estructura.

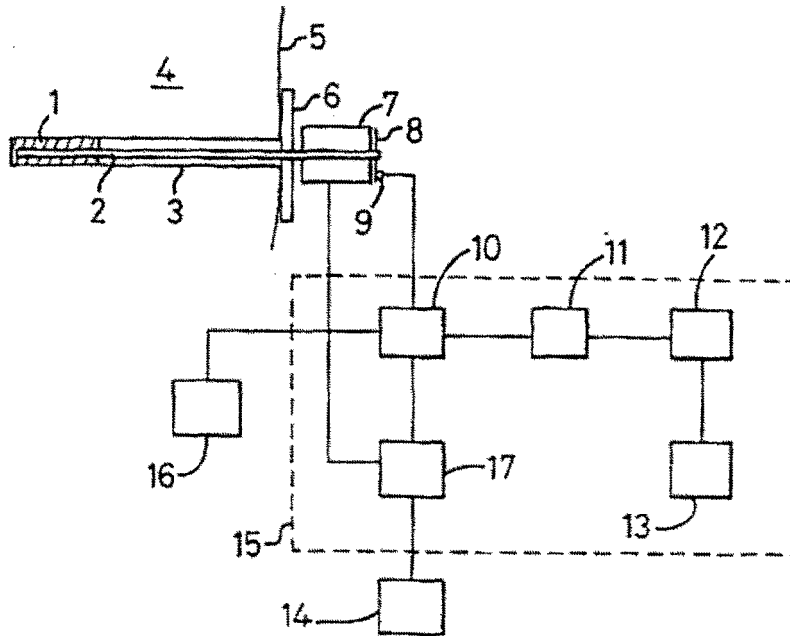


FIG. 1

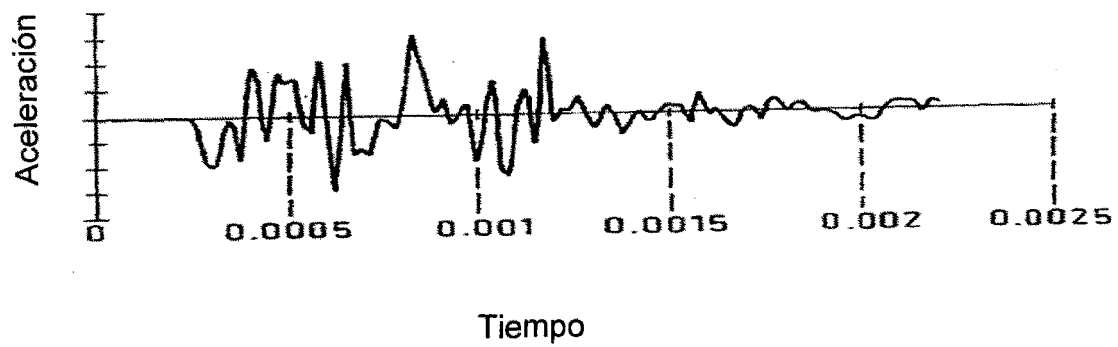


FIG. 3

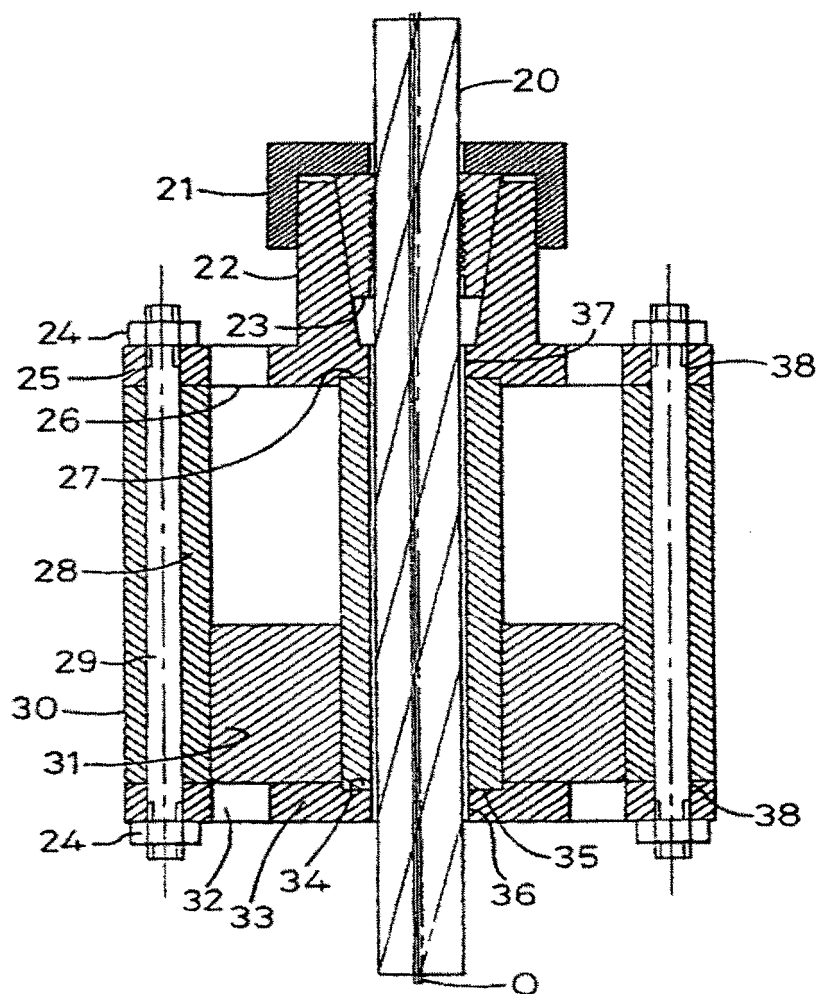


FIG. 2